

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

PRÓ-REITORIA ADJUNTA DE E PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE

CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



JEFERSON FERNANDO DE SOUZA WOLFF

**QUAL A MUDANÇA NA ESTRUTURA COGNITIVA DE ESTUDANTES APÓS O
USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS? Uma investigação da relação entre
representações computacionais internalizadas e aprendizagem significativa de conceitos
no campo das colisões mecânicas em Física**

Canoas
2015

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PRÓ-REITORIA ADJUNTA DE E PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



JEFERSON FERNANDO DE SOUZA WOLFF

**QUAL A MUDANÇA NA ESTRUTURA COGNITIVA DE ESTUDANTES APÓS O
USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS? Uma investigação da relação entre
representações computacionais internalizadas e aprendizagem significativa de conceitos
no campo das colisões mecânicas em Física**

Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática como requisito à obtenção do Grau de Doutor no Ensino de Ciências e Matemática.
Área de Concentração: Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Ciências e Matemática

Orientador: Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto

Canoas
2015

JEFERSON FERNANDO DE SOUZA WOLFF

**QUAL A MUDANÇA NA ESTRUTURA COGNITIVA DE ESTUDANTES APÓS O
USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS? Uma investigação da relação entre
representações computacionais internalizadas e aprendizagem significativa de conceitos
no campo das colisões mecânicas em Física**

Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática como requisito à obtenção do Grau de Doutor no Ensino de Ciências e Matemática.

Área de Concentração: Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Ciências e Matemática

Aprovada em 12 de maio de 2015.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto – Orientador

Prof. Dr. Bruno Campello de Souza

Prof. Dr. Marco Antônio Moreira

Prof. Dr. Nestor Cortez Saavedra Filho

Prof. Dr. Renato Pires dos Santos

Prof. Dr. Rodrigo Della Vecchia

Canoas
2015

A Deus, pela fé que mantém vivo.

A minha amada e querida esposa, pela ajuda e por estar ao meu lado nos momentos de ansiedade e estresse nestes últimos anos em que me dediquei ao doutorado.

Aos meus pais, eternos incentivadores desta conquista.

Ao meu filho, Pedro Fernando, a quem dedico esta vitória alcançada. Que Deus sempre o proteja.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por ter me concedido a oportunidade de viver a realização deste trabalho.

A minha família, em especial a minha esposa Marcella por todo o incentivo e principalmente pela compreensão, me apoiando em diversas madrugadas, feriados, finais de semana em que trabalhei nesta tese. Ao meu filho, Pedro Fernando, por ter suportado os momentos de ausência do pai, enquanto se dedicava na construção deste trabalho.

Aos meus pais, José Fernando e Eloá, que sempre me incentivaram e acreditaram nesta conquista. Tenho muito orgulho de vocês.

Ao Jaime, Tiago e Marília que sempre souberam compreender o meu estresse durante a elaboração desta tese.

Ao meu irmão, Jacson, a minha afilhada Laurinha e a minha cunhada Veridiana pelo constante apoio.

Aos amigos do gabinete (Edson, Mauricio e Carol), que souberam entender a minha ausência nestes últimos anos.

Ao meu orientador, Agostinho Serrano Neto, de quem jamais irei esquecer da dedicação, competência, determinação e principalmente sabedoria, com que soube me mostrar o caminho seguir enquanto produzia esta pesquisa, sem seu apoio não teria tido êxito.

Aos colegas do grupo de pesquisa, em que nossas discussões sempre trouxeram contribuições construtivas.

Aos professores do PPGCIM que contribuíram para a minha formação.

A todos muito obrigado, pois sem vocês esta conquista seria impossível.

RESUMO

Que mudanças ocorrem na estrutura cognitiva dos estudantes utilizando simulações computacionais no ensino de Física? Esta pergunta em aberto instiga os pesquisadores. Decerto, a maior parte dos que atuam no Ensino de Física concordam, em maior ou menor grau, que o uso de simulações possui potencialidades para o aprendizado. Contudo, esta indagação ainda está longe de ter uma resposta definitiva. Nesta investigação busca-se identificar quais as influências de simulações construídas para o ensino de colisões na aquisição ou modificação das imagens mentais de estudantes e de que forma se altera a estrutura cognitiva dos estudantes. Diante disso, se pôde avançar: como que a modificação das imagens mentais se comunica com uma possível aprendizagem significativa de conceitos físicos relacionados às Leis de Conservação, fundamentais para o estudo de colisões? Para embasar as conclusões, empiricamente, utilizou-se como metodologia de investigação uma combinação de análises verbal e gestual com indicadores de imagens mentais utilizadas pelos estudantes durante entrevistas, realizadas tanto antes como após a utilização das simulações. Para interpretar os dados obtidos e estabelecer como marco teórico o que se entende como aprendizagem, utilizou-se, de forma combinada, a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), de Campello de Souza, que sistematiza mediação digital, com a Teoria de Aprendizagem Significativa, de Ausubel, que fornece uma visão sistêmica e global da aprendizagem de conceitos. Os resultados indicam que as imagens mentais, de conceitos associados ao estudo de colisões, sofreram uma notável evolução, com modificações dos *drivers* devido às mediações hiperculturais, relacionadas com as simulações de colisões, principalmente para o conceito de colisão elástica com o solo e as energias. Esta aquisição de imagens possibilita uma aprendizagem significativa dos conceitos de colisões e das Leis de Conservação da Mecânica.

Palavras-chave: Colisões Mecânicas. Simulações. Hipercultural. Aprendizagem Significativa. Teoria da Mediação Cognitiva.

ABSTRACT

What changes happen in the student's cognitive structure by using computer simulations for teaching physics? This open question instigates the researchers. Certainly most of whom work in Physics Teaching agree, to a greater or lesser extent, that the use of simulations has the potential for help teaching physics. However, this question is still far from having a definitive answer. This research seeks to identify what influences do simulations specifically built for collisions' teaching in the acquisition or modification of mental images of students and how it changes the cognitive structure of students. Accordingly, one can go further: how the modification of imagery communicates with possible significant physical concepts learning related to Conservation Laws, which are fundamental to the study of collisions? To ground the conclusions, empirically, as research methodology, we used a combination of verbal and gestural analyzes with imagery indicators used by students during interviews, conducted both before and after the use of simulations. To interpret the data and establish the theoretical basis which is understood as learning, was used, in a combined way, the Theory of Cognitive Mediation (TMC), by Campello de Souza, which explains learning from digital mediation, with the Meaningful Learning Theory of David Ausubel, which provides a systematic and comprehensive view of learning concepts. The results indicates that mental images, arising from concepts associated with the study of collisions experienced a remarkable change, with modifications of the drivers on account of hipercultural mediations, related to the collisions simulations, mostly for the concept of elastic collision with the ground and the energies. That such acquisition of images allows a Meaningful Learning of collisions concepts and Mechanics Conservation Laws.

Keywords: Mechanic Collisions. Simulations. Hipercultural. Meaningful Learning. Cognitive Mediation Theory.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Comparativo entre os quatro grupos de classificação dos trabalhos de revisão bibliográfica de colisões	244
Figura 1 - Abrangência de cada um dos três tipos de aprendizagem significativa	49
Figura 2 - Representação dos elementos de mediação	61
Figura 3 - Relação do drivers com mecanismos externos	63
Figura 4 - Exemplo de interação indireta que representa a interação social entre dois sujeitos A e C. A e C não estão em contato diretamente, mas é possível a comunicação entre eles devido ao elemento A, que possui contato com ambos ao mesmo tempo	65
Figura 5 - Representação da Terceira Lei de Newton em relação às forças que atuam sobre os dois corpos no momento da colisão	81
Figura 6 - Tela da primeira simulação do roteiro, de uma situação de colisão elástica com solo	106
Figura 7 - Primeira imagem referente à situação inicial da terceira questão, onde já possui energia cinética	107
Figura 8 - Simulação de uma colisão inelástica com o solo, representada em três instantes diferentes	108
Figura 9 - Imagem da simulação de colisões superelásticas	108
Figura 10 - A primeira imagem representa o momento antes da colisão elástica, e a segunda, após a colisão elástica.....	109
Figura 11 - Na primeira imagem, a situação anterior à colisão; na segunda imagem, após a colisão inelástica entre as duas esferas	110
Figura 12 - A primeira imagem representa a situação anterior à colisão perfeitamente inelástica, e a segunda imagem, a situação posterior à colisão	111
Figura 13 - Na primeira imagem, situação anterior à colisão superelástica; na segunda imagem, após a colisão superelástica.....	112
Figura 14 - Imagem da tela após colisão quando $f < f_{\min}$	113
Quadro 1 - Trecho da entrevista com o estudante A5	117
Figura 15 - Representação de um objeto subindo. Com a mão esquerda o estudante indica que objeto está subindo. Na primeira imagem momento em que objeto inicia a subida; na segunda imagem objeto subindo; terceira imagem atingindo o ponto máximo da trajetória.....	121
Figura 16 - Representação de um objeto caindo e subindo. Na primeira imagem indica movimento inicial de subida; segunda imagem objeto atingindo ponto máximo da trajetória; terceira imagem objeto retornando para o solo	122
Figura 17 - Representação de abandono de um corpo. Na primeira imagem o estudante representa que está segurando o objeto, e na segunda imagem indica o abandono do objeto, enquanto abre a mão ..	122
Figura 18 - Gestos indicando a redução da altura de retorno. Na primeira imagem, o momento que inicia o movimento, o ponto mais alto da trajetória. Na segunda imagem, o momento da colisão com o solo; na terceira imagem, altura de retorno, inferior à primeira imagem.	123
Figura 19 - A primeira imagem indica a posição inicial; a segunda imagem, o momento da colisão e a terceira imagem, retornando na mesma altura	123
Figura 20 - Movimento com a mão indicando que corpo colide e fica parado. Na primeira imagem momento em que objeto é abandonado; segunda imagem objeto caindo e terceira imagem objeto colidindo com solo.....	124
Figura 21 - Gesto representando altura	124

Figura 22 - As duas mãos indicam uma colisão entre os corpos	124
Figura 23 - Colisão das mãos que permanecem juntas após a colisão	125
Figura 24 - Indicação de colisão frontal. Após a colisão os corpos passam a se deslocar em sentidos opostos. Na primeira imagem, as duas mãos deslocando-se em sentido oposto; a segunda indica a colisão; na terceira imagem se deslocam em sentidos opostos.....	125
Figura 25 - Gestos indicando as barras de energia variando. Na primeira imagem a mão direita está abaixo da mão esquerda; segunda imagem as duas mãos no mesmo nível; terceira imagem indica que o nível de energia representado pela mão direita é superior ao da mão esquerda	126
Figura 26 - Representação da barra de energia estática. Primeira e segunda imagem são semelhantes, onde a barra de energia é representa pela distância entre os dedos polegar e indicador	126
Figura 27 - Gestos representando objeto, que nesse caso é a esfera que está caindo.....	126
Figura 28 - Representação da trajetória deixada em duas situações: primeira imagem, colisão elástica solo; segunda imagem, colisão inelástica com solo	134
Figura 29 - Representação dos indicadores de nível de energia referente à primeira simulação. Azul - energia cinética, verde - energia potencial gravitacional e amarelo - energia mecânica do sistema ...	135
Figura 30 - Tela referente à simulação de uma esfera lançada de certa altura, que colide com o solo de forma elástica.....	135
Figura 31 - Imagem da simulação em uma colisão elástica com o solo.....	136
Figura 32 - Imagem da simulação que representa a colisão inelástica com o solo	137
Figura 33 - Imagem da simulação para colisão perfeitamente inelástica com o solo	137
Figura 34 - Imagem que representa a simulação da colisão superelástica com o solo.....	138
Figura 35 - Imagem da simulação para os vetores momento linear antes de uma colisão	139
Figura 36 - Imagem dos vetores momento linear após a colisão	140
Figura 37 - Indicadores de nível de energia, utilizados na segunda simulação	140
Figura 38 - Imagem da segunda simulação	141
Quadro 2 - Coleta de dados inicial e posterior	144
Quadro 3 - Coleta de dados inicial e posterior, representadas nas figuras 39 e 40 e a figura 41 mostrando a simulação.....	145
Figura 39 - A primeira imagem representa a posição de abandono Na segunda imagem, o momento em que colide com o solo, e a terceira imagem, a altura máxima de retorno, que é inferior à altura de onde foi abandonada.....	146
Figura 40 - A primeira imagem representa a posição inicial; a segunda imagem, a indicação de colisão com o solo, e a terceira imagem, o movimento de retorno, que é o mesmo de onde foi abandonada. 146	
Figura 41 - Sequência de imagens da simulação, para a colisão elástica com o solo.	146
Figura 42 - Gestos realizados pelo estudante A17 que demonstram redução de altura, quando imagina a bola quicando na rua.....	148
Quadro 4 - Entrevista com estudante A17.....	148
Figura 43 - Gestos realizados pelo estudante A17 que indicam a mesma altura, quando imagina a situação da simulação.....	149
Figura 44 - Gestos realizados pelo estudante A4 na sua explicação de colisão inelástica com o solo, durante a entrevista inicial. A primeira imagem representa o momento em que está abandonada a esfera; a segunda, enquanto está caindo, e a última, quando colide com o solo e permanece em repouso.	150
Figura 45 - Gestos realizados pelo estudante A4 explicando a colisão inelástica com o solo, durante a entrevista posterior. A primeira imagem representa o momento em que abandona a esfera; a segunda, quando colide com o solo, e a última, quando retorna a uma altura inferior de onde foi abandonada. 150	
Figura 46 - Sequência de imagens da simulação para a colisão inelástica.	150

Quadro 5 - Entrevista estudante A4 na coleta de dados inicial e posterior	150
Quadro 6 - Entrevista com estudante A5 na coleta de dados inicial e posterior.....	152
Figura 47 - Estudante A5, durante a entrevista da coleta de dados inicial, realiza gestos indicadores de apenas abandono de objeto, quando questionado sobre colisão perfeitamente inelástica com o solo. 153	
Figura 48 - Estudante A5 na coleta de dados posterior, ao responder sobre colisão perfeitamente elástica com o solo, realiza gestos indicadores da queda e da colisão com o solo, permanecendo em repouso após a colisão.....	153
Figura 49 - Imagens da simulação de uma colisão perfeitamente inelástica com o solo.	153
Quadro 7 - Entrevista com estudante A14 na coleta de dados inicial e posterior	155
Figura 50 - Gestos realizados pelo estudante A14 durante a entrevista da coleta de dados inicial, com relação à colisão superelástica. A primeira imagem são gestos que indicam o formato da esfera; a segunda, gestos que indicam deformação da esfera; a terceira, gestos que indicam que a altura de retorno seria maior que na colisão elástica, mas inferior a dois metros.	156
Figura 51 - Gestos realizados pelo estudante A14 durante a entrevista da coleta de dados posterior, com relação à colisão superelástica com o solo. A primeira imagem indica altura inicial, onde a bola está sendo abandonada; a segunda, o momento de colisão com o solo; a terceira indica que a altura de retorno seria superior à altura de onde foi abandonada a bola.....	156
Figura 52 - Imagens da simulação referente à colisão superelástica com o solo.	156
Quadro 8 - Transcrição de entrevista do aluno A7, na coleta de dados inicial e posterior.....	159
Figura 53 - Gestos utilizados pelo estudante A7 durante a coleta de dados inicial, enquanto explicava a colisão elástica da bola com o solo.	160
Figura 54 - Gestos utilizados pelo estudante A7 durante a coleta de dados posterior, enquanto explicava a colisão elástica da bola com o solo.	160
Quadro 9 - Respostas da entrevista do estudante A1, na coleta de dados inicial e posterior	163
Figura 55 - Gestos realizados pelo estudante A1, durante a entrevista da coleta de dados inicial, quando indica que, após cada colisão elástica, há uma redução de altura.....	164
Figura 56 - Gestos realizados pelo estudante A1 na coleta de dados posterior, com indicação de que mantém a mesma altura após a colisão elástica com o solo.	164
Quadro 10 - Transcrição de entrevista do aluno A1, na coleta de dados inicial e posterior.....	164
Quadro 11 - Transcrição de entrevista do estudante A3, na coleta de dados inicial e posterior.....	166
Quadro 12 - Modificações apresentadas nas respostas do estudante A1, em relação à coleta de dados inicial	169
Quadro 13 - Entrevista com o estudante A9, na coleta de dados inicial e posterior	173
Figura 57 - Realização de gestos na coleta de dados posterior do estudante A9, representando a variação da barra de energia cinética	174
Figura 58 - Gestos realizados durante a explicação da coleta de dados posterior do estudante A9, representando a variação da barra de energia potencial.....	174
Quadro 14 - Entrevista do estudante A14, na coleta de dados inicial e posterior; a figura 59 apresenta os gestos do estudante explicando a colisão inelástica com o solo; a figura 60 mostra a simulação ...	177
Figura 59 - Gestos realizados pelo estudante A14, enquanto explicava as barras de energia para colisão inelástica com o solo.	177
Figura 60 - Imagens da simulação para a colisão inelástica com o solo.	177
Figura 61: Gestos realizados pelo estudante A7 na coleta de dados posterior, representando as barras de energia, para a situação da colisão elástica com o solo.	179
Quadro 15 - Transcrição da entrevista do estudante A3, na coleta inicial e posterior.	180

Figura 62 - O estudante A3, na coleta de dados posterior, gesticula com as duas mãos, a fim de indicar a variação entre as energias cinética e potencial gravitacional. A última imagem quando fala que a energia total permanece a mesma, representando que ela não estaria variando.	182
Quadro 16 - Transcrição de parte dos testes com o estudante A3, para colisão inelástica com o solo	184
Quadro 17 - Transcrição da coleta de dados posterior do estudante A14; a figura 63 traz os gestos feitos pelo estudante ao explicar a colisão perfeitamente inelástica.....	185
Figura 63 - Os gestos realizados pelo estudante A14, na entrevista da coleta de dados posterior, indicam as barras de nível de energia para colisão perfeitamente inelástica.	185
Quadro 18 - Análise da coleta de dados inicial e posterior do estudante A11.....	189
Quadro 19 - Figuras 64 e 65 – gestos realizados pelo estudante A11, representando colisão elástica entre duas esferas e entre dois carros (coleta de dados inicial e posterior)	190
Figura 64 - Gestos realizados pelo estudante na primeira entrevista, enquanto explicava colisão elástica entre duas esferas.....	190
Figura 65 - Gestos realizados pelo estudante A11 na segunda entrevista, enquanto explicava a colisão elástica entre dois carros.	190
Quadro 20 - Transcrição da entrevista do estudante A3, na coleta de dados inicial e posterior.....	192
Quadro 21 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante A3; e figura 64 e 65 (gestos indicando a colisão elástica na primeira e segunda entrevista)	193
Figura 66 - Gestos realizados pelo estudante A3, indicando a colisão elástica na primeira entrevista.	193
Figura 67 - Gestos realizados pelo estudante A3, indicando a colisão elástica na segunda entrevista.	193
Quadro 22 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B14	194
Quadro 23 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante B14; figuras 68 e 69 representando os gestos relativos à colisão elástica entre duas esferas e entre dois carros.....	195
Figura 68 - Gestos realizados pelo estudante B14 durante a entrevista anterior, com relação à colisão elástica entre duas esferas.....	195
Figura 69 - Gestos realizados pelo estudante B14 enquanto respondia a entrevista posterior à simulação, com relação à colisão elástica entre dois carros.	195
Quadro 24 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante A11	197
Quadro 25 - Figura 70 com gestos realizados pelo estudante A11, indicando as barras de energia na coleta de dados posterior	198
Figura 70 - Gestos realizados pelo estudante A11 em sua segunda entrevista, indicando barras de energia.....	198
Quadro 26 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante B8	199
Quadro 27 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante A10	201
Quadro 28 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante A10; a figura 71 traz os gestos realizados pelo estudante, representando os vetores do momento linear	202
Figura 71 - Gestos realizados pelo estudante A10 na entrevista posterior, representando os vetores do momento linear	202
Quadro 29 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante A13	204
Quadro 30 - Coleta de dados posterior com o estudante A13; a figura 72 traz os gestos realizados pelo estudante na entrevista	205
Figura 72 - Gestos realizados pelo estudante A13, enquanto explicava o comportamento das energias cinéticas dos corpos na colisão inelástica.....	205
Quadro 31 - Coleta de dados anterior e posterior com o estudante A15	209

Quadro 32 - Coleta de dados posterior com o estudante A15; figura 71 representando os gestos indicando a variação das barras de energia	210
Figura 73 - Gestos realizados pelo estudante A15 enquanto explicava o comportamento da conservação da energia mecânica. Estes gestos indicam a variação das barras de energia.....	210
Quadro 33 - Coleta de dados anterior e posterior com o estudante A11	212
Quadro 34 – Análise anterior e posterior com o estudante A13	213
Quadro 35 - Análise anterior e posterior com o estudante B2.....	214
Quadro 36 - Análise posterior com o estudante B8	214
Quadro 37 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B9	216
Quadro 38 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B9; as figuras 74 e 75 mostram os gestos realizados pelo estudante para explicar a colisão com o solo.....	217
Figura 74 - Gestos realizados pelo estudante B9, durante a primeira entrevista para colisão com solo.	217
Figura 75 - Gestos realizados pelo estudante B9, durante a segunda entrevista para a colisão com o solo.....	217
Quadro 39 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B7	218
Quadro 40 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B7; as figuras 76 e 77 mostram os gestos realizados pelo estudante para explicar a colisão elástica com o solo	219
Figura 76 - Gestos realizados pelo estudante B7 durante a primeira entrevista, com relação à altura de retorno de um corpo após a colisão elástica com o solo.....	219
Figura 77 - Gestos realizados pelo estudante B7 durante a segunda entrevista, com relação à altura de retorno de um corpo após a colisão elástica com o solo.....	219
Figura 78 - Apresentação dos resultados com relação à altura de retorno para a colisão elástica com solo.....	221
Figura 79 - Apresenta os resultados para a colisão elástica com solo referente às energias	222
Figura 80 - Resultados para a colisão superelástica com solo referente à altura de retorno.....	222
Figura 81 - Resultados das respostas dos estudantes sobre colisão superelástica com o solo.....	223
Figura 82 - Resultados para colisão inelástica com o solo, com relação à altura de retorno.....	224
Figura 83 - Representação dos resultados para colisão perfeitamente inelástica com o solo, com relação à altura de retorno	225
Figura 84 - Resultados de energia para a colisão inelástica com o solo.....	226
Figura 85 - Representação dos principais resultados com relação à energia para colisão perfeitamente inelástica com o solo.....	226
Figura 86 - Apresentação da análise das respostas do grupo A referente à colisão elástica na horizontal	228
Figura 87 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à colisão elástica na horizontal	228
Quadro 41 - Transcrição de parte da coleta de dados inicial e posterior, com os estudantes A5 e B7	229
Figura 88 - Resultados das respostas dos estudantes do Grupo A em relação à energia cinética para a colisão elástica.....	230
Figura 89 - Resultados das respostas dos estudantes do Grupo B em relação à energia cinética para a colisão elástica.....	231
Figura 90 - Resultados das respostas dos estudantes do Grupo A em relação ao momento linear para a colisão elástica.....	232
Figura 91 - Resultados das respostas dos estudantes do Grupo B, em relação ao momento linear para a colisão elástica.....	232

Quadro 42 – Coleta de dados inicial e posterior do estudante A5	233
Quadro 43 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B8.....	233
Figura 92 - Apresentação da análise das respostas do grupo A referente à colisão inelástica na horizontal.....	234
Figura 93 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à colisão inelástica na horizontal.....	234
Figura 94 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à colisão perfeitamente inelástica na horizontal.....	235
Figura 95 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à colisão perfeitamente inelástica na horizontal.....	236
Quadro 44 - Coleta de dados posterior com o estudante B8	236
Figura 96 - Apresentação da análise das respostas do grupo A referente à conservação da energia mecânica.....	238
Figura 97 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à conservação da energia mecânica.....	238
Quadro 45 - Coleta de dados posterior do estudante A15	239
Quadro 46 - Coleta de dados posterior do estudante B8	239
Quadro 47 - Coleta de dados posterior do estudante B12	239
Figura 98 - Apresentação da análise das respostas do grupo A referente à conservação do momento linear	240
Figura 99 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à conservação do momento linear	241
Quadro 48 - Parte da transcrição das três entrevistas do estudante A4	244
Figura 100 - Gestos realizados pelo estudante A14, enquanto explicava questão relacionada à conservação de energia	249
Figura 101 - Representação da relação entre os tipos de colisão com drivers e aprendizagem significativa para a primeira questão	254
Figura 102 - Gestos indicando a deformação da bola e retorno de subida, realizada pelo estudante A12 em sua entrevista da coleta de dados inicial	255
Quadro 49 - Trecho da coleta de dados inicial e posterior do estudante A4	256
Figura 103 - Representação das imagens mentais utilizadas pelos estudantes, conforme o tipo de driver utilizado para a movimentação do objeto que cai em queda livre e colide com o solo.....	257
Figura 104 - Representa, inicialmente, a inexistência de imagens mentais com relação às barras de energias em que, após a simulação, passa a considerar as mesmas utilizadas na simulação.....	258
Gráfico 2 – Percentual de estudantes hiperculturais do grupo A em cada uma das questões abordadas durante as entrevistas	262
Gráfico 3 - Comparação entre as questões que abordam o mesmo conceito, mas que utilizam simulações diferentes, para os estudantes do grupo A	263
Gráfico 4 - Estudantes com utilização de drivers hiperculturais nas questões dois, três e quatro dos dois grupos de estudantes	264
Figura 105 - Imagens da primeira simulação para uma colisão elástica com o solo	267
Figura 106 - Imagens da segunda simulação para colisão elástica	268
Figura 107 - Gesto realizado pelo estudante A14 na segunda entrevista, enquanto explicava a transferência de energia em uma colisão horizontal	271
Quadro 50 - A figura 107 traz os gestos realizados pelo estudante A14 e a figura 108 os gestos do estudante B14, explicando a transferência de energia em uma colisão horizontal	271

Figura 108 - Gesto realizado pelo estudante B14 na segunda entrevista, enquanto explicava a transferência de energia em uma colisão horizontal	271
Figura 109 - Indicação do momento da colisão, no instante em que mudam os momentos lineares...	275
Quadro 51 - Coleta de dados anterior com o estudante A7.....	277
Figura 110 - Gestos realizados pelo estudante A7 na coleta de dados anterior indicando os vetores..	277
Figura 111 - Imagem da simulação mencionada pelo estudante A7 na sua primeira entrevista	278
Gráfico 5 - Relação entre hipercultural e aprendizagem significativa ou utilização do conceito corretamente para o grupo A na primeira questão	280
Gráfico 6 - Representação do índice de estudantes hiperculturais que tiveram aprendizagem significativa	281
Gráfico 7 - Representação dos estudantes do Grupo A que apresentaram características hiperculturais e responderam corretamente	282
Gráfico 8 - Representação dos estudantes do Grupo B que apresentaram características hiperculturais e responderam corretamente	282

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1. PERGUNTA DE PESQUISA.....	20
1.2. OBJETIVOS	21
1.2.1. Objetivo Geral.....	21
1.2.2. Objetivos específicos.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 COLISÕES.....	23
2.1.1 Trabalhos conceituais de colisão	24
2.1.2 Atividades experimentais para estudo de colisões	28
2.1.3 Utilização da informática para o estudo de colisões	31
2.1.4 Estudo das concepções dos estudantes sobre os conceitos envolvidos no estudo de colisões	33
2.1.5 Algumas considerações em relação aos trabalhos pesquisados	36
2.2 INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO	37
2.3 ALGUNS TRABALHOS DA TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA	38
3 REFERENCIAL TEÓRICO	40
3.1 DISCUSSÃO SOBRE IMAGENS MENTAIS.....	40
3.1.1 Definição de imagem mental	45
3.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	45
3.2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa	46
3.2.2 Implicações da Teoria da Aprendizagem Significativa na proposta.....	51
3.3 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA	55
3.3.1 Transição para a Hipercultura	56
3.3.2 Fundamentos da Teoria da Mediação Cognitiva.....	58
3.3.3 Drivers	61
3.3.4 Formas de Mediação	63
3.3.5 Suporte teórico da TMC	68
3.3.6 Implicações da Teoria da Mediação Cognitiva na proposta	72
3.4 A RELAÇÃO ENTRE A TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA E A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	74
4 ESTUDO DE COLISÕES UNIDIMENSIONAIS.....	78
4.1 A ABORDAGEM NEWTONIANA PARA O ESTUDO DE COLISÕES.....	79
4.1.2 A utilização do coeficiente de restituição para definir o tipo de colisão	82
4.2 O ENSINO DE COLISÕES CONFORME AS LEIS DE CONSERVAÇÃO.....	83

4.2.1 Conservação da Energia Cinética	84
4.2.2 Conservação de Quantidade de Movimento	86
4.2.3 A relação existente entre as duas leis de conservação	87
4.2.4 Algumas considerações em relação ao f_{min}	91
4.2.5 Velocidades dos corpos após as colisões	95
4.2.6 Uma situação particular: a queda de um objeto próximo da Terra	96
5 METODOLOGIA	100
5.1 TESTE-PILOTO	100
5.2 APLICAÇÃO DA PROPOSTA.....	102
5.3 INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS.....	103
5.3.1 Questionário inicial e questionário posterior.....	103
5.4 PRODUÇÃO DE DADOS	113
5.4.1 Entrevistas	114
5.4.2 Produção de dados e fatores relevantes	115
5.5 ANÁLISE DE DADOS	118
5.5.1 Análise de gestos.....	119
5.5.2 Identificação dos gestos	127
5.5.3 Identificação dos <i>drivers</i> e hipótese de ter ocorrido aprendizagem significativa	127
6 SIMULAÇÕES.....	130
6.1 SOFTWARE <i>MODELLUS</i>	132
6.2 PRIMEIRA SIMULAÇÃO – OBJETO EM QUEDA COLIDINDO COM O SOLO	133
6.2 SEGUNDA SIMULAÇÃO – COLISÃO ENTRE DUAS ESFERAS	138
7 ANÁLISE E RESULTADOS.....	142
7.1. ANÁLISE DA PRIMEIRA QUESTÃO COM RELAÇÃO À ALTURA DE RETORNO APÓS A COLISÃO COM O SOLO	142
7.1.1 Mudança para <i>driver</i> hipercultural com aprendizagem significativa	143
7.1.2 Mudança para <i>driver</i> hipercultural sem aprendizagem significativa	158
7.1.3 Indícios de mudança para <i>driver</i> hipercultural com aprendizagem significativa.....	162
7.1.4 Não mudam o <i>driver</i> para hipercultural	169
7.2 ANÁLISE DA PRIMEIRA QUESTÃO COM RELAÇÃO ÀS ENERGIAS APÓS A COLISÃO COM O SOLO.....	172
7.2.1 Mudança para <i>driver</i> hipercultural com aprendizagem significativa	172
7.2.2 Indícios de mudança para <i>driver</i> hipercultural com aprendizagem significativa.....	180
7.2.3 Mudança para <i>driver</i> hipercultural sem aprendizagem significativa	186

7.2.4 Não mudam o <i>drive</i> para hipercultural.....	187
7.3 ANÁLISE COM RELAÇÃO À SEGUNDA SIMULAÇÃO	189
7.3.1 Análise com relação à colisão elástica na horizontal	189
7.3.2 Análise da colisão elástica com relação à energia cinética	196
7.3.3 Análise com relação ao momento linear	201
7.3.4 Análise com relação à colisão inelástica.....	204
7.3.5 Análise da colisão perfeitamente inelástica.....	207
7.3.6 Análise com relação à colisão superelástica.....	208
7.4 ANÁLISE DA TERCEIRA QUESTÃO – CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA.....	208
7.5 ANÁLISE DA QUARTA QUESTÃO – CONSERVAÇÃO DO MOMENTO LINEAR	212
7.6 COLISÃO ELÁSTICA COM O SOLO – GRUPO B.....	215
7.7 RESULTADOS PARA A PRIMEIRA QUESTÃO.....	219
7.8 RESULTADOS PARA A SEGUNDA QUESTÃO.....	227
7.9 RESULTADOS PARA A TERCEIRA QUESTÃO	237
7.10 RESULTADOS DA QUARTA QUESTÃO	240
7.11 SEIS MESES DEPOIS.....	242
7.12 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	251
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	284
REFERÊNCIAS.....	290
APÊNDICE A – Questionário inicial	305
APÊNDICE B – Questionário posterior	307
APÊNDICE C – Roteiro do primeiro experimento.....	310
APÊNDICE D -Roteiro do segundo experimento	320
APÊNDICE E – Código de classificação dos principais gestos utilizados	332

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física tradicionalmente é praticado por meio da utilização de expressões matemáticas, leis e princípios, com o uso de situações-problema em grande parte desvinculadas do cotidiano do estudante. O resultado deste tipo de modelo de ensino infelizmente acaba, em geral, sendo um aprendizado mecânico. Conforme Anjos e Sahelices (2012, p. 2), o ensino de Física se caracteriza como:

[...] estéril e desvinculado do mundo vivenciado pelo estudante, proporcionando-lhe, na maioria das vezes, apenas condições de repetir os enunciados das leis, de memorizar conceitos e significados, além de resolver, com o uso das expressões matemáticas, os problemas propostos nos textos didáticos.

Por outro lado, há um mundo com avanços tecnológicos e com utilização de imagem de informação, o que tem provocado amplo debate sobre a inserção destas tecnologias no ensino (RAMPINELLI; FERRACIOLI, 2006). Neste debate, a utilização de tecnologias digitais podem favorecer a aprendizagem significativa, mas é importante considerar quais os aspectos fundamentais, como interatividade, aspecto visual, repetição na utilização destas ferramentas.

Nessa perspectiva, é natural que se tragam para o debate do ensino os possíveis impactos cognitivos que a utilização de novas tecnologias e os modos de inserção destas ferramentas acarretam no processo de ensino e aprendizagem. Para tanto, no presente trabalho, traz-se o debate da inserção de simulações computacionais no ensino de Física, onde o delineamento da pesquisa passa pela investigação das mudanças que podem ocorrer na estrutura cognitiva, com a utilização de simulações computacionais para o ensino de colisões.

Esta pesquisa busca aprofundar os conhecimentos existentes referentes à utilização de simulações no ensino de Física, em especial no ensino de colisões. É comum identificar trabalhos que afirmam que o uso de simulações contribui para a aprendizagem significativa. Porém, alguns questionamentos não são respondidos por essas pesquisas, como, por exemplo, como ocorre aprendizagem significativa? Quais situações favorecem as mudanças cognitivas e por quê? Para responder a esses questionamentos recorre-se à Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), que considera que a mediação digital pode trazer ganhos cognitivos mensuráveis, que, acredita-se, poderão também alterar a estrutura cognitiva conceitual do indivíduo, em prol de uma aprendizagem significativa.

Busca-se, assim, a elaboração de uma estratégia de pesquisa da influência de simulações computacionais de colisão, na estrutura cognitiva do estudante de Física. É notória a dificuldade em identificar estratégias que favoreçam a aprendizagem significativa dos conhecimentos científicos (NUSSBAUM; NOVICK, 1982; ROWELL; DAWSON, 1985; GRIMELLINI et al., 1989; DREYFUS et al., 1990; DUSCHL; GITOMER, 1991; BROWN; CLEMENT, 1992). Este é o campo de pesquisa escolhido, em que, para identificar estas mudanças, constrói-se um referencial metodológico específico, alicerçado na análise de gestos mentais através da observação de gestos descritivos.

Neste trabalho busca-se identificar indícios da mudança ou não das concepções estudantes sobre o estudo de colisões com a influência de simulações computacionais, que favoreçam uma aprendizagem significativa. Para tanto, considera-se importante reunir um conhecimento detalhado das representações mentais dos estudantes, antes e após a utilização da simulação, de maneira a possibilitar a detecção de mudanças conceituais que possivelmente tenham ocorrido devido à utilização da simulação, identificadas através de indícios das representações mentais dos estudantes.

Neste trabalho, a investigação tem caráter do tipo qualitativo, envolvendo estudo sobre colisões na perspectiva pós-newtoniana, analisadas a partir dos princípios de conservação de energia e momento linear. Também se consideram vários trabalhos sobre as representações dos estudantes e as dificuldades apresentadas por eles, referentes à aprendizagem de colisões, sob a perspectiva adotada nesse trabalho, tais como: Mariani e Villani (1985); Mariani, (1987), Grimellini et al (1988 e 1989), Villani e Pacca (1990a e 1990b), Grimellini et al (1993), Lemeignan e Weil-Barais (1988 e 1989), Weil-Barais e Lemeignan (1990). Estes trabalhos convergem para a ideia de que se deve ter um maior aprofundamento, principalmente, no que se refere às modificações que possam ocorrer na estrutura cognitiva dos estudantes com a utilização de metodologias de ensino diferentes.

A pesquisa realizada consistiu na aplicação de um questionário inicial com questões relacionadas ao estudo de colisões e, em seguida, na realização de uma entrevista, cujo conjunto constitui o que se denomina de coleta de dados inicial. Na sequência, os estudantes realizaram duas simulações, sendo uma de análise de colisões para queda de objetos e a outra simulação de colisões na horizontal. Após, novamente os estudantes responderam um questionário, sendo entrevistados logo em seguida, sendo este conjunto de dados denominado de coleta de dados posterior. Os dados coletados foram analisados principalmente a partir das entrevistas, que foram filmadas para posterior análise.

Como análise, procura-se identificar as imagens mentais que os estudantes adotaram enquanto respondiam, utilizando, para isso, a composição dos discursos e gestos realizados pelos estudantes. Para análise dos resultados busca-se apoio na Teoria da Aprendizagem Significativa, utilizada para identificar quais as modificações que talvez tenham ocorrido na estrutura cognitiva do estudante e quando elas ocorreram. A análise de como ocorre a modificação na estrutura cognitiva foi realizada com a Teoria da Mediação Cognitiva.

A relevância desta pesquisa está em tentar responder como e quando possivelmente ocorrem as mudanças cognitivas nos estudantes, quando utilizam uma simulação no ensino de colisões, análise esta que é dificilmente encontrada na literatura.

No capítulo dois, apresenta-se uma revisão bibliográfica de trabalhos relacionados com ensino de colisões e outros relacionados com a Teoria da Mediação Cognitiva. No terceiro capítulo descreve-se o aporte teórico: A Teoria da Mediação Cognitiva, de Campello de Souza e a Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel, as implicações de cada uma dessas teorias na pesquisa e a relação existente entre elas. No capítulo quatro, traz-se um estudo sobre colisões unidimensionais. No quinto capítulo, descreve-se, de forma detalhada, a metodologia adotada, a fim de verificar as modificações ocorridas na estrutura cognitiva dos estudantes, comparando-se as respostas apresentadas antes e depois da utilização da simulação. As simulações são discutidas no capítulo seis. No capítulo sete são apresentados os resultados e as suas análises. E, finalmente, no capítulo oito, as considerações finais deste trabalho, com as perspectivas de futuros resultados e para novas pesquisas.

1.1. PERGUNTA DE PESQUISA

Após a justificativa da importância de pesquisa relacionada com o estudo de colisões, na busca da identificação dos fatores relevantes que possam levar à aprendizagem significativa destes conceitos, passa-se a pesquisar, buscando responder a uma pergunta principal. Consideram-se, ainda, duas outras perguntas auxiliares que, combinadas, auxiliam a responder o questionamento principal.

- *Como a modificação ou criação de drivers¹ que possuem origem hipercultural² alteram os subsunçores dos estudantes quando estão aprendendo colisões mecânicas?*

Para responder a esta pergunta, deve-se primeiramente avaliar, após a utilização de uma simulação computacional, se:

- Existem indícios da modificação ou criação de novos *drivers*?
- Ocorreu aprendizagem significativa?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

- Investigar as modificações que poderão ocorrer na estrutura cognitiva dos estudantes, após a utilização de simulação computacional de colisões, descrevendo a relação desta modificação com uma eventual aprendizagem significativa.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar as imagens mentais e os *drivers* que os estudantes utilizam, antes e após a simulação, através da linguagem verbal e gestual;
- Avaliar as modificações que tenham ocorrido na estrutura cognitiva dos estudantes, comparando a coleta de dados inicial com a coleta de dados posterior;

¹ *Drivers* são dispositivos semelhantes a “máquinas virtuais” internas, que possuem papel importante na mediação como mecanismo externo ao cérebro, mesmo quando estes já não estão mais presentes. Ver subcapítulo 3.2.3.

² Hipercultura: os mecanismos externos de mediação passam a incluir os dispositivos computacionais e seus impactos culturais. Ver subcapítulo 3.3.

- Identificar em quais situações os estudantes passam a utilizar *drivers* que estejam relacionados com a simulação;
- Identificar em quais situações os estudantes modificam a sua estrutura cognitiva após a utilização da simulação;
- Relacionar a ocorrência de modificação de *drivers* hiperculturais com aprendizagem significativa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente, apresenta-se uma revisão referente a colisões, principalmente de trabalhos relacionados com ensino e suas implicações nesta proposta e a seguir, de forma breve, com trabalhos de revisões sobre informática no ensino de ciências. Por último, alguns trabalhos que vêm utilizando a recente Teoria da Mediação Cognitiva.

2.1 COLISÕES

Dentre os conceitos estudados em Física Básica, considera-se relevante a análise das colisões por uma série de razões: por possibilitar o estudo do teorema impulso-momento linear; por ser um problema clássico de aplicação dos princípios de conservação da energia e do momento linear para o sistema de partículas; por introduzir ideias que serão utilizadas posteriormente em Física Nuclear. Visando a estas aplicações, passa-se a selecionar artigos que tenham sido publicados a partir do ano de 1990, nos seguintes periódicos: *Física na Escola*, *Acta Scientiae*, *American Journal of Physics*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Computers & Education*, *Enseñanza de las Ciencias*, *European Journal of Physics*, *International Journal of Science Education*, *Investigações em Ensino de Ciências*, *Journal of Computer Assisted Learning*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Physicae*, *Physics Education*, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *Revista Ciências Exatas e Naturais* e *Science & Education*.

Além destes periódicos, também foram consultadas as seguintes bases de dados: ERIC (*Educational Resources Information Center*); EBSCO (*Academic Search Premier*); Google Acadêmico.

A metodologia adotada para a pesquisa nos periódicos e bases de dados foi a partir da ferramenta de busca nas páginas destes na Internet, com as entradas de título e resumo dos termos: “colisões”, “colisão”, “collisions”, “collision”, “colisiones” e “colision”.

Após a busca, foram detectados artigos relacionados com o estudo de colisões, totalizando 59 trabalhos.

A partir da seleção dos trabalhos, identificou-se pelo menos quatro categorias: a primeira é constituída por um grupo de artigos que aborda o estudo conceitual das colisões; o segundo grupo compõe um conjunto de artigos que relata atividades práticas e de laboratório relacionadas com estudo de colisões; o terceiro consiste em trabalhos que descrevem ou relatam atividades de utilização de novas tecnologias no ensino de colisões, em especial simulações e modelagem; o último grupo é constituído por estudos que relatam principalmente as concepções alternativas por parte dos estudantes, em termos dos conceitos envolvidos no estudo de colisões. A seguir apresenta-se o Gráfico 1, que representa o número de trabalhos por grupo.

Gráfico 1- Comparativo entre os quatro grupos de classificação dos trabalhos de revisão bibliográfica de colisões



Fonte: Revisão bibliográfica.

2.1.1 Trabalhos conceituais de colisão

Para o Grupo 1, considerando os trabalhos relacionados com discussões conceituais de colisões, encontraram-se 22 trabalhos, tendo uma maior concentração nos periódicos *American Journal of Physics* e *The Physics Teacher*. Os temas abordados pelos trabalhos foram: deformações que um corpo poderá sofrer durante uma colisão, Viana e Fernandes (2003), Twoney et al (2012); as relações entre as energias cinéticas envolvidas no sistema,

analisando a sua conservação total e também o quanto se pode dissipar de energia durante uma colisão Roura (2003), Mors (2011), Mungan (2013), Loveland (2000), Perrotta et al (2010) e Funk (2006). Outras discussões de relevância ocorreram a partir das Leis de Newton Roeder (2003), abordagem algébrica e geométrica das colisões Ramsey (1997), Machado e Potiguar (2011), coeficiente de restituição Kagan (2010). Também identificam-se trabalhos com abordagem em queda dos corpos, analisando a colisão com solo Cross (1999, 2000), Silveira (2014), e o momento Glaría e Slüsarenko (2002), Brunt e Brunt (2013), Funk (2006). Os trabalhos aqui apresentados contribuíram de forma direta ou indireta na elaboração da proposta de pesquisa, principalmente para o Capítulo 4 onde são analisadas as colisões unidimensionais. A seguir apresentam-se alguns pontos destes trabalhos que se considera pertinentes com a presente pesquisa.

Viana e Fernandes (2003) discutem a deformação ocorrida nos corpos no momento de uma colisão elástica, considerando que no momento da colisão ocorre a transformação da energia cinética em energia potencial elástica. Os resultados obtidos indicam que a deformação para esferas metálicas é da ordem de frações de milímetros. A análise realizada é válida para baixas velocidades, em que se pode desprezar as dissipações de energia térmica ou sonora. Os resultados apresentados e discutidos aqui são relevantes para esta pesquisa, pois, de forma geral, o ensino e de colisão leva em consideração apenas as leis de conservação, não considerando as deformações que ocorrem no momento da colisão, situação esta que muitos estudantes na pesquisa apontaram a necessidade de deformação. Twoney et al (2012), de forma semelhante, discutem uma atividade experimental da transferência da energia cinética para energia potencial elástica, e, posteriormente, para energia cinética, a fim de explicar o movimento dos corpos após a colisão.

No trabalho *Analyzing Collisions in Terms of Newton's Laws*, de Roeder (2003), o estudo das colisões é analisado a partir da segunda Lei de Newton, considerando o impulso sofrido pelos corpos no momento da colisão e também a terceira lei de Newton em sua análise. Como consequência desta análise, o autor relaciona a conservação da energia cinética com a conservação do momento linear do sistema. Um ponto interessante apresentado neste trabalho é a abordagem do autor para a conservação da energia cinética, relacionando com o impulso que o centro de massa recebe no momento da colisão. Como exemplo, aponta que o impulso recebido pelo centro de massa para uma colisão elástica é duas vezes maior que para uma colisão perfeitamente inelástica. O tipo de colisão está diretamente relacionado com o impulso sofrido pelos corpos.

Em relação às energias cinéticas envolvidas em uma colisão, Roura (2003) discute a relação para a colisão elástica, em que a energia é conservada após a colisão, apresentando um exemplo visual para este tipo de colisão. Mors (2011) discute de forma matemática a quantidade de energia cinética que é possível de ser perdida em uma colisão unidimensional. Demonstra que o mínimo de energia cinética que deve permanecer após uma colisão se dará quando as velocidades dos corpos após a colisão forem iguais. Além disso, discute o quanto se pode perder de energia cinética em uma colisão unidimensional. Outro trabalho com abordagem semelhante é o de Mungan (2013), porém discute a situação em que um dos corpos inicialmente encontra-se em repouso, sem um maior aprofundamento matemático, como apresentado por Mors (2011).

Neste mesmo sentido, o trabalho de Loveland (2000) que analisa situações das energias em colisões, que denomina de não ideias, que seriam as colisões não-elásticas. Outro trabalho importante referente à análise das energias é o de Perrotta et al (2010), que apesar de não ter como foco a abordagem referente a colisões, considera o estudo da conservação de energia cinética a partir das relações das forças externas. O trabalho de Funk (2006) estuda o comportamento, a partir das leis de conservação da energia cinética e do momento linear, de dois corpos que inicialmente encontram-se em movimento, colidindo de forma elástica. O autor realiza uma demonstração das equações envolvidas nessa situação, de acordo com o comportamento das velocidades dos dois corpos após a colisão.

Ramsey (1997) apresenta uma abordagem para a colisão entre dois corpos visando à simplificação da álgebra existente nestes cálculos. Para isso, utiliza a interpretação geométrica dos problemas de colisão, as quais, segundo o autor, produzem uma grande quantidade de informações que facilitam a interpretação.

Outro trabalho que apresenta resultados, de certa forma também considera a geometria nas colisões, porém, considerando todas as equações no momento da colisão, incluindo a rotação das esferas no momento da colisão é o de Machado e Potiguar (2011). Neste estudo, os autores implementam o comportamento no momento da colisão do movimento rotacional, o que leva a uma detalhada análise da conservação da energia. Ainda, discutem o comportamento de uma bola de futebol e as suas possíveis variações na colisão com o solo, utilizando, para isso, uma análise matemática detalhada dos fenômenos.

Kagan (2010) discute o balanço de Newton a partir do coeficiente de restituição dos corpos, onde determina as velocidades das esferas dependentes da velocidade inicial dos corpos e do coeficiente de restituição. Para o caso particular do coeficiente de restituição igual

a um, tem-se que a velocidade do corpo que inicialmente estava em repouso será igual a velocidade do corpo que estava em movimento, e este entra em repouso.

Nig (2008) para a situação em que o alvo encontra-se em repouso inicialmente, onde o projétil irá colidir de forma elástica, o projétil poderá ter dois possíveis comportamentos, para que as leis de conservação do momentum e da energia cinética sejam respeitadas: na primeira situação o projétil ficará em repouso, e na segunda passará a se deslocar de forma perpendicular ao movimento do alvo. Como nesta pesquisa analisa-se apenas o movimento unidimensional, considera-se somente o primeiro resultado.

Nesse mesmo sentido, há o trabalho de Millet (1998). Ainda, em relação à direção do deslocamento, Mungan (2007) realiza uma análise da direção de incidência de uma bola com um taco, buscando identificar o ângulo entre anteparo e projétil após a colisão. Para esta análise, leva em consideração o coeficiente de restituição. Este trabalho é um bom exemplo para a introdução das colisões bidimensionais.

Cross (1999) faz a análise do movimento de uma bola quicando no solo, para diferentes tipos de bola (tênis, beisebol, golfe, aço, borracha, plástico). Para isso, realizou experimento que constava no abandono de um corpo, medindo a velocidade de retorno, analisando o tempo de contato com solo, que está diretamente associado com a deformação que o corpo sofre. A bola de tênis foi a que teve maior deformação, enquanto que a de aço, a menor. A análise realizada constou basicamente da deformação da bola, o tempo de contato com solo, e a velocidade de retorno, para a determinação do coeficiente de restituição. Em outro trabalho, Cross (2000) analisa o coeficiente de restituição, para uma colisão com solo, comparando com colisões que poderiam ocorrer na horizontal. Os resultados apresentados são semelhantes ao trabalho de 1999.

Ainda, com relação ao estudo de colisões com o solo, há o trabalho de Silveira (2014), que considera como efeito estilingue, no qual consta a análise de duas esferas, de massas diferentes, que são abandonadas onde a de massa menor é colocada sobre a que possui massa maior. No momento da colisão, a esfera menor retorna a uma altura superior à que foi abandonada, devido à transferência de energia da esfera maior para a menor. Este estudo apresenta as relações matemáticas que estão envolvidas neste curioso resultado.

Outro ponto importante encontrado nas discussões, que deve ser levado em consideração, é referente ao momento linear. Glaría e Slüsarenko (2002), Brunt e Brunt (2013), Funk (2006) apresentam trabalhos que discutem a conservação do *momentum*, trazendo um tratamento matemático para os diferentes tipos de colisões.

2.1.2 Atividades experimentais para estudo de colisões

Neste segundo grupo foram selecionados 14 trabalhos que abordam atividades experimentais relacionadas ao estudo de colisões e identificada a existência de um maior número de trabalhos publicados no periódico *The Physics Teacher*. As atividades encontradas que abordam a conservação do momento: Williamson, Torres-Isea e Kletzing (2000), Derby e Fuller (1999), Twoney (2012), Cavalcante, Bonizzia e Gomes (2008); conservação de energia cinética Chesman et al (2005), Bianchi e Alves Filho (2004), Cross (2015) e a interpretação da dissipação da energia cinética em uma colisão Zou (2006). Atividades que buscam determinar o tempo de colisão Hessel et al (2006), Izzarra (2012); a diferença entre colisão elástica e inelástica Gluck (2010), bem como a atividade que busca analisar apenas a colisão elástica, Bridges (1998). Outras atividades buscam também identificar o coeficiente de restituição, Hagg (2002), Cavalcante, Bonizzia e Gomes (2008), com a utilização do computador para obtenção de dado (SAAVEDRA et al, 2008). A seguir descrevem-se, de forma sucinta, as principais atividades encontradas nestes trabalhos que abordam o estudo de colisões.

Williamson, Torres-Isea e Kletzing (2000) e Derby e Fuller (1999) descrevem atividades semelhantes, realizadas com estudantes de graduação, buscando demonstrar a conservação do momento linear e angular. Os estudantes filmam a colisão de dois objetos em uma mesa de ar. A seguir, utilizam imagem estroboscópica da trajetória dos dois objetos, verificando que tanto o momento linear como o angular são conservados.

De forma semelhante, Twoney (2012) descreve uma atividade experimental que busca demonstrar a conservação do momento linear e da conservação de energia cinética, antes, durante e após a colisão. Além disso, discute o coeficiente de restituição nas colisões.

Considerando a dificuldade dos estudantes em visualizar a dissipação de energia cinética nas colisões inelásticas, Zou (2006) utilizou a colisão entre sacos de areia, para que o estudante conseguisse visualizar a deformação no momento da colisão e, conseqüentemente, para onde estava indo a energia cinética no momento da colisão inelástica. Para isso, as colisões entre os sacos de areia eram filmadas e posteriormente analisadas pelos estudantes. As discussões levaram os estudantes a identificar que parte da energia era dissipada no momento da colisão pela deformação dos sacos de areia.

Chesman et al (2005) descrevem uma atividade experimental para abordar as leis de conservação através da colisão entre duas bolas de bilhar. Foi montado um aparato de madeira de forma que uma das bolas ficaria suspensa por fios fixados na madeira, em forma de um pêndulo, enquanto a segunda fixada em um local onde seria colidida pela outra bola. A posição desta segunda esfera estaria a uma altura que poderia ser ajustada, e que, ao sofrer a colisão da outra esfera, seria arremessada, atingindo certa distância em relação à horizontal. Os estudantes deveriam determinar qual seria a posição que a bola atingiria o solo. Para isso, deveriam utilizar as leis de conservação, a fim de determinar esta distância.

Igualmente, Bianchi e Alves Filho (2004) descrevem a construção alternativa de um pêndulo balístico. Com essa atividade, os autores buscam possibilitar a discussões referentes à conservação da quantidade de movimento, colisões, limites experimentais e suas correções e aproximações. Ao final do trabalho, os autores apresentam alguns resultados experimentais e teóricos, que indicam que a atividade se aproxima dos valores teóricos. Cross (2015) também descreve uma atividade experimental com bolas de sinuca, tendo como objetivo o estudo das leis de conservação.

Hessel et al (2006) apresenta uma atividade experimental, cujo objetivo é a determinação do tempo de colisão entre esferas idênticas e a força de interação no momento da colisão. Para tanto, traz um sistema de equações relacionando força e tempo de colisão, compatível com a teoria de Hertz para colisões. O arranjo experimental consiste em um sistema mecânico de bolas que colidem horizontalmente, sendo monitorado por um circuito elétrico e contador eletrônico utilizado para medir o tempo de colisão. A partir dos dados foi possível a determinação de parâmetros relevantes, demonstrando a relação entre força de interação entre as bolas e o tempo de colisão. Conforme os autores, os resultados ficaram muito próximos dos valores teóricos. Em outra atividade, Izzarra (2012) discute uma atividade cujo objetivo é a determinação da duração da colisão de uma esfera com uma parede. Porém, não apresenta maiores discussões sobre as leis de conservação.

A fim de apresentar a diferença entre uma colisão elástica e inelástica, Gluck (2010) descreve uma atividade experimental que consiste basicamente na colisão entre dois carrinhos. Em um dos carrinhos foi colocada uma série de arruelas em uma estrutura rígida, enquanto no outro as arruelas eram colocadas com borrachas, tendo objetivo de absorver o impacto. Na atividade, verifica-se que o carrinho montado com as arruelas rígidas (ponto de colisão) colidia com uma parede e retornava com pouca redução na velocidade de retorno, enquanto que no carrinho montado com arruelas e borracha (ponto de colisão) a velocidade de

retorno foi inferior ao primeiro carrinho. Com essa atividade, buscou demonstrar duas situações em que haveria diferença na conservação de energia dos carrinhos, comparando com colisões elástica e inelástica. Não foram apresentadas discussões sobre a aprendizagem dos estudantes com a utilização desta atividade. Com o mesmo objetivo, Bridges (1998) expõe uma atividade de duas esferas rígidas ligadas por uma mola para a demonstração da colisão elástica.

Tunner e Ellis (1999) apresentam uma atividade de coleta de dados para a exploração das energias envolvidas em uma bola quicando com solo, onde buscaram discutir com os estudantes o comportamento da energia mecânica do sistema.

Hagg (2002) traz uma atividade experimental que busca determinar o coeficiente de restituição, abandonando uma esfera que colide com o solo. O som gerado por esta colisão é captado por um microfone, que, através do espectro sonoro emitido por sucessivos impactos e analisado por um *software*, medem-se as diferenças entre os sinais sonoros e a partir destes, relaciona com o coeficiente de restituição, associando com conservação ou não da energia do sistema. Ainda, com relação à aquisição de dados pelo computador, Cavalcante, Bonizzia e Gomes (2008) descrevem uma atividade que utilizou fontes de aquisição de dados, um microfone, e uma placa de som como interface para medir intervalos de tempo. Nesta proposta, os autores descrevem uma atividade para analisar a conservação da quantidade de momento linear em colisão. Por intermédio do fotossensor é possível medir a velocidade das esferas antes e após a colisão, através da análise de um *software*. Com os valores obtidos, é possível a determinação do coeficiente de restituição. Neste trabalho, os autores apenas discutem a forma de montagem e utilização do experimento, não apresentam resultados de discussão dos estudantes em relação ao aprendido.

Saavedra et al (2008), descreve uma atividade realizada junto aos alunos de graduação em engenharia, em que consiste em um trilho de ar acoplado a um transformador variável diferencial linear (TVDL). Neste trilho de ar existem sensores de movimento que obtém, em tempo real, grandezas como velocidade, aceleração, sendo possível medir a quantidade de movimento. O TVDL atua como um sensor de impacto, fazendo levantamento da força versus tempo, em que através de um gráfico é possível determinar o impulso. A atividade tem como enfoque a análise do impulso e da quantidade de movimento. Os resultados obtidos pelos pesquisadores indicam uma melhora no aprendizado dos estudantes.

2.1.3 Utilização da informática para o estudo de colisões

Inicia-se a análise a partir de um trabalho que não aborda diretamente o estudo de colisões com a utilização do computador, mas uma discussão epistemológica em relação às simulações, apresentado por Creca, Seoane e Arriassecq (2014). Verifica-se que a grande maioria dos trabalhos discute a utilização das simulações com as possíveis evoluções que estas tenham trazido para os estudantes: Whitelock et al (1993), Simpson, Hoyle e Noss (2005), Rampinelli e Ferracioli (2006), Wee (2012), Marshall e Young (2006), Lindgren e Schwartz (2009), Reis (2003) e Reis e Serrano Neto (2003). De forma geral, os resultados destes trabalhos indicam que a utilização de simulações contribui para o aprendizado dos estudantes. A seguir descrevem-se, sinteticamente, os principais resultados apresentados nos trabalhos selecionados para a utilização da informática no ensino de colisões.

Com relação à utilização de simulações no ensino de ciências, há a contribuição de Creca, Seoane e Arriassecq (2014) na discussão os aspectos epistemológicos relacionados a simulações, que, de forma geral, não vem sendo dada a devida atenção. Neste trabalho reveem-se alguns pensadores contemporâneos, emergentes da filosofia da ciência, levantando questões consideradas relevantes para o ensino de ciências baseado na utilização de simulações.

Whitelock et al (1993) descrevem uma atividade de simulação em colisões, que confrontam com os resultados esperados pelos estudantes, isto é, com suas concepções alternativas. Verificaram que a simulação de colisões facilita o entendimento por parte dos estudantes em termos e conservação de energia. Em outro trabalho, Simpson, Hoyle e Noss (2005) identificaram que os estudantes também são levados a testar as suas concepções alternativas, com relação a colisões, através do uso de modelagem e posteriores simulações computacionais. Além disso, os alunos foram levados a verificar a limitação dos seus modelos, com objetivo de adquirir modelos mais abrangentes. De forma geral, os autores identificaram que a limitação mais comum dos estudantes, enquanto elaboravam os seus modelos, tendia a produzir soluções mais específicas do que soluções mais gerais, onde as suas soluções funcionavam para uma classe muito restrita de situações. Mas, após a realização das simulações, passava a utilizar concepções mais gerais.

Rampinelli e Ferracioli (2006) apresentam o relato de uma experiência que envolve a integração de tecnologia com modelagem de problemas físicos, em especial relacionados com

colisões. Para este estudo, os estudantes deveriam primeiramente responder a um questionário sobre colisões, e, logo em seguida, desenvolver uma atividade de modelagem semiestruturada com o auxílio do professor. A estrutura elaborada na proposta buscou levar os estudantes a uma reflexão sobre o fenômeno estudado, para a construção e representação de um modelo inicial no papel e, posteriormente, representá-lo no ambiente de modelagem computacional.

Na realização do módulo final sobre colisões, relatado neste artigo, desenvolvido após 12 horas de envolvimento com conceitos relacionados à modelagem computacional, foi possível observar uma evolução da maioria dos estudantes. Os resultados da análise revelam a dificuldade dos alunos em traduzir as variáveis físicas para modelagem do problema. De forma geral, os autores verificaram que os estudantes apresentaram evoluções sobre o fenômeno de colisões, em que passaram a analisar os resultados obtidos através da simulação e comparação dos resultados com o esperado.

Wee (2012) descreve uma atividade de simulação de colisões elaborada em *Java Simulations*. De forma geral, discutem nesse trabalho o *feedback* dado pelos estudantes, em entrevistas realizadas após a utilização da simulação. Estes resultados indicam sensíveis melhoras com relação à compreensão dos conceitos relacionados com o estudo de colisões, apontando um aumento nas respostas dos estudantes com relação ao seu conhecimento dos conceitos de colisão, passando de 5% para 56% após a utilização da simulação; em paralelo a isso, uma redução de 72% que consideravam que sabiam pouco para 3% após a simulação. Mais de 70% consideram a experiência da simulação como agradável de muita valia para a compreensão dos conceitos de colisão.

Marshall e Young (2006) apresentam um estudo de utilização de simulações de colisões por futuros professores em suas atividades docentes. Os resultados indicam certa dificuldade destes futuros professores na realização da atividade. Porém, os resultados apresentados pelos alunos destes futuros professores indicam uma sensível melhora nos conhecimentos de colisão.

Lindgren e Schwartz (2009) buscam discutir os efeitos cognitivos sobre a aprendizagem com a utilização de simulações. Relacionam aspectos positivos e negativos, destacando uma notável superioridade com a utilização de imagens relacionadas à simulação.

Nesse sentido Reis (2003) e Reis e Serrano Neto (2003) apresentam relatos importantes que descrevem as vantagens cognitivas com a utilização das simulações de colisões, sob os aspectos conservação de energia, na identificação do tipo de colisão,

conservação do momento linear e a dependência entre as leis de conservação. Como resultados, Reis (2003) afirma que houve uma melhora na compreensão dos conceitos de energia, onde a autora considera que os resultados apresentados pelos estudantes foram de grande evolução, principalmente para alguns dos conceitos considerados de difícil compreensão conceitual, como, por exemplo, conservação de quantidade de movimento. Além disso, Reis e Serrano Neto mostram que os resultados indicam que as atividades através das simulações não apenas causaram um aumento significativo nas médias de compreensão destes conceitos, como, também, podem ter produzido uma aprendizagem significativa dos conceitos.

Em outro trabalho, Reis e Serrano Neto (2002) realizaram um trabalho de investigação de simulações de colisões disponíveis pela Internet, selecionando cinco trabalhos e discutindo-os em relação aos conceitos abordados. Assinalaram que em apenas um dos programas selecionados os estudantes conseguem observar, ao realizar a simulação, o que ocorre com a energia e momento linear antes, durante e após a colisão. Outro ponto interessante é que em nenhuma das simulações utilizam a conservação de energia para definir o tipo de colisão, sendo que algumas delas utilizam o coeficiente de restituição como forma de definir o tipo de colisão.

Outros resultados colaboram no sentido de que as simulações trazem contribuições em relação à aprendizagem dos estudantes, Veernabs, Joolingen e Jong (2006), Jong (1999) e George, Broadstock e Abad (2013), porém não há identificação de trabalhos que abordem como ocorre esta aprendizagem, quais os efeitos nas estruturas cognitivas do estudante após a utilização das simulações de colisões. Os resultados dos trabalhos pesquisados indicam que ocorre uma melhora, que as simulações contribuem de forma significativa, mas não abordam o como ocorre essa influência das simulações no aprendizado.

2.1.4 Estudo das concepções dos estudantes sobre os conceitos envolvidos no estudo de colisões

No quarto grupo, identificam-se 12 trabalhos que analisam as concepções espontâneas referentes ao estudo de colisões. Após a análise verificou-se que vários trabalhos abordam o tema referente a concepções espontâneas e alternativas dos estudantes em relação a colisões,

momento e energia, com resultados semelhantes. Destacam-se os trabalhos de Villani e Pacca (1990a, 1990b) e Grimellini-Tomasini (1993). Outros trabalhos também apresentam resultados importantes para a análise aqui realizada: Villani (1991), Villani e Carvallho (1995, 1997), Graham e Berry (1996), Pacca e Henrique (2004), Reis (2003), Bañas, Mellado e Ruiz (2004) e Barbosa e Borges (2008)). A seguir descrevem-se os principais resultados encontrados nesses trabalhos.

Um relato apresentado por vários autores Grimellini-Tomasini (1993), Villani (1991), Bañas, Mellado e Ruiz (2004), Barbosa e Borges (2008) e Pacca e Henrique (2004) refere-se às dificuldades dos estudantes em utilizar a lei de conservação de energia, prevalecendo a ideia de transmissão, como a transferência de alguma coisa, do projétil para o alvo. Os estudantes utilizam a concepção espontânea e durante a colisão ocorre a transmissão parcial ou total da energia do corpo que colidiu para o corpo que sofreu a colisão.

Também se identificou que os estudantes têm dificuldade em analisar os instantes iniciais e finais em uma colisão, o que dificulta a aprendizagem das leis de conservação. Relacionam a energia do sistema em diferentes instantes, mas não descrevem como ocorre a transmissão de energia, Villani e Carvallho (1997). Geralmente os estudantes não necessitam analisar a interação do que ocorre durante a colisão, pois basta aplicar o princípio da conservação de energia relacionando apenas com os estados finais e iniciais do sistema.

Quando há perda de energia em uma colisão, verificou-se que os estudantes necessitam explicar, principalmente a quantidade de energia perdida. Eles tendem a introduzir perda de energia quando, por exemplo, a massa do alvo for maior que a do projétil (GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993; VILLANI; PACCA, 1990a, 1990b). De forma geral, o ensino médio analisa o tipo de colisão através do coeficiente de restituição, que em nada diz em relação à perda ou ganho de energia, mas sim uma análise da razão entre as velocidades relativas de afastamento e de aproximação.

Dessa forma, muitos estudantes possuem a dificuldade de definir o tipo de colisão através da conservação ou não da energia cinética do sistema. Grimellini-Tomasini et al (1993) identificaram, em estudantes de nível superior, que a análise do tipo de colisão, pela dissipação ou ganho de energia, está distante das concepções espontâneas dos estudantes. Os estudantes focam a sua atenção na variação das velocidades dos corpos envolvidos na colisão; mesmo que tenham identificado a relação entre a inelasticidade da colisão com a perda de energia, consideram mais fácil a análise a partir das variações das velocidades dos corpos integrantes do sistema.

Conforme Reis (2003), deve-se evitar a utilização do coeficiente de restituição, uma vez que este não necessita diretamente da análise da energia cinética do sistema antes e após a colisão. Deve-se, então, utilizar conceitualmente a conservação ou dissipação de energia cinética para fins de definição do tipo de colisão existente, pois com isso estará relacionando o tipo de colisão diretamente com as energias envolvidas no sistema.

Assim como os estudantes possuem dificuldades em compreender a lei conservação de energia, verificou-se que para a lei de conservação de momento linear não é diferente. A construção da ideia de conservação do momento linear pode ser impedida pelo modelo de transmissão que os estudantes utilizam na conservação de energia. (GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993). Villani e Pacca (1990a) identificaram em estudantes de pós-graduação a ideia da produção de uma força contrária, reativa. Conforme estes autores, a diferença com a terceira Lei de Newton é de que esta se conecta por ideia de conservação. Com a utilização desta concepção, os estudantes apresentam dificuldades em prever o que irá acontecer com a energia cinética do alvo a partir do movimento do projétil, pois não há uma conexão entre a ação do projétil e a reação do alvo.

Ainda com relação ao momento linear, os estudantes possuem a dificuldade de identificá-lo como uma grandeza vetorial. Conforme Grimellini-Tomasini et al (1993) é fundamental, para que o estudante consiga descrever como o sistema evolui, a identificação do momento linear como uma grandeza vetorial. Porém, é conhecido que grandezas vetoriais dificilmente estão próximas das concepções dos estudantes (VILLANI; PACCA, 1990).

Também verificou-se que os estudantes possuem dificuldades em prever as velocidades finais dos corpos envolvidos nas colisões. Para isso, os estudantes deveriam perceber que as leis de conservação, energia e momento, são necessárias e suficientes para a análise de uma colisão. O estudante deve perceber a determinação das velocidades finais de um sistema após a colisão, somente quando as duas leis forem satisfeitas. (GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993). Talvez a dificuldade na determinação possa estar na dificuldade que os estudantes possuem em determinar as leis de conservação (GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993; VILLANI; PACCA, 1990). Conforme Reis (2003), ao aplicarem o mecanismo de transmissão (tanto para energia, quanto para quantidade de movimento) os dois conceitos acabam se sobrepondo.

E finalmente, os estudantes possuem a dificuldade na interpretação de um sistema isolado. Conforme Grimellini-Tomasini et al (1993, p.176) “[...] corpo tem algo que pode ser dado a outro, por um processo onde a individualidade de cada corpo é absoluta”. Com isso, os

estudantes têm dificuldade em perceber que estes corpos fazem parte de um sistema, que deverão ser analisados como um conjunto. Esta interpretação dificulta a compreensão do conceito de conservação do momento linear.

2.1.5 Algumas considerações em relação aos trabalhos pesquisados

Ao final da revisão da literatura de colisões e da análise dos trabalhos pesquisados, verifica-se a existência de trabalhos que utilizam simulações no ensino de colisões, relatando que houve evoluções após a utilização do simulador. Porém, não foram identificadas pesquisas relatando a forma como ocorrem e quando ocorrem estas possíveis evoluções cognitivas, em termos dos conceitos de colisões.

Verificou-se, ainda, que a grande maioria dos trabalhos foi publicada em periódicos internacionais. O número reduzido de trabalhos publicados nos principais periódicos nacionais é uma forte indicação de que é pouca a produção de pesquisa no ensino de colisões, e, de forma especial, de simulações de colisões.

Dentre os trabalhos pesquisados, 39 abordam o tema sob a perspectiva pós-newtoniana; não foi identificado trabalhos dentro da perspectiva newtoniana. Foi identificado apenas um trabalho que utiliza explicitamente o referencial teórico a partir da Teoria da Aprendizagem Significativa. Além disso, os estudos de Grimellini-Tomasini et al (1993) indicam que os estudantes possuem algumas concepções alternativas em relação aos conceitos de colisões:

- Dificuldade em utilizar a lei de conservação de energia;
- Dificuldade ao definir o tipo de colisão através da conservação ou não de energia cinética;
- Dificuldade em compreender a lei de conservação da quantidade de movimento;
- Dificuldade em perceber quantidade de movimento como grandeza vetorial;
- Dificuldade em determinar as velocidades finais utilizando as leis de conservação;
- Dificuldades em distinguir as duas leis de conservação.

Com os resultados encontrados nesta pesquisa bibliográfica, verifica-se a necessidade de realizar pesquisas na área de utilização de simulações no ensino de Física, buscando

identificar, de forma detalhada, como ocorre a interferência destas ferramentas no ensino de Física. Com a utilização de simulações de colisões, torna-se importante verificar se ocorrerão modificações às concepções alternativas dos estudantes, após a sua utilização.

2.2 INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

Para uma revisão sobre a temática, já extensivamente discutida na literatura de Ensino de Ciências e Matemática, de utilização de simulações e computadores no Ensino de Física, acredita-se que alguns trabalhos-chave realizam esta revisão de forma bastante competente. O primeiro a mencionar é o artigo de Araujo, Veit e Moreira (2004), com trabalhos consultados a partir do ano de 1990, onde encontraram 109 trabalhos, sendo que destes: oito na forma de discussão da literatura sobre o tema, 101 trabalhos distribuídos entre trabalhos de pesquisa, propostas com avaliação empírica e simples apresentação de propostas. Os autores verificaram que existe uma concentração em trabalhos com abordagem em Mecânica Newtoniana, principalmente por meio de simulações e modelagem, enquanto que trabalhos que abordam a utilização das simulações ou modelagem em Ótica ou Física Moderna é bem inferior.

Outro trabalho referente à utilização de simulações no ensino de ciências é apresentado por Smetana e Bell (2012), onde relatam o estudo de 61 trabalhos que abordam a temática da eficiência do ensino de ciências com a utilização das simulações. Os resultados indicam que a utilização das simulações pode ser mais eficaz que a forma tradicional de ensino, pois contribuem no desenvolvimento de habilidades, relacionados com os tópicos abordados, facilitando a mudança conceitual.

Conforme os resultados apresentados por estes autores, as simulações no ensino de ciências são mais eficazes quando utilizadas como complemento ao ensino tradicional, e incentivam os estudantes a reflexões do que está sendo simulado. Dessa forma, os autores consideram que as utilizações de simulações continuaram a evoluir trazendo vantagens cognitivas aos estudantes.

2.3 ALGUNS TRABALHOS DA TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA

Apesar de recente, a TMC³ já vem sendo utilizada como referencial teórico. Na sequência, apresentam-se alguns trabalhos relacionados com a TMC.

Dentre os resultados apresentados por Campello de Souza (2004, 2012), o desempenho cognitivo está associado ao nível hipercultural do sujeito, independentemente do sexo, da idade, da escolaridade e da renda. Os resultados de Campello de Souza (2012) indicam que o ganho cognitivo está associado diretamente ao nível hipercultural. O ganho cognitivo demonstrado pelo autor vem de uma pesquisa de 1291 indivíduos, de ambos os sexos, de diferentes idades, cujos resultados obtidos apresentam impactos no nível cognitivo, conforme o nível hipercultural, e coloca a TMC como um modelo válido para cognição humana, principalmente no que se refere à compreensão da Revolução Digital.

Silva (2008), em sua Dissertação, realiza uma análise comparativa da psicologia dos *Roleplaying Games* (RPGs), em suas modalidades de mesa (PnP RPG) e *on-line* (MMORPG), à luz da TMC. Os resultados obtidos revelam que a mediação cultural prevalece entre os jogadores de mesa, e a hipercultural entre os jogadores *on-line*. Conforme o autor, entre os RPGs estudados, os que apresentam elevada complexidade cognitiva são catalisadores de processos mentais sofisticados, enquanto os *on-line* estão mais ligados ao pensamento lógico-matemático e ao trabalho em equipe. Conforme Silva:

Convém acrescentar que a presente investigação permitiu vislumbrar o forte impacto da hipercultura no pensamento das pessoas, particularmente, nesta pesquisa, na forma de os participantes exercerem a atividade de jogar RPG. No caso do MMORPG esta influência é mais evidente devido ao fato de ser necessária a utilização de ferramentas digitais para se poder jogar, mas o estudo mostrou que jogadores de PnP RPG, uma vez imersos na Era Digital, também se encontram fazendo uso das referidas ferramentas como suportes cognitivos. De maneira que se pode constatar a mudança no pensamento das pessoas, ao menos dos participantes desta pesquisa, no sentido da utilização de lógicas cada vez mais amplas e holísticas para uso em contextos diversos, e isso com a máxima eficiência possível, reduzindo assim os efeitos de sobrecarga cognitiva, característicos da sociedade contemporânea. (SILVA, 2008, p.162)

Raupp et al (2010) realizou uma investigação com estudantes do Ensino Médio que utilizaram um *software* de construção de modelos moleculares, em que a TMC serviu como

³ A Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) será discutida de forma detalhada no capítulo 3.3.

aporte teórico, e identifica o crescimento da capacidade cognitiva dos estudantes com contato com o computador. Como resultado, verificou que os estudantes adquiriram habilidades e ganho cognitivo, após a utilização do *software*.

Outro estudo, que utiliza a TMC, foi realizado com uma amostra de 1280 estudantes brasileiros do Ensino Médio, por Roazzi et al (2010), em que responderam um questionário de informações sociodemográficas referente à utilização de jogos computacionais, além de uma avaliação de conhecimentos. Dentre os resultados identificaram que os alunos que utilizam MMORPGs obtiveram melhor desempenho em questões lógico-numérica e melhor habilidade de resolução.

Campello de Souza et al (2012a) investigaram o papel da hipercultura em atividades relacionadas com consultoria organizacionais. Os resultados indicam que os consultores mais hiperculturais obtiveram mais clientes de alto perfil, fechando maior número de contratos e obtendo, dessa forma, melhor desempenho na atividade de consultoria.

Os efeitos da hipercultura puderam ser observados no desempenho da consultoria, considerando que os consultores que apresentaram maior grau de hiperculturalidade mostraram uma maior tendência a atrair clientes de alto perfil e a fechar um maior número de contratos. (CAMPELLO DE SOUZA et al, 2012a, p. 15)

De forma geral, os trabalhos acima relacionados apresentam relação entre hipercultura e possíveis ganhos cognitivos dos participantes. Porém, não são pesquisas conclusivas, que fortalecem ainda mais a pesquisa ora realizada, com a busca da relação entre a hipercultura e o ganho cognitivo, verificada através da aprendizagem significativa.

Trevisan e Serrano Neto (2014) investigaram quais *drivers* são adquiridos ou modificados após a utilização de ferramentas hiperculturais, para o conteúdo dual da matéria e da radiação eletromagnética. Verificaram que a modificação ocorreu nos *drivers* psicofísicos e culturais já existentes, o que ocasionou uma evolução conceitual. Mas apesar deste resultado positivo, observaram que os *softwares* utilizados não são suficientes para a aquisição de novas representações e *drivers* microscópicos pelos alunos, possivelmente pela maneira como estes *softwares* representam um fenômeno físico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, abordam-se os dois referenciais teóricos que subsidiarão a presente pesquisa. Por considerar tratar-se de atividades que utilizam simulações computacionais de colisões, acredita-se que a Teoria da Mediação Cognitiva, apresentada por Campello de Souza, parece ser o referencial teórico apropriado, visto que aborda diretamente o que o autor denomina de mediação digital. Esta teoria, advinda de uma hipercultura, relaciona-se diretamente com a influência cultural das tecnologias da informação. Também utiliza-se a Teoria da Aprendizagem Significativa, apresentada em sua forma original, por Ausubel e Novak, como um referencial suprateórico (MOREIRA, 1997), que norteia o processo de aprendizagem do ponto de vista global. Garimpam-se elementos nesta teoria, a fim de identificar se os resultados apresentados pelos estudantes, após a utilização das simulações, são compatíveis com uma aprendizagem significativa.

Inicialmente, apresenta-se uma discussão sobre correntes que defendem o imagismo *versus* a corrente que defende o proposicionalista. A seguir passa-se a discutir a Teoria da Aprendizagem Significativa e seus desdobramentos nesta pesquisa. Após, aborda-se a Teoria da Mediação Cognitiva, com o início de uma discussão sobre as mudanças ocorridas a partir das novas tecnologias. Na sequência, a essência da teoria, subsidiada nos trabalhos de Bruno Campello de Souza (2004) e seus desdobramentos.

Ao final, após a pesquisa realizada, apresenta-se a construção final sobre a relação existente entre as duas teorias: a Teoria da Mediação Cognitiva, por considerar mudanças cognitivas com a inserção de novas tecnologias, bem como a Teoria da Aprendizagem Significativa, porque considera as relações de mudanças ocorridas na estrutura cognitiva dos estudantes.

3.1 DISCUSSÃO SOBRE IMAGENS MENTAIS

As representações mentais são formas utilizadas para “re-presentar” internamente o mundo externo. “As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais (isto é, internas) dele” (MOREIRA, 1996, p.194).

A utilização de imagens remonta aos primórdios da humanidade. As pinturas realizadas pelas primeiras civilizações provavelmente eram a forma de expressar as imagens mentais que possuíam. Porém, a discussão referente à representação do conhecimento tem sido tema básico para as teorias cognitivistas em geral. Questionamentos sobre as representações cognitivas, que ainda anseiam por respostas conclusas e precisas, estão na base da discussão entre as duas correntes: as representações analógicas e as representações proposicionais. Ambas as correntes buscam apresentar respostas para os questionamentos referentes à forma como o conhecimento é alcançado, processado e utilizado de forma posterior. A imagem visual é o exemplo típico de representação analógica, mas há outras, como as auditivas, as olfativas, as tácteis.

As representações analógicas e proposicionais diferenciam-se, conforme Moreira:

As representações analógicas são não-discretas (não-individuais), concretas (representam entidades específicas do mundo exterior), organizadas por regras frouxas de combinação e específicas à modalidade através da qual a informação foi originalmente encontrada (EISENCK; KEANE, p. 184).

As representações proposicionais são discretas (individuais), abstratas, organizadas segundo regras rígidas e captam o conteúdo ideacional da mente independente da modalidade original na qual a informação foi encontrada, em qualquer língua e através de qualquer dos sentidos (ibid.). (MOREIRA, 1996, p.195)

Defensores do imagismo, como Bugelski (1970), Kosslyn (1980), Paivio (1990), Shephard (1978), Otero (1999, 2002 e 2004), consideram que as imagens mentais guardam um papel de centralidade na cognição, codificando conhecimento em formato icônico, como esquemas ou mapas cognitivos, cuja característica principal é referir-se a uma estrutura mental espacial. Este modelo, conhecido como analógico, é negado veementemente por Anderson (1978), Moran (1973) e Pylyshyn (1973), que defendem os modelos simbólicos e proposicionais, considerando que as imagens do ambiente não são realmente armazenadas de forma visual icônica, e sim numa forma básica de símbolos digitais elementares associados em redes, através de regras combinatórias.

Ninguém nega a existência das imagens mentais (ANDERSON, 1978); e embora tenham sido negligenciadas por psicólogos cognitivistas, elas parecem desempenhar um papel fundamental para o desenvolvimento científico. Os resultados de uma série de experimentos indicam que a imagem mental é capaz de substituir a percepção real (SHEPARD, 1978). Paivio (1976) e Kosslyn e Pomerantz (1977) propõem que a imagem mental de um objeto pode ser equiparada à relação da percepção do objeto e à representação da imagem.

Segundo Kosslyn (1990), a maior parte das respostas para as funções atribuídas às imagens mentais são para recuperar de forma explícita as informações que temos em nossa memória implícita. Kosslyn cita como exemplo que, se questionados sobre quantas janelas há em nossa residência, possivelmente antes de responder utilizaremos as imagens mentais que temos armazenadas, inspecionando mentalmente cada cômodo da casa, o que nos permitirá contá-las. Porém, se já se dispõe da informação de forma codificada em formato proposicional, pode-se responder sem a necessidade de gerar imagens mentais. As imagens mentais deixam explicitamente informações implícitas na memória, isso significa que esta não é a única maneira que a memória tem em recuperar informações. Além disso, segundo os seus defensores, as imagens mentais poderão antecipar as informações relacionadas com movimentos e deslocamentos de objetos, ou seja, permitem a simulação de situações físicas reais.

Entretanto, os que questionam a validade da utilização das imagens mentais consideram que elas são uma distração para o leitor, que não são adequadas para a comunicação do conhecimento, na medida em que não pode ser atribuído um valor de verdade e que seus múltiplos significados só complicam a comunicação.

Anderson (1978) apresentou trabalhos que indicam que as imagens são mais bem lembradas quando elas podem ser interpretadas. Um dos maiores críticos das imagens mentais é Pylyshyn (1973). Para ele, a representação analógica está baseada em uma noção equivocada de que este tipo de representação mental seria como ver uma fotografia existente dentro do cérebro, como se fosse um álbum de fotos. E para a utilização de qualquer uma destas imagens bastaria recuperá-la dentro do cérebro, de forma pronta.

Os defensores das imagens mentais rebatem esta ideia, no sentido de que elas não seriam meramente fotografias mentais, não seriam apenas uma espécie de código, destinado a promover a memória. As imagens mentais permitiram que cientistas como Galileu e Einstein realizassem “experimentos mentais”, que forneceram conceitos básicos para teorias físicas (HOLTON, 1972; SHEPARD, 1978). Segundo Otero (1999), as imagens são representações analógicas com semelhança estrutural com o que elas representam, e não meras experiências subjetivas.

Outro argumento que rebate a ideia de imagens mentais como fotografias armazenadas no cérebro são os experimentos realizados por Kosslyn, que demonstram que as imagens não são armazenadas holisticamente, mas sequencialmente. O tempo, para construir uma imagem mental, aumenta quanto maior for o número de detalhes existentes nesta imagem. As imagens

mentais não são ativadas e desativadas como se fossem apresentadas em um projetor.

Os proposicionalistas consideram que os processos mentais que estão por trás de uma expressão proposicional são similares aos que estão por trás da percepção de um objeto ou imagem; porém, os imagistas consideram que os processos mentais que estão por trás de uma imagem mental são semelhantes às percepções que ocorrem quando em contato com um objeto, desenho ou fotografia (LAGRECA, 1997).

As proposições, conforme seus defensores, são conceitos mais versáteis e representativos, os quais podem ser utilizados para expressar qualquer tipo de informação. Todos os conceitos representacionais podem ser expressos no formato de uma proposição, porque permite a obtenção de uma representação analítica e discreta de conhecimento capazes de serem computados. Segundo Anderson (1978) e Jimenez (1993), as características que definem uma proposição são:

- a) Seu caráter abstrato – o sistema cognitivo armazena a informação em sistema mais abstrato que as representações analíticas, próprias das linguagens e de caráter amodal.
- b) Seu valor de verdade – significa que uma proposição pode ser verdadeira ou falsa, de forma que sempre carregue um valor de verdade. Mas, segundo Anderson (1978) a utilização de teoria proposicionalista não implica a existência de uma teoria psicológica de significado baseado na verdade.
- c) Possuir suas próprias regras de formação explícita – estas regras determinam quando uma proposição é boa ou ruim. Baseia-se em regras de formação, que correspondem a processos psicológicos, sendo que o par processo-representação serve para prever a conduta.

Para os imagistas, as imagens mentais não são rígidas e fixas, elas podem sofrer alterações mentalmente. Segundo Lagreca:

Uma imagem é suscetível de contínuas transformações mentais, tais como rotações ou expansões, nas quais os estados intermediários correspondem a estados intermediários (ou ponto de vista) de um objeto real que sofre as transformações físicas correspondentes. Assim, uma pequena mudança na imagem corresponde a uma pequena mudança no objeto (ou sua aparência). (LAGRECA, 1997, p.11)

Pylyshyn (1973) argumenta que é necessário propor um código proposicional para explicar como as pessoas podem descrever imagens em palavras, ou criar imagens que

ilustram um discurso verbal. Porém, os imagistas argumentam que existem inúmeras representações para imagens mentais que não necessitam de um código proposicional. Como exemplo, Anderson (1978) cita que, ao representar uma frase através de imagens mentais, estas imagens representariam o significado, mas não necessariamente a forma original.

Pode-se considerar o ditado de que uma imagem vale mais que mil palavras, como uma interpretação imagística, isso porque que as imagens, conforme Otero (2004, p. 11) “causam uma forma de comunicação mais livre e menos formalizada”, permitindo concretizar ideias.

Lagreca (1997) considera que as duas correntes são semelhantes na ideia de que uma se transforma na outra facilmente, o que levou teóricos a alegarem que esta polêmica não seria solucionável. Nesse sentido, Anderson (1978) mostra que uma teoria baseada em imagens mentais pode ser imitada por outra baseada em proposições.

Frente à polêmica entre as questões de imagens *versus* proposições, existe uma opção que seria uma síntese, uma terceira opção no construto representacional, denominado de Modelos Mentais de Johnson-Laird.

Conforme Moreira:

Para ele (Johnson-Laird), *proposições* são representações de significados, totalmente abstraídas, que *são verbalmente expressáveis*. O critério de expressabilidade verbal distingue Johnson-Laird de outros psicólogos cognitivos (STERNBERG, 1996, p.181). *Imagens* são representações bastante específicas que retêm muitos dos aspectos perceptivos de determinados objetos ou eventos, vistos de um ângulo particular, com detalhes de uma certa instância do objeto ou evento. *Modelos mentais* são representações analógicas, um tanto quanto abstraídas, de conceitos, objetos ou eventos que são espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais, mas que podem ser vistos de qualquer ângulo (e aí temos imagens!) e que, em geral, não retêm aspectos distintivos de uma dada instância de um objeto ou evento. (MOREIRA, 1996, p.196)

Para os modelos mentais, as imagens são representações de alto nível, que são fundamentais para o entendimento da cognição humana. Conforme Moreira (1996, p. 197) “Ainda que em seu nível básico o cérebro humano possa computar as imagens e os modelos em algum código proposicional (o “mentalês”), o uso destas representações liberta a cognição humana da obrigação de operar proposicionalmente em ‘código de máquina’”. O “mentalês” seria um código próprio, ao qual não temos acesso, e nem necessitamos utilizá-lo, pois conseguimos operar muito bem com imagens e modelos mentais.

3.1.1 Definição de imagem mental

Nesta proposta, utiliza-se a ideia das imagens mentais com o objetivo de identificar quando e como os estudantes estão utilizando tais representações mentais, relacionadas com as simulações. Para isso, considera-se que as imagens mentais são criadas a partir de informações armazenadas na memória. Elas são maleáveis, o que significa que uma determinada percepção adquirida do meio externo, quando passa a ser utilizada como imagem mental, é facilmente modificada, pois poderá estar associada a outras informações que fazem parte da estrutura cognitiva.

Utiliza-se a concepção apresentada por Otero (2004), na qual, em alguns casos, as imagens mentais podem ter sido geradas pela visualização, mesmo que breve, de um objeto, mas na maior parte dos casos a imagem é gerada com base em informações da memória.

Dessa forma, considera-se que uma imagem mental não será uma cópia da percepção visual de objetos externos, mas resultado do processo interpretativo do estudante, onde o resultado depende também do seu conhecimento.

3.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi originalmente apresentada por David Ausubel (1968), professor Emérito da Universidade de Colúmbia. Por ser psicólogo, dedicou grande parte de seus estudos à Psicologia Educacional. Posteriormente, Joseph Novak, educador da Universidade de Cornell, e outros colaboradores continuaram as pesquisas e releituras da Teoria da Aprendizagem Significativa.

Cabe destacar que, na fundamentação teórica, não se utiliza apenas o trabalho apresentado originalmente por Ausubel (1968), mas também consideram-se os estudos de Novak como coautor de Ausubel (1978, 1980) e Moreira (1999, 2005, 2006a, 2006b, 2010, 2011a, 2011b).

3.2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa

Ausubel considera a aprendizagem significativa primordialmente cognitivista, resultado do armazenamento de informações na mente de quem aprende de forma organizada. Acredita que a interação entre o material a ser aprendido e a estrutura cognitiva de quem aprende, quando ocorre aprendizagem significativa, modifica-se de definitivamente.

A Aprendizagem Significativa considera a interação do novo conhecimento com os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz; esta interação é, pois, *não-literal e não-arbitrária*. “Não-literal” quer dizer a mesma coisa que substantiva, não ao “pé da letra”; enquanto “não-arbitrária” significa que a interação não ocorre com qualquer conhecimento prévio, mas com determinado conhecimento existente e relevante na estrutura cognitiva do aprendiz.

Ausubel (1968) define o conhecimento existente na estrutura cognitiva como *subsunçor* ou, pelo termo menos usual, ideia-âncora. Moreira (2010) considera que o *subsunçor* pode ser um símbolo que já possua significado, uma proposição, um modelo mental ou até mesmo uma imagem, e aqui acrescenta-se uma imagem mental que seja relevante ao novo conhecimento. A definição de conceitos, apresentados por Ausubel e Novak (1978), considera as situações, os eventos ou as propriedades que possuem atributos comuns e que são designados, em uma determinada cultura, bem como aceito como signo ou símbolo.

Pode-se dizer que aprendizagem significativa é quando o novo conhecimento consegue se “ancorar” nos *subsunçores* existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Conforme Moreira (2010), as novas ideias, as novas proposições e os novos conceitos poderão ser aprendidos quando interagirem com outras ideias, outras proposições e outros conceitos, que sejam relevantes e que estejam claros e disponíveis na estrutura cognitiva do aprendiz, e que sejam, assim, um ancoradouro a esses novos conhecimentos.

Na concepção ausubeliana, a variável isolada que mais importa para a aprendizagem significativa são os conhecimentos prévios – os *subsunçores*. É importante que os conteúdos tenham sido aprendidos significativamente, isto é, de forma não-arbitrária e não-literal em relação à estrutura cognitiva. Para ensinar, há que se identificar quais são os *subsunçores* existentes do estudante e ensiná-los de acordo com esses conhecimentos.

Ausubel considera a pré-disposição do estudante em aprender outro fator de relevância para a aprendizagem significativa. Se não houver disposição do estudante para aprender, toda e qualquer tentativa de fazer com que ele tenha uma aprendizagem significativa será vã, mesmo que o novo conhecimento se relacione à estrutura cognitiva do estudante.

Quando o novo conteúdo se relaciona com a estrutura cognitiva do estudante, arbitrária e literalmente, sem que consiga ancorar-se aos *subsunçores* existentes, há o que Ausubel considera como “Aprendizagem Mecânica”. Este tipo de aprendizado não passa de uma simples memorização de leis, conceitos ou fórmulas e, até mesmo de técnicas de resolução. Quando o material a ser aprendido é relacionável à estrutura cognitiva do estudante, diz-se que ele é potencialmente significativo. Para isso, o material deverá ser logicamente significativo e relacionar-se com as ideias relevantes que se situam dentro do domínio da capacidade humana.

Porém, quando o novo material a ser aprendido não for potencialmente significativo, Ausubel sugere a inserção de organizadores prévios, que servirão de ancoradouro ao novo conhecimento. Conforme Moreira (2010), os organizadores prévios são materiais que devem ser trabalhados antes dos novos conceitos a serem desenvolvidos, e, para isso, é preciso considerar um nível maior de abstração, generalidade e inclusividade. A principal função dos organizadores prévios é a de servir de elo entre os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva e o novo conhecimento. Não existe uma forma geral para a elaboração de um organizador prévio, dependerá da natureza do material, do nível cognitivo do aprendiz e da relação existente com o novo conceito a ser aprendido.

A aprendizagem significativa pode ser uma aprendizagem por descoberta ou uma aprendizagem por recepção. Na primeira aprendizagem o conteúdo deve ser descoberto pelo estudante, que estabelece alguma relação com os *subsunçores* já existentes. Na aprendizagem por recepção, porém, o conteúdo é apresentado ao estudante sem que ele busque o conhecimento, como, por exemplo, no ensino de Física, quando são apresentadas leis e fórmulas.

Pode-se considerar que a aprendizagem por descoberta seria aprendizagem significativa; enquanto a aprendizagem por recepção seria uma aprendizagem mecânica. Contudo, esta relação não existe, dependerá de como o novo conhecimento interagirá com a estrutura cognitiva do estudante. Cabe destacar que a aprendizagem por descoberta é a primeira forma como ocorre a aprendizagem significativa, onde os significados de símbolos ou signos, que ocorrerá gradualmente, principalmente em crianças, cujo conhecimento é adquirido pelo processo de formação de conceitos iniciais.

Os conceitos são formados basicamente pelos processos de formação ou assimilação. Na formação do conceito, os atributos são adquiridos através das experiências diretas, que constituem sucessivas etapas de formulação e testagem de hipóteses, e se caracterizam pela aprendizagem por descoberta. A formação dos conceitos ocorre na fase pré-escolar das crianças. O processo por assimilação caracteriza-se pela combinação de conceitos já existentes na estrutura cognitiva do estudante com o novo conceito.

No âmbito da teoria ausubeliana, há três tipos de aprendizagem significativa: representacional, conceitual e a proposicional.

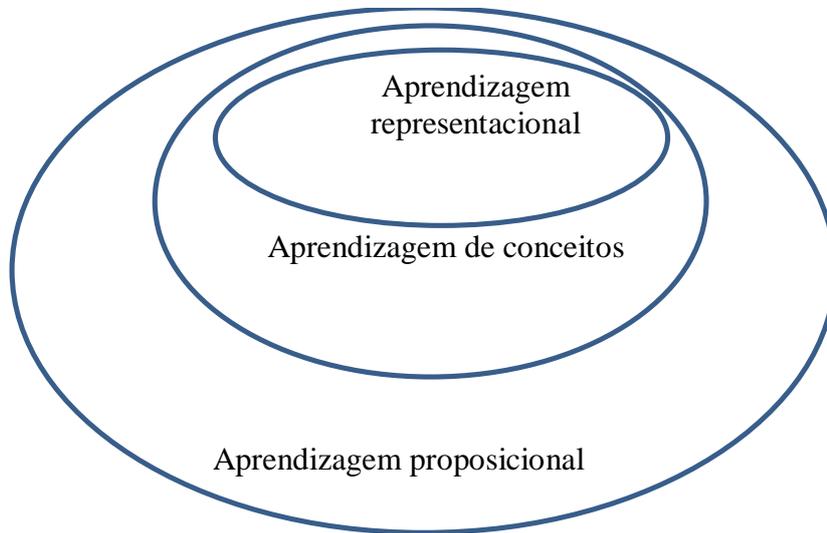
A aprendizagem significativa básica é a representacional, já que é base às demais. Esta aprendizagem envolve a significação de determinado símbolo, quando símbolos arbitrários passam a representar determinados objetos, em que o símbolo significa apenas o referente que representa. Como exemplo, cita-se a palavra “computador”. Para quem ainda está em formação vai representar um determinado computador, o que percebe naquele momento, significa a mesma coisa que o objeto, pois não realizou ainda uma generalização da palavra “computador”. Nessa situação, o aprendiz utiliza imagens mentais, como a imagem mental específica de um determinado computador.

A aprendizagem de conceitos ocorre quando se observam certas regularidades em objetos ou eventos e representamos este grupo através de símbolos, que agora já não dependem mais de um referente concreto que dava este único significado. Como exemplo de aprendizagem conceitual, considera-se que, agora, a palavra “computador”, que passou por modificações, assume o conceito culturalmente aceito, em que o aprendiz lhe dá significado geral, a qualquer computador, e não mais a um específico como ocorre na aprendizagem representacional.

A aprendizagem proposicional é mais ampla, pois implica dar significado às ideias que são expressas em forma de proposições, e não mais o significado isoladamente para uma determinada palavra ou composição, que represente um objeto ou situação. Passa-se agora a ter combinações de palavras que formam sentenças e dão significados aos conceitos. Cabe ressaltar que o objetivo não é o de aprender o significado dos conceitos, mas sim das ideias que estão por trás das proposições. Para compreender o significado da proposição, é fundamental antes compreender o significado dos termos componentes e o que esses termos representam.

A figura 1 representa a relação entre os três tipos de aprendizagem significativa.

Figura 1 - Abrangência de cada um dos três tipos de aprendizagem significativa



Fonte: O autor (2015)

Além dos três tipos de aprendizagem significativa, há também três formas de ocorrência: aprendizagem subordinada, aprendizagem superordenada e aprendizagem combinatória.

A aprendizagem subordinada ocorre quando o conhecimento potencialmente significativo se ancora aos *subsunçores*, que são conceitos mais gerais e inclusivos. Conforme apresentado por Ausubel e Novak (1978), a estrutura cognitiva tende a uma organização hierárquica das ideias, onde, na aprendizagem subordinada, o novo conhecimento interage com a estrutura cognitiva, subordinadamente, e os conhecimentos já existentes são mais inclusivos. Cita-se como exemplo: um estudante que já possui o *subsunçor*, de Energia Mecânica como uma composição de Energia Cinética e Energia Potencial Gravitacional, interage com o conceito de Energia Potencial Elástica. Esta interage com o conceito de Energia Mecânica, que é mais inclusiva. A aprendizagem por subordinação é a que ocorre com maior frequência.

A aprendizagem superordenada ocorre quando temos conhecimentos que são potencialmente significativos e são hierarquicamente mais inclusivos que os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva. Nesse caso, o estudante não possui a ideia mais ampla, do

que no caso do exemplo anterior, se possuísse o conceito de Energia Cinética, Energia Potencial Gravitacional e Energia Potencial Elástica, realizaria ligações entre estas formas de energias e relacionaria semelhanças e diferenças, a fim de que chegasse ao conceito de Energia Mecânica.

Porém, existem casos em que a aprendizagem significativa não é nem subordinada e nem superordenada. Nessas situações, o conhecimento potencialmente significativo relaciona-se com conteúdo mais amplo da estrutura cognitiva e não apenas com um conceito ou proposição específica, como ocorre na aprendizagem por subordinação ou superordenação. O novo conhecimento não pode ser assimilado e nem assimilar outros conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva. Ele é considerado como potencialmente significativo, porque constitui interação com combinação sensível de ideias previamente existentes, e interage não-arbitrariamente com este conteúdo. Conforme Moreira:

É como se a nova informação fosse potencialmente significativa por ser relacionável à estrutura cognitiva como um todo, de uma maneira geral, e não com aspectos específicos dessa estrutura, como ocorre na aprendizagem subordinada e mesmo na superordenada. (MOREIRA, 2009, p.24)

O exemplo descrito por Moreira (2009) para a aprendizagem por combinação é a proposição de equivalência entre massa e energia, pois não se subordina apenas aos conceitos de massa ou apenas ao conceito de energia, nem se é capaz de abranger os dois, mas sim realizar uma combinação entre esses dois conceitos.

Quando há aprendizagem significativa, o *subsunçor*, ao longo da interação com novo conhecimento, sofre alterações, modificações, e não fica mais como era na sua estrutura inicial. Para exemplificar melhor, considera-se o esquema a seguir, onde **a** é o novo conhecimento e **A** é um *subsunçor*. Supõe-se que **a** interaja com **A**, não-linear e não-arbitrariamente, e gere, portanto, um produto **a'A'**, que pode ser dissociável em duas partes constituídas de **a' + A'**. De forma progressiva, ao longo do tempo, perde a dissociabilidade até que ocorra a redução para simplesmente **A'**. Neste caso, se diz que houve um esquecimento de **a'**, mas que na verdade está relacionado com **A'**. Na aprendizagem significativa, o esquecimento é residual, ou seja, o esquecimento de **a'** deixou uma parte residual em **A**, o qual se tornou em **A'**. Este conteúdo esquecido pode ser reaprendido rapidamente, pois parte dele compõe um novo *subsunçor*, diferentemente da aprendizagem mecânica, em que o esquecimento é rápido e praticamente total sem deixar resíduos na estrutura cognitiva.

Desse modo, considera-se que aprendizagem significativa é todo processo de aquisição de conhecimento que resulte em mudança na estrutura cognitiva de quem aprende, cujo *subsunçor* é modificado.

Aprendizagem significativa não significa aprendizagem “correta”. Quando o estudante atribui significado a algum conhecimento, e este se relaciona com os *subsunçores*, há, nesta situação, uma aprendizagem significativa, independentemente de estes conceitos serem aceitos como “corretos” ou “incorretos”. Como exemplo, citam-se as concepções alternativas, que foram aprendidas de forma significativa, mesmo sendo, muitas vezes, incorretas. Para o estudante, elas são significativas e fazem parte dos seus *subsunçores*.

Um ponto crucial na compreensão da Aprendizagem Significativa é que o significado está nas pessoas e não nos objetos ou nas situações. São as pessoas que dão significados aos gestos, aos símbolos, às palavras, e, em geral, à linguagem. Ela possui papel fundamental na aprendizagem significativa, pois sem ela a transmissão e o compartilhamento de significados seriam impossíveis. Pode-se considerá-la como fator primordial no âmbito da aprendizagem significativa receptiva, pois há que se conceber a existência de vasta quantidade de conteúdos que o sujeito, por si só, jamais seria capaz de aprender ao longo de sua vida. Aprender um conteúdo, um conceito significativamente, constitui também aprender a sua linguagem, a proposição e não apenas as palavras ou outras formas de expressão e comunicação. Neste trabalho, considera-se não apenas a linguagem verbal, mas também outras formas de expressão, como escritas e gestos utilizados durante as entrevistas.

3.2.2 Implicações da Teoria da Aprendizagem Significativa na proposta

Grande parte dos conceitos existentes na estrutura cognitiva do estudante possui uma relação com uma ou mais imagens mentais que poderão representar um objeto, uma situação, uma relação matemática, uma proposição e, por isso, a sua identificação torna-se importante para o conhecimento dos *subsunçores*. Aqui, considera-se que as imagens mentais de objetos ou situações fazem parte do *subsunçores* dos estudantes, e, para que o novo conhecimento seja aprendido significativamente, deve-se levar em conta a utilização destas imagens mentais na resolução de situações-problema, ao relacionar o novo conhecimento com as imagens existentes em sua estrutura cognitiva.

Dessa maneira, para que ocorra aprendizagem significativa, em muitos casos, acredita-se que devam existir imagens mentais que sejam ancoradouros do novo conhecimento. Ao realizar uma simulação mental, o estudante interage o novo conhecimento com as imagens mentais existentes em seus *subsunçores*, e que, após essa interação, as imagens mentais existentes sofrem incorporações, com modificações na sua composição inicial. Caso o novo conhecimento não consiga se conectar a imagens mentais existentes, provavelmente, não haja aprendizagem significativa. O que pode acontecer é o armazenamento de imagens mentais novas, sem nenhuma relação com a estrutura cognitiva existente do estudante, que serão relembradas arbitrariamente, caracterizando-se com uma aprendizagem mecânica.

Então, para efeito de hipótese de trabalho, considera-se, nesta tese, qualquer simulação mental, pois, para a ocorrência da aprendizagem significativa, é necessária a existência de imagens mentais. Quando a simulação mental utilizar apenas as imagens mentais existentes nos *subsunçores*, que represente apenas a recordação de uma situação vista anteriormente, não se caracterizará como uma aprendizagem significativa. Porém, se houver uma interação entre as imagens mentais existentes com a situação a ser aprendida, e que modifique as imagens mentais existentes, ocorre, então, aprendizagem significativa.

A aprendizagem significativa, relacionada com simulações mentais, conforme proposta aqui, não ocorre de forma instantânea, já que o estudante incorpora o novo conceito à medida que modifica as suas imagens mentais. Isso, por sua vez, demanda tempo, o que vai depender do nível de conhecimento existente na estrutura cognitiva deste estudante. Citam-se, como exemplo, os conteúdos abordados nesta proposta de trabalho: Energia Mecânica e Colisões. Se o estudante já possui imagens mentais como *subsunçores* de Conservação de Energia Mecânica, isso significa que possui o conhecimento de Energia Potencial e Energia Cinética, ou seja, existem imagens mentais que de alguma forma estão relacionadas aos conceitos de Energia Cinética ou Energia Potencial Gravitacional. Essas imagens mentais poderão ser para a Energia Cinética, a de um objeto em movimento, utilizadas tacitamente pelo estudante, para que relacione o movimento e velocidade deste objeto com a Energia Cinética ou Potencial Gravitacional. Para a situação de Energia Potencial Gravitacional, o estudante pode possuir imagens mentais com um objeto a uma determinada altura em relação ao solo. A imagem mental, para representar a conservação de energia, poderá ser a de um objeto caindo, e, à medida que cai, aumenta a sua velocidade, relacionando esta transformação com a Energia Cinética e Energia Potencial Gravitacional.

O estudante poderá ter, ainda, a imagem mental do cálculo da conservação da Energia Mecânica. Quando for apresentado a ele (não importa de que forma, na aula, em um livro, ou em uma simulação) o conceito de colisões, tanto Elástica (conserva Energia Mecânica) quanto Inelástica (não conserva Energia Mecânica), conseguirá dar sentido a esse novo conhecimento, pois esta nova informação, ao se relacionar com *subsunçores* específicos, também se relacionará com imagens mentais que existem neste *subsunçores*. Estas imagens mentais, por sua vez, terão novos significados, ficarão mais ricos e abrangentes, pois agora não farão parte apenas do campo de Energia Mecânica, mas também de Colisões Mecânicas.

Para tanto, elaborou-se um material (simulações) potencialmente significativo, formando, assim, um edifício bem alicerçado de (novos) conhecimentos para o aprendizado do fenômeno de colisões. Considera-se que é possível a elaboração de simulações computacionais, que gerem imagens relacionadas com os tópicos abordados, com interação com a estrutura cognitiva do estudante. Acredita-se que as imagens mentais, geradas a partir das simulações computacionais, ancorar-se-ão nos conhecimentos já existentes, não-linear e não-literalmente, modificando, dessa forma, o *subsunçor* do estudante.

É relevante considerar os conhecimentos prévios já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, já que muitos conhecimentos estão em desacordo com os conceitos aceitos cientificamente. Com isso, o desafio de ensino torna-se maior, pois se trata de uma mudança nas concepções alternativas que já estão ancoradas nos *subsunçores*. Estas concepções alternativas, conforme Moreira e Greca (2003), são resistentes às mudanças, e os autores consideram que: “É uma ilusão pensar que um conflito cognitivo e/ou uma nova concepção plausível, inteligível e frutífera conduzirá à substituição de uma concepção alternativa significativa “(MOREIRA; GRECA, 2003, p.306).

Na realidade, não haverá uma mudança conceitual, no sentido de apagar um conhecimento, de substituir o conhecimento prévio por outro. Em termos de aprendizagem significativa, isso não existe. O que há é um processo de assimilação em que o *subsunçor* é modificado, mas não apagado da estrutura cognitiva do estudante. Moreira e Greca (2003) afirmam que, ao final do processo de aprendizagem significativa, existem resíduos dos conhecimentos originais:

A aprendizagem significativa não é apagável; significados internalizados significativamente (isto é, incorporados à estrutura cognitiva de modo não-arbitrário e não-literal) ficam para sempre na estrutura cognitiva do aprendiz, como possíveis significados de um *subsunçor* mais elaborado, rico, diferenciado. É como se cada indivíduo tivesse sua história cognitiva pessoal e não-apagável. (MOREIRA; GRECA, 2003, p.307)

A simulação computacional é potencialmente significativa e poderá gerar o conflito entre o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do estudante, a fim de incorporar o novo conhecimento e modificar o seu *subsunçor*. O que se pretende não é a substituição dos conhecimentos, mas sim a incorporação de conhecimentos científicos, que modifiquem os conhecimentos já existentes.

Evidentemente, se o professor identificar que, na estrutura cognitiva dos estudantes, existe distanciamento entre o novo conhecimento e os *subsunçores*, aquele deve inserir organizadores prévios em suas atividades de ensino. No âmbito da presente proposta, para o ensino de colisões, é imprescindível o conhecimento de conservação de energia, energia cinética e potencial gravitacional. Caso este conceito não tenha sido aprendido de forma significativa, ou seja, não tenha sido ancorado em um *subsunçor* adequado, cabe ao professor a realização de material que funcione como uma ligação entre o conhecimento de colisões e energia. Não existe uma elaboração única destes organizadores prévios, dependerá do tipo de dificuldade apresentada pelo estudante.

Outro fator relevante para a aprendizagem significativa é a pré-disposição do estudante em aprender, pois, caso contrário, será vão qualquer esforço desta proposta na tentativa de fazer com que ele tenha uma aprendizagem significativa.

Nesta proposta, a atividade desenvolvida se caracteriza por almejar uma aprendizagem por recepção, aprendizagem proposicional e aprendizagem combinatória e superordenada. Durante as simulações, os estudantes poderão interagir com elas e modificar vários parâmetros, como massa, velocidade, fator de conservação de energia, que, após a simulação, identificarão as características da colisão. Como, neste caso, apresenta-se a simulação, com obediência às leis e às fórmulas, o estudante é um receptor da informação, mas não um receptor passivo, pois ele interagirá e realizará simulações, conforme o roteiro de estudo e de sua curiosidade.

Um exemplo de aprendizagem superordenada é quando existe uma relação entre massa e velocidade, e surge o conceito de energia cinética, que é mais abrangente que estes dois conceitos (massa e velocidade) isoladamente. Também, após o ensino dos tipos de energia (gravitacional, cinética e elástica), discute-se o conceito de energia mecânica, que ocorrerá por uma aprendizagem superordenada, pois é mais abrangente que os outros conceitos de energia até então apresentados. Na primeira simulação computacional são apresentadas as relações entre estas formas de energia, conforme o tipo de colisão, caracterizando-se como uma aprendizagem subordinada.

Também há nesta proposta uma aprendizagem combinatória, onde o estudante combina os conceitos de conservação de energia e conservação de momento linear, para que compreenda corretamente as características das colisões. Tal aprendizagem, que identifica-se como uma das mais difíceis, somente ocorrerá quando o estudante possuir, em sua estrutura cognitiva, os conceitos de conservação de energia e conservação de momento e conseguir relacionar estes dois conceitos.

Trabalha-se, ainda, com a ideia da utilização de imagens mentais na resolução de problemas, conforme já mencionado, já que fazem parte da estrutura cognitiva do estudante, ou seja, já fazem parte dos *subsunçores*. Quando um estudante se depara com uma situação-problema, ele busca em suas imagens mentais aquelas que poderiam ser utilizadas como *subsunçores* (que poderia chamar de imagens prévias, seus conhecimentos prévios), para a realização da simulação mental.

Resumidamente, postula-se que se não existirem imagens mentais na estrutura cognitiva, que se relacionem com o novo conhecimento, dificilmente ocorrerá a realização de simulações mentais. Isso significa que as imagens mentais, que são de cada indivíduo, são insuficientes para realizar a simulação mental. Neste caso, o estudante poderá possuir imagens mentais que não se relacionam com os elementos existentes na estrutura cognitiva, ou seja, uma aprendizagem mecânica, uma imagem específica, que será esquecida rapidamente.

Caso o estudante passe a utilizar as imagens geradas pela simulação computacional, em suas simulações mentais, isso significa que as imagens mentais existentes, inicialmente, e que faziam parte do *subsunçor*, sofreram modificações devido à aprendizagem significativa que incorporou, ancorando as imagens da simulação computacional.

3.3 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA

As mudanças que as tecnologias causaram em curto espaço de tempo são responsáveis por uma profunda modificação na organização da vida das pessoas e no modo como se comunicam. Verifica-se que essas alterações estão diretamente associadas aos hábitos e às práticas das novas gerações e têm consequência direta em como ocorre o aprendizado (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

Segundo o autor, existem mudanças cognitivas que são resultados da introdução das novas tecnologias e das mudanças na forma de comunicação na sociedade.

Dentro desta perspectiva, a Revolução Digital introduziu ferramentas que mudaram o pensamento e a ação em termos de ensino e aprendizagem. Verifica-se que a capacidade real de múltiplas execuções de tarefas torna-se cada vez mais rápida e, por conseguinte, libera espaço na memória do indivíduo que ganha tempo. Para exemplificar, cita-se a realização de cálculos mais complexos, cuja utilização de papel, lápis e calculadora contribuiriam como agentes externos na execução do cálculo, da mesma forma a utilização de um *software* pode auxiliar na resolução rápida e precisa do cálculo. Cabe à pessoa apenas solicitar ao agente externo a resolução e a interpretação do resultado, dentro do contexto específico da situação-problema.

Conforme se constata nos trabalhos de Campello de Souza (2004, 2006, 2012), todas as habilidades, formas de fazer coisas e mudanças culturais associadas à Revolução Digital, todos os conceitos, constituem um conjunto de fatores que está, substancialmente, diferente do que é tradicionalmente visto como cultura. Na hipercultura, os mecanismos de mediação externa incluem a própria tecnologia e seus impactos culturais, enquanto os mecanismos internos incluem competências necessárias para a utilização eficaz dos mecanismos externos.

Com base no exposto anteriormente, justifica-se a razão pela escolha da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), para alicerçar teoricamente a análise do fenômeno da aprendizagem, em escala microetnográfica.

3.3.1 Transição para a Hipercultura

A transição entre as diferentes eras na humanidade, de forma geral, caracterizou-se por ser lenta, levando gerações para ocorrer. Contudo, vive-se um processo de transição muito rápido, o que leva a existirem gerações com culturas diferentes: os que se apropriaram dos conhecimentos, da linguagem, da cultura das tecnologias da informação (TI), e os que ainda não se apropriaram da TI.

Nesse processo de transição de um contexto para outro, Campello de Souza (2004) enfatiza que, mesmo matemáticos, físicos e engenheiros encontram dificuldades em

acompanhar a velocidade em que ocorrem as mudanças. Porém, os jovens que nasceram no mundo das tecnologias e tiveram contato desde cedo, possuem familiaridade e competência para a utilização das novas tecnologias, e acompanham, naturalmente, as mudanças.

É interessante observar que a maior parte das mudanças relacionadas à TI ocorreu em há, aproximadamente, quatro décadas. Há a geração Pré-Digital, cujos indivíduos estruturam as suas vidas antes do advento da popularização da informática; a Geração Digital, que utiliza a informática durante a estruturação de suas vidas; e, por último, a Geração Pós-Digital, que é constituída pelos indivíduos que nasceram após a popularização da informática (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

A geração Pós-Digital utiliza as ferramentas tecnológicas incorporadas ao seu cotidiano rápida e naturalmente. Ao expor essa geração às TIs, se dá sentido ao mundo onde vivem, pois, se vedada a interação, muitas possibilidades futuras serão perdidas, pois serão excluídos digitais. Essa geração da hipercultura possui diversas denominações, como: “Geração-N”, utilizada por Tapscott (1999, 2005), Oblinger, Lippincott (2005), Simões e Gouveia (2008); “Homo Zappiens”, utilizada por Venn e Vrakking (2009); “Nativo Digital”, utilizada por Prensky (2001), Garcia (2007), Barroqueiro e Amaral (2012), Bennett (2012), Jones et al (2010).

De forma geral, e com a utilização dos trabalhos acima citados, referentes às diferentes nomenclaturas utilizadas para definir o que se denomina, neste trabalho, de “Geração Hipercultural”, identificam-se alguns padrões, principalmente no que tange à utilização das tecnologias digitais.

- Possuem facilidades e identificam-se fortemente com as constantes transformações e buscam sempre a forma melhor e mais rápida para realização das atividades;
- O foco com relação à tecnologia está em como fazê-la funcionar eficientemente;
- Busca pela instantaneidade e tornam as ações mais imediatas possíveis, principalmente no que se refere à comunicação e à informação;
- Aprendem a trabalhar globalizadamente, pois é possível que o mesmo tema possa ser abordado por diversas pessoas, em diferentes pontos do mundo, com diferentes perspectivas sociais e culturais, com grande rapidez e praticidade. Há, assim, um modelo de aprendizagem coletiva no qual todos dependem dos próprios conhecimentos e dos demais, havendo, dessa forma, um compartilhamento de competências, o que Levy (2003) denomina de inteligência coletiva.

A revolução digital está associada às mudanças socioculturais e psicológicas da Geração Hiper-cultural, que tem novo perfil, conforme verificado por Campello de Souza (2004), em uma pesquisa que realizou, a fim de identificar a Hiper-cultura em grupo de participantes do Enem 2000, médicos, adultos e profissionais recifenses. Verificou, pois, que o surgimento da Hiper-cultura está associado às novas formas de pensamento que poderão apresentar ganhos cognitivos, independente do sexo, da renda e do nível de educação, o que foi observado por (RAUPP; SERRANO NETO; MARTINS, SOUZA, 2010; CAMPELLO DE SOUZA; ROAZZI, 2007, 2009; CAMPELLO DE SOUZA, 2006; SOUZA et al, 2010). A partir desses resultados, Campello de Souza (2004, 2009, 2012) apresenta a Teoria da Mediação Cognitiva, que será analisada a seguir.

3.3.2 Fundamentos da Teoria da Mediação Cognitiva

A Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) caracteriza-se por ser construtivista, relacionada com diferentes escolas de pensamento, tais como Jean Piaget, Gérard Vergnaud, Lev Semenovitch Vygotsky e Robert Sternberg. A TMC apresenta uma síntese coerente com teorias psicológicas, que geralmente são vistas separadamente ou até mesmo com ideias antagônicas. Uma das aplicações especial da TMC é a compreensão das mudanças individuais ou coletivas associadas à introdução das novas tecnologias, como ferramentas externas ao pensamento dos indivíduos.

A TMC leva em consideração que a realização de uma tarefa mental incorpora mecanismos subjacentes, como manipulação e armazenamento de informações, o que ocupa espaço na memória humana, que é limitada. White (1998) apresenta alguns resultados com relação à memória humana e destaca que a capacidade de processamento do cérebro pode estar no seu limite ou muito próximo dele. A aquisição de uma melhoria cognitiva pode ser obtida através de agentes externos.

A TMC considera que as atividades mentais realizadas com auxílio de ferramentas externas “liberariam” a memória para a realização de outras atividades. Um exemplo relacionado à “liberação de memória” através de ferramentas externas é o de que há alguns anos se armazenavam na memória vários números de telefones. Hoje, com a utilização da agenda do telefone celular, que passa a ser um mecanismo externo, armazena-se uma

quantidade menor de números telefônicos. Mesmo com limites da capacidade do cérebro humano, ainda realizam-se atividades complexas, que estão muito acima da capacidade mental. Isso, conforme Campello de Souza (2004, 2006, 2012), é devido à utilização de ferramentas externas nas execuções de atividades mentais internas.

A limitação da capacidade do cérebro humano em processar informações pode ser suprida pela utilização de representações gráficas (PHILIPS, 1989). Esta ideia é de que o armazenamento de informações existentes em figuras, mapas ou diagramas servem como um suporte cognitivo externo ao processamento interno mental. Considera-se que tais representações são as imagens mentais, como suporte cognitivo externo.

Quando se considera a insuficiência para explicar a maior parte do desempenho cognitivo, a TMC apresenta a Mediação e Processamento Extracerebral (MPE) como mecanismo que auxilia no processamento cognitivo. Campello de Souza (2004) argumenta a favor da existência de um processamento de informações em nível de ambiente:

Outro argumento a favor da existência de um processamento de informações a nível do ambiente como parte integrante da cognição humana é a constatação de, para que haja a cognição, é preciso que se tenha uma interação sujeito-objeto onde características do segundo são “propagadas” para o primeiro. (...) Com base no raciocínio acima, percebe-se que um modelo científico do pensamento humano precisa levar em conta não apenas uma esfera intracerebral do intelecto, mas também uma dimensão extracerebral onde ocorre a manipulação de dados, informações e conhecimento. A ideia básica é a de que residem no ambiente diversos sistemas físicos, biológicos, sociais e culturais que satisfazem os requisitos lógicos para o seu uso como dispositivos para a implementação equivalentes de Máquinas Universais de Turing. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p. 63)

Dessa forma, a TMC está sedimentada sobre premissas básicas, relacionadas com a cognição humana (CAMPELLO DE SOUZA, 2006):

- I. A vantagem evolutiva da espécie humana está na capacidade de gerar, armazenar e manipular o conhecimento de inúmeras formas;
- II. A cognição humana é o resultado de alguma forma de processamento de informação;
- III. O cérebro humano é limitado, sendo impossível o processamento de toda a informação recebida;
- IV. Praticamente, qualquer sistema físico organizado é capaz de executar operações lógicas em algum grau;
- V. Os seres humanos complementam o processamento das informações recebidas através da interação com sistemas externos.

Da análise dos elementos acima, pode-se ter uma imagem da cognição humana, em que há indivíduos que interagem com um objeto cognoscente através de uma estrutura extracerebral, que tem a função de processar os dados presentes no ambiente. Esse processo é denominado como mediação cognitiva.

Além dos itens acima mencionados, a TMC, ao se referir à cognição humana, essa deve incluir alguns elementos tais como:

- Um indivíduo e sua capacidade cerebral interna de processamento da informação;
- O conceito ou objeto que será conhecido;
- Os mecanismos ambientais, que se interpõem entre sujeito e objeto, servem de suporte ao sujeito para uma apreensão dos atributos e propriedades do objeto;
- As estruturas internas ao indivíduo, através das quais ele pode interagir com os potenciais mecanismos extracerebrais, que estão presentes no ambiente.

Da combinação dos pontos colocados acima sobre a cognição humana, resulta que o processamento de informações realizadas pelo cérebro, cuja capacidade é limitada ao envolvimento com atividades cognitivas através da interação com estruturas externas, que fornecem informações adicionais ao processamento mental. A partir dos elementos supraelencados, o processo pelo qual os seres humanos dependem de estruturas externas, a fim de complementar o processamento de informações feitas pelo cérebro, deverá conter os seguintes componentes:

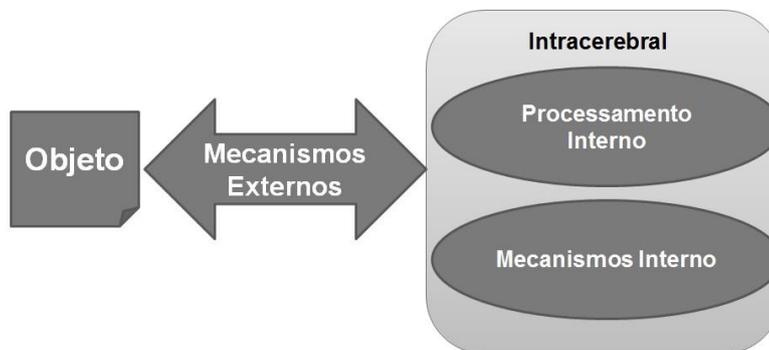
- ✓ Objeto: O item físico, conceito abstrato, problema, situação ou relação em que o indivíduo busca conhecimento, aprendizagem;
- ✓ Processamento Interno: É um mecanismo fisiológico que envolve a execução individual do cérebro, em operações lógicas;
- ✓ Mecanismos Internos: Também é fisiológico, que gera algoritmos que permitem a conexão, interação entre o processamento interno do cérebro e o processamento extracerebral, que envolve gerenciamento de *drivers*, algoritmos, protocolos, códigos e dados;
- ✓ Mecanismos Externos: pertencem ao ambiente, podendo ser de diversos tipos e de capacidade variável, indo desde objetos físicos simples (dedos, pedra) até práticas sociais complexas, artefatos culturais e redes de computadores.

Para que haja uma relação entre a dimensão intracerebral com a extracerebral, deve existir uma mediação, que é compreendida como tipo dinâmico de filtro cognitivo, que ocorre

devido a fatores contextuais e situacionais, associados ao espaço-tempo, ambiente físico, social e cultural, relacionados às interações com o ambiente. A mediação deve ser considerada mais do que apenas um filtro, um componente ativo que realiza diversas relações lógicas sobre as informações de uma determinada situação.

Considerando a existência de elementos extracerebrais, conforme Campello de Souza (2004, p.65): “tais elementos só poderão efetivamente ser de utilidade para um indivíduo, se este dispuser de uma forma de interagir eficazmente com eles, segundo a necessidade e de modo adequado”, com *drivers* existentes na estrutura intracerebral. A Figura 2 representa um esquema da relação entre os elementos de medição e processamento da informação.

Figura 2 - Representação dos elementos de mediação



Fonte: O Autor (2015)

3.3.3 Drivers

Os mecanismos internos, que terão de dar suporte para que seja possível a ocorrência de uma mediação através dos mecanismos externos, são denominados *drivers*. Na TMC considera-se *driver*, conforme Ramos e Serrano Neto (2013, p.4), “como dispositivos que trabalham como ‘máquinas virtuais’ internas, que possuem um papel importante na definição do pensamento humano no contexto da mediação e vão para além da ‘conexão’ com o mecanismo externo”.

O cérebro utiliza competências específicas, para que ocorra a comunicação entre os mecanismos externos, que auxiliam no processamento da informação. Através da mediação cognitiva, há um ganho de processamento de informação que se mantém, mesmo na ausência

dos mecanismos externos, após a sua utilização. Conforme Campello de Souza (2012a), este ganho de processamento é o conhecimento.

Os mecanismos internos trabalham como máquinas virtuais, *drivers*, que tornam possível a utilização de estruturas externas, conforme Campello de Souza (2012a, p.2321), “[...] como dispositivos de processamento auxiliares, mas também trabalhar como máquinas virtuais internas que fornecem novas funcionalidades cognitivas [...]”, vantagens que perduram além da conexão com os mecanismos externos.

A mediação cognitiva depende diretamente do suporte dos mecanismos internos, *drivers*, para que se tenha a capacidade de acessar corretamente os mecanismos externos, segundo Campello de Souza (2004).

Os mecanismos extracerebrais relacionados ao processamento de informações constituem uma vantagem cognitiva, sem que sirvam apenas de coprocessadores de informações auxiliares ao cérebro, mas também auxiliem na interação com objetos cognoscíveis, com amplificação do sinal externo. Estes mecanismos deverão estar relacionados diretamente com *drivers* já existentes, contudo a incorporação do objeto trará modificação ou formação de novos *drivers*.

Assim, a cognição humana pode ser considerada como um conjunto de mecanismos internos e externos de processamento de informação, onde juntos formam um sistema complexo e organizado:

[...] as habilidades internas que emergem em função do contato com um dado mecanismo externo de mediação também podem e, ao menos ocasionalmente, são úteis ou aplicáveis a outras situações. Com isso, tem-se que os chamados “amplificadores culturais” (BRUNER, 1997) não são apenas “próteses mentais” as quais, uma vez removidas, levam consigo todas as vantagens cognitivas que haviam produzido. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p.71)

Assim, acredita-se que a mediação cognitiva ocorre como função necessária ao incremento do pensamento, relacionando os processos internos e externos. Conforme Silva (2008), o mecanismo de mediação externo deve ser visto como um sistema físico, que funciona como um processador de informação, a exemplo de um lápis, papel, calculadoras, computadores, etc., mas também pode ser um grupo social ou cultural. Já o mecanismo de mediação interno é definido como uma representação mental, imagem mental ou até uma simulação mental, enfim, os *drivers* que o sujeito deve utilizar dos sistemas externos, mesmo que estes não estejam presentes. O intercâmbio entre esses dois sistemas compreenderia a

mediação cognitiva. Na Figura 3 tem-se um esquema que representa as principais relações dos *drivers* com os mecanismos de mediação externos.

Figura 3 - Relação do drivers com mecanismos externos



Fonte: O Autor (2015)

Na figura 3, observa-se que os *drivers* são os mecanismos internos, que possuem as competências específicas e suporte necessário para a mediação dos mecanismos extracerebrais, ou seja, um conjunto de conhecimentos que permitem acessar os mecanismos extracerebrais. Os mecanismos extracerebrais funcionam também como coprocessadores da informação, o que se caracteriza como uma vantagem cognitiva. A interação dos mecanismos extracerebrais com o objeto poderá modificar ou até criar *drivers* que irão persistir mesmo na ausência destes mecanismos, semelhantes a máquinas virtuais.

3.3.4 Formas de Mediação

Conforme a Teoria da Mediação Cognitiva, um elevado nível de desempenho cognitivo dependerá tanto do nível individual quanto do coletivo. A seguir, então, discutem-se as quatro principais formas de mediação, conforme a TMC e as suas implicações.

Mediação psicofísica

A mediação psicofísica é considerada como instintiva, ou seja, a básica de mediação. O ser humano está sempre recebendo estímulos do ambiente onde ele se encontra, cuja forma instintiva possuirá várias formas de respostas associadas aos instintos humanos. Conforme Campello de Souza (2004, p.72), a mediação psicofísica está relacionada, “essencialmente, pelas características fisiológicas do seu sistema nervoso central, da física e da química dos objetos com os quais se relaciona, da posição espacial de ambos e da natureza do ambiente”.

Com isso, ao considerar que o ser humano é um personagem ativo na construção de seu conhecimento, haverá, simultaneamente, um sujeito que transforma e é transformado pelos elementos da sua vida. A mediação psicofísica ocorre:

Quando os mecanismos externos de mediação resumem-se a eventos físicos, químicos e biológicos fortuitos que agregam alguma forma elementar de processamento extracerebral de informação à relação sujeito-objeto, e os mecanismos internos de mediação constituem-se basicamente de esquemas sensório-motores. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p.72)

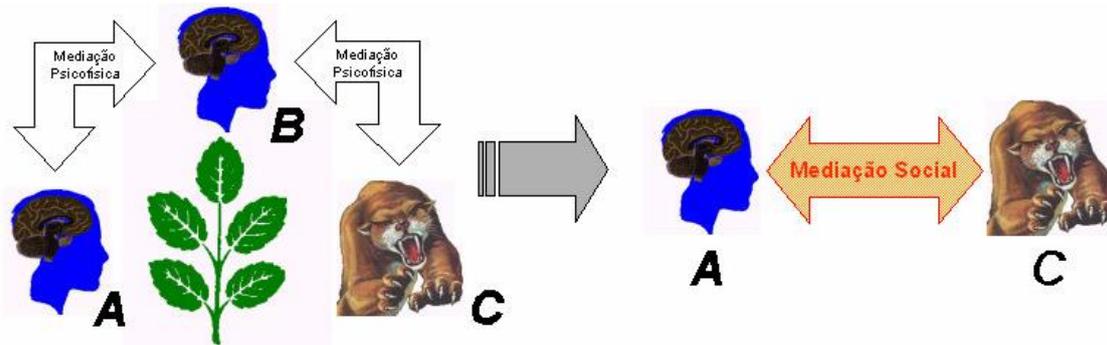
O processamento extracerebral, via mediação psicofísica, são todas as situações em que componentes materiais do ambiente contribuem para uma percepção mais eficaz. Como exemplo, cita-se a utilização de ecos para a audição de sons distantes ou de baixa intensidade, do vento para se captar aromas à distância, da vibração do solo para se detectar a aproximação de uma manada, de pegadas para rastrear uma presa, das mudanças de coloração nas folhagens para se identificar as mudanças de estação e muito mais. Acrescentam-se a estes exemplos apresentados por Campello de Souza (2004): a visualização da fumaça, como indicador de fogo; a migração de pássaros, como indicador de mudança de estação do ano; o som da sirene de uma ambulância, identificando se ela se aproxima ou se afasta. Todos esses casos são *drivers* que geraram imagens mentais.

Mediação Social

O ser humano é uma espécie que vive em grupos, que acaba por gerar padrões e comportamentos semelhantes e interações que poderão ser diretas e indiretas entre os seres deste grupo. Isso gera importante vantagem cognitiva, pois os membros de um grupo dispõem não apenas de suas próprias interações, suas capacidades perceptivas, mas utilizam também, indiretamente, aquelas dos demais componentes do grupo.

Campello de Souza (2004, p.73) cita como exemplo: “caso tenhamos três sujeitos ou objetos (A, B e C). Se A tiver uma interação psicofísica com B e da mesma forma B com C, poderá ocorrer uma interação entre A e C indiretamente, possivelmente, tenhamos uma mediação social entre A e C”. O exemplo utilizado para representar a interação entre os sujeitos está representado na Figura 2, onde o sujeito A somente consegue interagir com o tigre, devido à interação com sujeito B, ou seja, sujeito A é avisado da presença do tigre através do sujeito B, pois devido à presença do arbusto não há interação direta entre o sujeito A e o tigre.

Figura 4 - Exemplo de interação indireta que representa a interação social entre dois sujeitos A e C. A e C não estão em contato diretamente, mas é possível a comunicação entre eles devido ao elemento A, que possui contato com ambos ao mesmo tempo



Fonte: Campello de Souza (2004, p.75).

Com relação ao exposto anteriormente, a interação em grupo possui o potencial de ampliar o alcance perceptivo de todos os membros do grupo. Conforme Campello de Souza (2004, p.77), “o grupo social passa a servir de mecanismo externo de mediação que, sob o ponto de vista de cada indivíduo, realiza uma imensa e importante quantidade de processamento extracerebral de informações”. Esta quantidade de processamento extracerebral pode ser compartilhada pelos demais integrantes do grupo.

Então, infere-se que o desenvolvimento social de um grupo poderá gerar *drivers*, que contribuirão para o crescimento cognitivo dos integrantes deste grupo (apesar de a criação destes *drivers* ser particular e individual à estrutura cognitiva), e produzirão um aumento no alcance perceptivo de cada elemento, pois é acrescida à capacidade de cada um dos integrantes, o que pode ser detectado ou recordado individualmente.

Mediação cultural

Considerando que, quanto mais duradoura a existência de um grupo humano, mais esse grupo terá criado estrutura e mecanismos para se fortalecer, e, como consequência, os indivíduos pertencentes ao grupo tendem a tornar-se cada vez mais eficientes nas formas de comunicação e interação, criando, assim, meios mais eficazes de mediação do ser humano com o ambiente. Conforme apresentado por Campello de Souza (2004, p. 77), “qualquer ganho em intelecto da parte de um membro é um constante estímulo ao desenvolvimento dos demais”, o que traz a ideia da Inteligência Coletiva apresentada por Lévy (2004).

A mediação cultural concebe que a utilização da linguagem, escrita falada ou imagística, e seus respectivos desdobramentos, implicaram a possibilidade de expressar acontecimentos e experiências, além de poderosa forma de armazenamento de conhecimento. Também considera que a linguagem e sua possibilidade de armazenamento, através de textos escritos, trazem consigo uma lógica própria que pode envolver categorizações complexas de ideias e conceitos e levar a práticas sociais cada vez mais sofisticadas, conforme o avanço cultural. Dessa forma, considerando o processamento da informação em nível individual, através de uma cultura, há uma superestrutura extracerebral, capaz de realizar operações de memória e, conseqüentemente, de aprendizagem. Deve-se, portanto, levar em conta as particularidades de cada cultura e a sua relação com o grupo.

Mediação digital

A Revolução Digital trouxe novas formas de convivência social, da organização da produção na sociedade e influências na cognição humana. Em poucas décadas, a humanidade passou por mudanças significativas, o computador que era objeto apenas de pesquisa de laboratório passou a ser de uso pessoal.

Verifica-se que a Revolução Digital trouxe o que Campello de Souza (2004, 2006, 2009, 2012) denomina de “Hiperultura”, em que os mecanismos externos de mediação incluem os dispositivos computacionais e seus impactos culturais; enquanto os mecanismos internos, os *drivers*, incluem as competências necessárias para o uso eficaz de tais mecanismos externos.

Conforme Campello de Souza (2004, p.85), “todas as habilidades, competências, conceitos, modos de agir, funcionalidade e mudanças culturais ligadas ao uso de

computadores e da Internet constituem um conjunto de fatores que difere substancialmente daquilo que tradicionalmente se percebe como cultura”, o que Lévy (1999) chama de “Cibercultura”.

Hoje, constata-se que a utilização de computadores portáteis, *tablets* e celulares que executam tarefas que vão muito além de apenas ligações telefônicas, está presente e de acesso fácil, e este uso está incorporado à rotina de trabalho, de estudo ou de diversão das pessoas. Tais equipamentos destacam-se dos demais objetos que são passíveis de uso para a mediação externa, pela sua facilidade, cooperação na resolução de problemas, velocidade de processamento e, conseqüentemente, a liberação da mente.

Os mecanismos internos, conforme Campello de Souza (2006), deverão incluir as competências necessárias para que se tenha utilização eficaz de tais mecanismos externos, através de *drivers* específicos para a utilização destes mecanismos externos computacionais.

A Hipercultura representa, cognitivamente, uma mudança que atinge profundamente os mecanismos internos e externos utilizados pelos indivíduos, a fim de potencializar as suas atividades intelectuais. Estas mudanças no pensamento humano são de natureza estrutural, o que afeta a dinâmica dos fenômenos cognitivos.

A TMC considera como hipótese as vantagens cognitivas que poderão ter ocorrido devido à utilização de dispositivos computacionais externos, sejam significativas em comparação com paradigma anterior. Espera-se que essas vantagens também sejam manifestadas em outros contextos, que não apenas quando os indivíduos fazem uso dos computadores ou da internet, mas que incluam ganhos cognitivos mesmo quando o computador não está presente, quando os *drivers* possam ser resgatados.

Enfim, entende-se, baseados nas referências apresentadas, que os mecanismos de mediação humana, possíveis de inferir nos mecanismos de mediação cognitiva, passaram por uma evolução de natureza psicofísica, para uma dimensão social, para um paradigma cultural e, finalmente, o de natureza hipercultural. Esta ordem está relacionada a como ocorreu a evolução histórica da humanidade, mas também à ordem do de menor para o de maior complexidade. Sendo assim, a cada novo passo, assimila os anteriores, relacionados com as novas aquisições, forma uma estrutura individual e inédita para cada sujeito.

3.3.5 Suporte teórico da TMC

Conforme mencionado anteriormente, a Teoria da Mediação Cognitiva possui como suporte teórico Jean Piaget, Gérard Vergnaud, Lev Semenovitch Vygotsky e Robert Sternberg. A seguir passa-se a descrever, sinteticamente, as implicações de cada uma destas teorias na construção da TMC

A teoria piagetiana e a TMC

O conceito de Assimilação da teoria piagetiana é incorporado completamente pela TMC, porém, Campello de Souza acrescenta dois pontos: o primeiro é que a Assimilação não seria apenas uma forma de lidar mais eficaz e eficientemente com os objetos e sistemas do mundo que circunda o indivíduo, mas também está relacionada com fins computacionais envolvendo outros sistemas ou objetos; o segundo é que a Assimilação, para a teoria piagetiana, relaciona-se com a construção de uma lógica que tende a aproximar-se, gradativamente, da ordem dos objetos ou sistemas, porém, na TMC, além disso, a lógica seria flexível, possibilitando a atribuição de significados e relação entre os objetos e sistemas.

A Acomodação na teoria piagetiana acontece quando a Assimilação modifica o funcionamento cognitivo, cujas estruturas lógicas sejam cada vez mais complexas. Na TMC, a Acomodação é vista como processo pelo qual há um acúmulo de mecanismos internos e externos de mediação e surge: “[...] uma estrutura cognitiva coesa, integrada e expandida ao invés de produzir um simples amontoado de lógicas e conceitos. Desse modo, o conceito é tomado em seu significado piagetiano original, essencialmente sem modificação”. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p.111).

Outro ponto admitido na teoria piagetiana é o de que existem estágios de desenvolvimento cognitivo com características bem definidas. A TMC considera que o desenvolvimento do indivíduo aconteça em etapas, porém a classificação ocorre conforme o tipo de mediação e utilização, iniciado pela psicofísica, social, cultural e, por último, a hipercultural.

A teoria piagetiana considera o ambiente fornecedor de experiências, que possui certa ordem e que possibilita a assimilação de uma lógica equivalente a essa ordem. A TMC

considera também que o ambiente como um campo de experiência, porém acrescenta o processamento e comunicação de dados da informação espaço onde o indivíduo vivencia as suas interações com o mundo, onde:

[...] o mundo é visto como repleto de elementos cujas interações dinâmicas, sejam elas efetivas ou em potencial, oferecem possibilidades para o uso como dispositivos computacionais e/ou redes de comunicação. Uma vez que tais mecanismos de mediação são estabelecidos, essas porções do ambiente são incorporadas no indivíduo como verdadeiras extensões da sua mente. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p.112)

Outro fato que merece destaque é, segundo a teoria piagetiana, o estágio Operacional Formal, que é tido como estágio superior, onde é possível a construção de novos conhecimentos e habilidades mentais, mas sem alterações nas lógicas subjacentes. Porém, a TMC não admite um teto máximo para as lógicas existentes no cognitivo do indivíduo, pois as novas tecnologias apresentam regras de funcionamento, em que estão incluídos os sistemas naturais e as dinâmicas dos grupos sociais, onde as novas tecnologias introduzem um novo tipo de ordem das experiências humanas, que será assimilada sob um novo tipo de lógica, o que levará a novos tipos de acomodação. Conforme a relação do indivíduo com as novas tecnologias, que são dinâmicas e estão em constante evolução, surge a necessidade de novas lógicas de utilização, que modificam as relações cognitivas.

A teoria vygotskyana e a TMC

Ao longo do processo evolutivo, o homem tem demonstrado a capacidade de adaptar-se e interagir com a natureza e consegue, dessa forma, tirar benefícios próprios e criar um ambiente de interação social dele com a natureza. O conhecimento adquirido ao longo de toda a existência humana vem sendo transmitido de geração à geração, através das relações sociais e culturais. Conforme Vygotsky (1994), o conhecimento está na interação social, que age na formação dos processos mentais superiores do ser humano.

Para Vygotsky (1994), a evolução cognitiva está diretamente relacionada com o papel da linguagem, dos signos e das interações sociais e culturais, que é incorporado pela TMC:

A TMC incorpora plenamente os aspectos mais essenciais do Sócio-construtivismo de Vygotsky, particularmente no que concerne ao papel da cultura, dos sistemas de símbolos e dos processos de transmissão e internalização de tais sistemas para o funcionamento da cognição humana. Ela também faz uso da noção de Zona de

Desenvolvimento Proximal, enquanto conceito fundamental para se entender a dinâmica do desenvolvimento cognitivo. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p. 95)

A distância entre o que o sujeito já conhece, já consegue resolver, independentemente, e o nível de desenvolvimento potencial, que está diretamente relacionado com a sua capacidade de resolução de situações-problema com a orientação de outro sujeito, é o que Vygotsky (1994) considera como Zona de Desenvolvimento Proximal (ZPD). A TMC utiliza a ideia da ZPD, onde:

A TMC assimila plenamente essa visão, mas também a expande, atribuindo às estruturas socioculturais um papel na cognição individual que vai além do simples fornecimento de contextos, lógicas e conteúdos para o desenvolvimento. Trata-se de uma perspectiva na qual os diversos mecanismos socioculturais desempenham tanto uma função coletiva, a qual beneficia os participantes enquanto grupo e/ou a sociedade como um todo (benefícios econômicos, políticos, educacionais, etc.) quanto a cada indivíduo isoladamente através da disponibilização de meios extracerebrais de processamento de informação. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p.124)

As interações entre os sujeitos são consideradas pela TMC desde aquelas que ocorrem dos grupos sociais mais complexos até as sociedades mais simples, que funcionam como dispositivos computacionais para atender demandas que vão desde a individualidade até a coletividade.

Campello de Souza (2004) considera que a internalização de sistemas de símbolos não ocorre apenas através da interação social, mas também pela utilização de redes e cadeias sociais como dispositivos computacionais.

A TMC e a Teoria Triárquica da Inteligência Humana

A Teoria da Triárquica da Inteligência Humana, apresentada por Sterberg (1985, 1988), considera que a inteligência humana compreende três aspectos, que tratam da relação da inteligência com o mundo interno na pessoa, com a experiência e com o mundo externo. O processamento da informação leva em consideração três tipos de subteorias ou facetas: Analítico, Criativo e Prático. Estas se subdividem em componentes menores que são inter-relações.

Na subteoria ou faceta Analítica estão os mecanismos que são responsáveis pela capacidade analítica, direciona a inteligência para o mundo interno do indivíduo, como o

conhecimento é construído e como os problemas são resolvidos e as soluções são analisadas. Está associada às operações mais básicas dos indivíduos, relacionadas: à codificação de estímulos, à retenção informações de curto prazo, à realização de cálculos mentais, à comparação mental de estímulos distintos e ao resgate de informações da memória de longo prazo.

Na subteoria ou faceta Criativa, cada indivíduo enfrenta tarefas e situações, em cujas tarefas há níveis variados de experiência, desde uma tarefa em que há ampla experiência até uma tarefa completamente nova (Novidade), em que não existe qualquer experiência prévia. À medida que uma tarefa torna-se conhecida, muito de seus aspectos de solução tornam-se automáticos (Automatização).

A subteoria ou faceta Prática envolve os vários componentes da inteligência que são aplicados à experiência, cumprindo três funções em situações cotidianas: capacidade de se adaptar (Adaptação) ao mundo, mudando a si próprio em função do ambiente; a capacidade de moldar (Modelagem) ambientes e pessoas, a fim de atingir metas; e, por fim, selecionar (Seleção) novos ambientes, caso não consiga adaptar-se ou moldar-se ao ambiente, podendo escolher um novo ambiente.

A TMC de Campello de Souza (2004) relaciona-se com a Teoria Triárquica da Inteligência Humana de Sternberg (1995, 1998), pois a primeira estipula mecanismos de processamento interno, que são responsáveis pela realização e coordenação de operações lógicas, o que está diretamente relacionado com a subteoria Analítica, da Teoria da Triárquica da Inteligência Humana:

As subteorias, Criativa e Prática da Teoria Triárquica, estão relacionadas com a interação entre o mundo externo e o indivíduo. Na TMC explicam o funcionamento dos mecanismos internos de mediação; entretanto, a diferença que a Teoria Triárquica considera é a de que a função essencial destas estruturas cognitivas seria a de possibilitar o uso de sistemas externos; enquanto na TMC esses são bases para a utilização dos mecanismos internos.

As duas teorias baseiam-se no paradigma do processamento da informação, porém com uma diferença significativa. A Teoria Triárquica da Inteligência estabelece um modelo de processamento da informação, que utiliza uma metáfora proposta por Campello de Souza (2004) com um computador. A TMC propõe, por sua vez, um modelo baseado em uma rede de computadores; enquanto a primeira explica a cognição humana exclusivamente através de estruturas individuais internas complexas, a segunda (TMC) expande “a metáfora

computacional para um grande conjunto de sistemas individuais, interagindo por meio de redes complexas em arquiteturas distribuídas” (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p.129).

Vergnaud e a TMC

Conforme a TMC, o aumento cognitivo dos seres humanos está na tendência à utilização de processamento extracerebral. Ao estabelecer uma conexão com mecanismo externo, necessita-se da utilização dos *drivers*, que têm como função auxiliar a compreender o funcionamento e a interação com mecanismos externos, ao processar a informação. Dessa forma, os *drivers* são representações correspondentes aos teoremas-em-ação, de Vergnaud, que possui a função de permitir o processo de aquisição e processamento da informação.

Conforme Campello de Souza, para que ocorra a mediação externa relacionada com a teoria de Vergnaud:

[...] é necessário que haja na mente do indivíduo uma representação mental dos objetos ou sistemas usados para mediação ao menos em termos de suas possibilidades computacionais (entrada, saída, relação entre entrada e saída, possibilidades de configuração e controle). Tais representações, junto com os eventuais sistemas simbólicos que os expressam numa linguagem operacional, constituem os mecanismos internos de mediação. Assim, o desenvolvimento cognitivo envolve a interação de um indivíduo com objetos e sistemas que tenham capacidade de realizar computações, sendo um processo que envolve o surgimento simultâneo dos mecanismos internos e externos de mediação. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p. 116)

Os efeitos da teoria de Vergnaud que, conforme as naturezas das representações mentais, estão diretamente relacionados com os teoremas-em-ação, a sua existência dota no sujeito ferramentas lógicas que aumentam a competência em domínios específicos, mesmo na ausência do sistema correspondente.

3.3.6 Implicações da Teoria da Mediação Cognitiva na proposta

A base da presente proposta está no estudo dos ganhos cognitivos com a utilização de simulações computacionais, no estudo de colisões, nas mudanças de *drives* e na relação com

aprendizagem significativa. Para esta perspectiva, considera-se que a TMC é um bom referencial, porque aborda exatamente a situação da mediação entre o homem e o computador, além de fornecer uma visão microscópica de como ocorre esta aprendizagem mediada por computadores.

A TMC, conforme visto anteriormente, possui quatro formas de mediação (psicofísica, social, cultural e digital). O centro desta pesquisa está na identificação das possíveis mudanças de *drivers* psicofísico, sociocultural para hipercultural. Também consideram-se os resultados apresentados por Campello de Souza (2004, 2009, 2012), em que o desenvolvimento hipercultural está associado diretamente com um ganho cognitivo, em relação às ferramentas mentais utilizadas pelas demais formas de mediação cognitiva. Neste ganho cognitivo, concebe-se como hipótese de trabalho que também haverá aquisição de novas imagens mentais e modificação em imagens mentais anteriores, e provavelmente a ocorrência de aprendizagem significativa.

Aqui relacionam-se os *drivers* com as representações que são as imagens mentais, existentes na estrutura cognitiva do estudante e os invariantes operatórios, que consistem em como os *drivers* funcionam. As imagens mentais surgiram através de alguma forma de mediação, e, mesmo após findada a sua interação, permanecem na estrutura cognitiva do estudante. Pode-se reputar que os estudantes adquiriram competências, que são os invariantes operatórios, relacionadas com os processos de mediação que modificaram as estruturas cognitivas.

Durante o estudo de colisões, há que se realçar que o estudante já possuirá *drivers* que estão associados à mediação psicofísica, pois, em algum momento, teve interação direta com algum objeto caindo ou colisão entre objetos. Também existe a mediação social e, principalmente, a mediação cultural, através da utilização de livros ou das aulas referentes a colisões. A identificação destes *drivers*, já existentes na estrutura cognitiva do estudante, para esta proposta de pesquisa, é fundamental, pois, a partir deste reconhecimento, identificar-se-ão as possíveis modificações de *drivers* após a utilização da simulação. Com a identificação das modificações de *drivers*, que envolve a interação com a tecnologia, em especial no caso deste estudo, as simulações computacionais de colisões, que utilizem imagens mentais associadas às simulações computacionais de colisões.

Com a utilização com a Mediação Digital, espera-se identificar os ganhos cognitivos, independentemente de sexo, idade, mas dependentemente do nível hipercultural. A TMC considera que o pensamento hipercultural caracteriza-se por possuir lógica matemático-

científica, maior capacidade de identificação de estratégia de solução de problemas, e, principalmente, para esta proposta, a utilização de representações visuais. Os indivíduos ditos “hiperculturais” possuem grande capacidade de representações visuais, que são as imagens mentais.

Com a caracterização dos componentes que fazem parte da TMC, o Objeto, é que estudam-se os conceitos que se pretende sejam adquiridos pelos estudantes, ou seja, as colisões. O Processamento interno é o mecanismo fisiológico relacionado às operações lógicas realizadas pelo cérebro. Os Mecanismos Internos são os *drivers* adquiridos com a utilização da simulação computacional, que poderão existir mesmo após as simulações computacionais terem sido utilizadas. Os Mecanismos Externos são as simulações computacionais de colisões.

Ao relacionar os mecanismos externos de mediação, que nesta pesquisa são as simulações computacionais, são incluídos dispositivos computacionais, bem como a consequência nas mudanças culturais que afetam até a linguagem; enquanto os mecanismos internos, *drivers*, incluem as habilidades e competências para o uso dos mecanismos externos, mesmo quando estes não estiverem presentes fisicamente.

Em consideração ao que foi exposto, a TMC é vista como potencial para explicar as possíveis alterações na estrutura cognitiva dos estudantes, que surjam com a utilização das simulações computacionais, eficazmente, e com a utilização de conceitos que surgiram após a Era Digital. Dessa forma, consideramos o modelo proposto pela TMC atraente e relacionável diretamente com esta proposta de pesquisa.

3.4 A RELAÇÃO ENTRE A TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA E A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Apesar de Campello de Souza não ter utilizado diretamente a teoria de Ausubel, encontram-se relações significativas entre as teorias apresentadas por estes dois autores. Nesta pesquisa, considera-se a teoria da Aprendizagem Significativa como fundamentação suprateórica, para identificar as modificações na estrutura cognitiva dos estudantes após a utilização da simulação. Identificada a ocorrência de aprendizagem significativa, utilizar-se a TMC na identificação das possíveis causas que acarretaram na mudança da estrutura cognitiva

dos estudantes.

Na TMC, a cognição humana deve levar em consideração alguns elementos que entende-se estarem intimamente ligados à aprendizagem significativa e outros não.

Na TMC há Objeto, que é a situação, o conceito, o problema que está sendo estudado, e que possui papel importante no processo de aprendizagem, pois este Objeto relacionar-se-á com o Mecanismo Externo, que fará a mediação com os *drivers* existentes (Mecanismos Internos). Semelhante a isso, na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) há o novo conhecimento que terá de se relacionar não-arbitrária e não-literalmente com *subsunçor*. As semelhanças nas duas teorias são que o Objeto da TMC seria o novo conhecimento da TAS. Os *drivers* estão intimamente relacionados com os *subsunçores*.

A TMC acredita que o processamento da informação pelo cérebro deve conter alguns elementos que possuem relação com TAS. O primeiro é objeto, que pode ser um item físico, um conceito, uma situação-problema, que se pode relacionar na TAS com o novo conhecimento; o outro, Processamento Interno, considerado pela TMC, mecanismos individuais do cérebro, na TAS são pontes entre o novo conhecimento e os *subsunçores*, como este novo conhecimento irá se ancorar na estrutura cognitiva já existente do estudante; o último, os Mecanismos Internos, admitido também como fisiológicos pela TMC, que geram conexões entre os processamentos intracerebral e extracerebral, estão associados diretamente aos *subsunçores* da TAS.

Também verifica-se que a TMC se preocupa com a relação entre a dimensão extracerebral e a intracerebral. Esta interação deve ocorrer com a utilização de mediação cognitiva, considerado um componente ativo das relações lógicas entre as duas dimensões. Na TAS, o novo conhecimento deverá possuir relações não-arbitrárias e não-literais com a estrutura cognitiva, ou seja, não se preocupa diretamente com a forma de mediação, por outro lado, a TMC tem esta preocupação. Porém, as duas teorias convergem para um mesmo ponto: os conhecimentos existentes na estrutura cognitiva do estudante.

Para a TMC, Campello de Souza, ao fazer relação com os elementos extracerebrais, entende que estes somente poderão ser utilizados, efetivamente, se o estudante conseguir interagir de modo adequado, isto é, se o novo conhecimento interagir com os conhecimentos existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, exatamente como prevê a TAS.

Somente para ilustrar essa relação, conforme citado anteriormente:

[...] a mediação cognitiva ocorre se e somente se existirem mecanismos internos de suporte à mediação com capacidade de comunicação e controle em relação a eventuais mecanismos de processamento extracerebral, ou seja, quando o indivíduo detém, dentro de si, um conjunto de conhecimentos e habilidades que lhe permitam o acesso e o uso de tais mecanismos externos. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p.66)

Quando a TMC considera que o indivíduo deve conter dentro de si conhecimentos e habilidades que lhe permitam acessá-los, quer dizer que, significativamente, o Objeto se relaciona com a importância do conhecimento prévio, da mesma forma que na TAS.

Outra relação observada entre estas duas teorias é a de que os mecanismos externos poderão ser utilizados mesmo quando estes já não estiverem mais presentes. Isso ocorre porque o Objeto, através dos Mecanismos Externos, foi incorporado aos *subsunçores*, ou seja, houve aprendizagem significativa. Com isso, há a incorporação de imagens mentais destes Objetos que foram mediados pelos Mecanismos Externos na estrutura cognitiva do estudante.

As formas de Mediação Cognitiva possuem algumas relações com a TAS. A mediação psicofísica possui relação direta com a aprendizagem significativa por descoberta, pois esta forma de mediação ocorre, diretamente, entre o sujeito e o objeto/situação, e é considerada a forma mais básica e instintiva de mediação. Da mesma forma a aprendizagem por descoberta, que relaciona a interação entre o sujeito e o objeto, que muitas vezes ocorre de forma instintiva. As demais formas de mediação (social, cultural e digital) relacionam-se com aprendizagem por recepção da informação.

Quando ocorre aprendizagem significativa, os *subsunçores* incorporam os novos conhecimentos e modificam os conhecimentos já existentes. Em cada nova aprendizagem significativa, os *subsunçores* modificam-se e se tornam mais abrangentes e inclusivos. Da mesma forma, a TMC, considera que:

De acordo com o modelo da mediação cognitiva, em cada etapa no processo da evolução cognitiva representa uma mudança profunda nos mecanismos internos, que são usados por um indivíduo para potencializar as suas atividades intelectuais. Desse modo, espera-se que tais mudanças no pensamento sejam de natureza estrutural, afetando a própria dinâmica dos fenômenos cognitivos, incluindo sua interação com variáveis psicológicas relacionadas, tais como valores, estratégias, escolhas, preferências e comportamentos. (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p.87)

Dessa forma, é viável a utilização destas duas teorias como fundamentação teórica da presente proposta de estudo, uma vez que elas se complementam, uma com característica macroteórica (TAS), uma aprendizagem global que perpassa todo o processo; a outra com

características mais microteóricas (TMC), que ocorre nos processos individuais de aprendizagem. A Teoria da Aprendizagem Significativa considera importante fator os conhecimentos já existentes, as imagens mentais da estrutura cognitiva do estudante, fator que também é levado em consideração dentro da TMC.

Porém, cabe ressaltar que a TMC se torna forte embasamento teórico desta proposta de estudo, pois leva em conta as Mediações hiperculturais especificamente, mediações que não são consideradas diretamente na TAS. Sinteticamente, a Teoria da Aprendizagem Significativa centraliza na aprendizagem do conceito, e é complementada pela Teoria da Mediação Cognitiva, que tem seu principal eixo na mediação entre o novo conhecimento e o já existente, formando ou modificando os *drivers*.

4 ESTUDO DE COLISÕES UNIDIMENSIONAIS

O filósofo e matemático francês, René Descartes (1596-1650), deu grande contribuição para o estudo das colisões. Nos *princípios* (leis) de Descartes o *momentum* total do universo permanece constante e considera como Deus a razão desta constância (ROCHA, 2002). Christiaan Huygens (1629-1695) avançou em relação aos trabalhos apresentados por Descartes, porém acredita que o *momentum* pode permanecer constante, mas que depende do sistema, e não apenas como julgava Descartes que o *momentum* era constante no Universo.

A partir de Isaac Newton (1642-1727) (GOEHRING, 1975), a quantidade de movimento passa a ser considerada uma grandeza vetorial. Na análise de colisões completamente inelástica, Newton aplicou o princípio da conservação da quantidade de movimento, cujos resultados obtidos nunca foram publicados por ele. Mais tarde, Newton utiliza seu princípio na análise de colisões elásticas unidimensionais e verifica que tal princípio não era suficiente para esta análise, razão pela qual formula outro princípio, segundo o qual a velocidade relativa de aproximação dos corpos antes da colisão é igual à velocidade relativa de afastamento dos corpos após a colisão, para situação de colisão elástica.

Leibniz, Huygens e Newton discutem sobre a quantidade de movimento apresentada por Descartes e a utilizam como grandeza vetorial. Como resultado concluem que, em colisão entre corpos, a quantidade de movimento como uma grandeza vetorial é conservada. Aqui começa a relação entre as leis de conservação do momento linear com a energia cinética, pois Leibniz percebe que, em colisões elásticas, outra grandeza também é conservada. Os três estudiosos chamam essa grandeza de *vis viva*, “força viva”, que era o produto da massa individual de cada corpo pelo quadrado da velocidade, que permanecia constante após a colisão. Conforme Reis:

Leibniz reconhece que, em colisões elásticas entre dois corpos, ocorrem ambas as conservações: a *vis viva* (que é a energia cinética, sem a fração de um meio) e a conservação de quantidade de movimento. Além disso, percebe que a quantidade de movimento se conserva em qualquer tipo de colisão (elástica, semielástica e completamente inelástica). (REIS, 2003, p.20)

A partir deste momento, passa-se ao estudo de colisões unidimensionais. Inicialmente, discute-se a partir do paradigma newtoniano (leis de Newton) e, posteriormente, as colisões

através do paradigma pós-newtoniano (leis de conservação de energia e quantidade de movimento).

A seguir, analisam-se as colisões a partir do fator de conservação de energia, que se introduz nas leis de conservação, a fim de mensurar a conservação de energia. Encerra-se o capítulo com discussões sobre as consequências deste fator de conservação de energia para alguns casos.

4.1 A ABORDAGEM NEWTONIANA PARA O ESTUDO DE COLISÕES

A base científica de nossa cultura teve um salto durante os séculos XVI e XVII, com mudanças drásticas em como as pessoas descreviam o mundo e, em linhas gerais, em seus pensamentos, que se tornaram a base do paradigma que dominou a nossa cultura nos últimos trezentos anos. Com suporte de grandes pensadores, como Nicolau Copérnico, Johannes Kepler, Galileu Galilei, entre outros, Isaac Newton publicou (1687) o livro que muitos consideram uma das maiores contribuições à ciência, o *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Nesta obra, Newton apresenta as três leis fundamentais que governam o comportamento dos corpos (PENROSE, 1997). Estas leis, na sua forma original, retirados da edição de 1726, são assim expressas:

I - Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

II - Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

III - Actioni contrariam semper et aequalam esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

Traduzindo:

I - Todo o corpo permanece no seu estado de repouso, ou de movimento

uniforme retilíneo, a não ser que seja compelido a mudar esse estado devido à ação de forças aplicadas.

II - A variação de movimento é proporcional à força motriz aplicada; e dá-se na direção da reta segundo a qual a força está aplicada.

III- A toda a ação sempre se opõe uma reação igual; ou, as ações mútuas de dois corpos são sempre iguais e dirigidas às partes contrárias.

A primeira lei de Newton, considerada usualmente como lei de inércia, refere-se ao comportamento de um corpo quando não está submetido a forças externas ou quando a resultante destas é igual a zero. Assim, o corpo se mantém em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme. Em termos históricos, a primeira Lei de Newton é um marco a partir do qual o paradigma aristotélico é deixado para trás. Além disso, para a teoria da Relatividade de Einstein, ela tem papel fundamental na definição dos referenciais inerciais.

A segunda lei, entretanto, estabelece o efeito da força impressa, ou seja, o repouso ou o movimento são alterados. Relaciona força (F) com tempo (t) e a variação do momento (p), que pode ser expressa através da velocidade (v) e da massa (m) como:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (1)$$

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) \quad (2)$$

Na terceira lei, Newton postulou que, na interação entre dois corpos, surgem forças de mesma intensidade e de mesma direção, com sentidos opostos, e é considerada como Princípio da Ação e Reação.

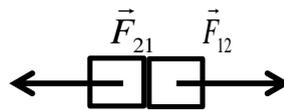
No entanto, conforme Marion e Thornton (1988), a primeira e a segunda lei de Newton são definições e não leis. Estes autores consideram que a Terceira Lei de Newton realmente é uma lei, pois depende da definição de força.

Conforme Resnick, Halliday e Walker (2008), ao definir uma colisão, deve-se considerar que a força exercida sobre um corpo é de curta duração, tem módulo elevado e muda bruscamente a quantidade de movimento do corpo. Estas forças que atuam durante um pequeno intervalo de tempo, na ordem de 10^{-6} segundos (tempo típico de colisões macroscópicas), comparado com o tempo de observação, são denominadas de forças impulsivas. As forças impulsivas possuem valores muito elevados que atuam no corpo em

intervalos de tempo muito pequenos, dessa forma, demais forças como atrito e resistência do ar, por possuírem valores muito inferiores, podem ser desprezadas. É comum estudar colisões considerando um sistema isolado, em que não há troca de energia com o ambiente e nem matéria, ou seja a energia total em um sistema isolado não pode variar.

Para a colisão entre dois corpos, partindo da Terceira Lei de Newton, a cada ação existe uma reação de mesma intensidade, porém de sentido oposto (RENISCK; HALLIDAY; WALKER, 2008). Para dois corpos que estão em movimento em sentidos opostos e com velocidade \vec{v}_1 e \vec{v}_2 constantes, que, se colidir o corpo 1, irá exercer uma \vec{F}_{12} sobre o corpo 2, ao mesmo tempo que o segundo exercerá uma força \vec{F}_{21} sobre o primeiro.

Figura 5 - Representação da Terceira Lei de Newton em relação às forças que atuam sobre os dois corpos no momento da colisão



Fonte: O autor (2015)

As forças, representadas na figura 3 possuem o mesmo módulo com sentido contrário, sobre as quais pode-se escrever:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (3)$$

Pela definição da Segunda Lei de Newton, pode-se considerar

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} = -\frac{d\vec{p}_2}{dt} \quad (4)$$

que \vec{p}_1 e \vec{p}_2 são os *momentum* de cada um dos corpos. Como o *momentum* é

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}, \quad (5)$$

Pode-se reescrever a equação (5) e considerar as massas dos dois corpos como constantes, da seguinte forma:

$$m_1 \left(\frac{d\vec{v}_1}{dt} \right) = m_2 \left(-\frac{d\vec{v}_2}{dt} \right) \quad (6)$$

Conforme Halliday, Resnick e Walker (2008, p. 231), “se um sistema de partícula não está submetido a nenhuma força externa, o momento linear total \vec{p} do sistema não pode variar”. Com relação à afirmação anterior, fundamentada na Terceira Lei de Newton, pode-se afirmar que, antes ou após a colisão, o momento linear do sistema permanece constante,

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = k \quad (7)$$

e que, em relação aos momento linear inicial e final, os sistemas são iguais:

$$\sum \vec{p}_{inicial} = \sum \vec{p}_{final} \quad (8)$$

Em qualquer tipo de colisão haverá conservação do *momentum* do sistema, conforme demonstrado anteriormente, obedecendo, assim, a Terceira Lei de Newton.

4.1.2 A utilização do coeficiente de restituição para definir o tipo de colisão

A definição do tipo de colisão pode ser considerada a partir do coeficiente de restituição, que foi determinado por Newton experimentalmente (BONJORNO; CLINTON, 1992). Ele é calculado pela razão entre a velocidade relativa dos corpos depois da colisão (afastamento) e a velocidade relativa antes da colisão (aproximação).

$$e = \frac{\vec{v}_{1f} - \vec{v}_{2f}}{\vec{v}_{1i} - \vec{v}_{2i}} \quad (9)$$

A representação \vec{v}_{2f} é a velocidade final do corpo dois, \vec{v}_{1f} é a velocidade final do corpo um, \vec{v}_{2i} é a velocidade inicial do corpo dois e \vec{v}_{1i} é a velocidade inicial do corpo um.

A classificação quanto ao tipo de colisão, considerando o coeficiente de restituição, apresenta-se da seguinte forma:

$$e = 0 \text{ Colisão perfeitamente inelástica.} \quad (10)$$

$$e = 1 \text{ Colisão elástica.}$$

$$0 < e < 1 \text{ Colisão inelástica.}$$

Em muitas situações, a obtenção de expressões das forças envolvidas em uma colisão entre dois corpos é difícil ou praticamente impossível, pois há de se conhecer todas as forças que atuam sobre os corpos, para que se possa resolvê-las com a utilização dos procedimentos newtonianos (MARION; THORNTON, 1988).

Deve-se considerar duas razões para que seja praticamente impossível determinar as forças que atuarão em uma colisão entre dois corpos, através das Leis de Newton (RESNICK, HALLIDAY; KRANE, 2003): primeiro por não se conhecer a expressão da força entre os objetos no momento da interação; segundo, o número de partículas que compõem cada um dos objetos é muito grande, o que torna muito complicada a aplicação das Leis de Newton, para cada partícula em relação à força, em cada um dos objetos.

Dessa forma, o estudante precisa ter habilidades para definir o sistema e as forças que envolvem os corpos (DISESSA, 1980). A abordagem do paradigma pós-newtoniano, que relaciona a abordagem a partir das leis de conservação, possui maior facilidade na compreensão de uma colisão, porque pesquisas indicam que os estudantes têm dificuldades para compreender e interpretar o ensino de colisões através da Terceira Lei de Newton (GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993).

4.2 O ENSINO DE COLISÕES CONFORME AS LEIS DE CONSERVAÇÃO

A utilização das leis de conservação para o estudo de colisões possibilita o enquadramento de vasto número de fenômenos e, por conseguinte, aumenta os limites da mecânica clássica (GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993).

Conforme Nussenzveig (2007), há conexão teórica entre estas grandezas conservadas e as simetrias da natureza, onde a lei de conservação de energia possui simetria temporal enquanto a lei de conservação de momento linear possui simetria espacial. Para isso, consideram-se estas leis universalmente válidas.

Na sequência, discutem-se os conceitos envolvidos com relação às leis de conservação de energia e conservação do momento linear, relacionadas com o estudo de colisões lineares.

4.2.1 Conservação da Energia Cinética

Neste ponto, discutem-se os conceitos de dinâmica relacionados com energia, através das leis de conservação, conhecido como método de Lagrange. Para isso, utiliza-se como referência a obra de Marion e Thornton (1988). A partir desta abordagem, é possível a descrição do sistema para cada instante de tempo.

Conforme Reis (2004, p.24), “o Princípio de Hamilton não nos proporcionou nenhuma teoria física nova, mas nos permitiu a unificação de teorias e nos proporcionou a formulação matemática precisa para os fenômenos observados.”

O formalismo lagrangiano não utiliza o conceito de força. Nas suas equações de movimento para o estudo de colisões, através de propriedades associadas às partículas, não há necessidade de levar em conta os agentes externos de cada partícula (força). Dessa forma, independentemente dos conceitos newtonianos, os movimentos dos corpos podem ser definidos através da energia. Para Reis (2004), há consequências para esse fato:

Primeiro, sendo a energia uma quantidade escalar, o Lagrangiano é invariante para um sistema. Nós estamos acostumados a pensar em sistemas mecânicos em termos de vetores como força, velocidade, impulso angular, torque, e assim sucessivamente. Mas na formulação de Lagrange, são obtidas as equações de movimento completamente em termos de operações de espaço de forma escalar. Assim, sempre podemos multiplicar a equação de Lagrange por uma constante qualquer, sem afetar as equações do movimento. Em síntese, o Princípio de Hamilton nos permite calcular as equações de movimento de um corpo completamente sem recorrer ao formalismo Newtoniano. (REIS, 2004, p.25)

Em alguns casos, ao valorizar a perspectiva newtoniana, há dificuldade em explicar todas as forças que atuam sobre um corpo; no entanto, é possível e bem mais fácil considerar as energias cinética e potencial do corpo. Este fato faz o Princípio de Hamilton útil para os sistemas da mecânica quântica, quando se sabe parte do potencial atuante nos objetos quânticos, mas não das forças. Ocorre, dessa forma, a validade do formalismo pós-newtoniano além das aplicações da mecânica clássica. (GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993).

Na perspectiva utilizada nesta pesquisa, no estudo de colisões, o conceito de conservação de energia desempenha um papel muito importante. Do ponto de vista conceitual, a conservação de energia está conectada ao conceito de mudança de energia.

Assim, através da conservação ou não de energia cinética (antes, durante e após a interação), é possível determinar o tipo de colisão: elástica e inelástica (GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993). Quando se comparam as energias antes e após a colisão, caso estes valores sejam iguais e toda a energia cinética do sistema (definido pelos corpos integrantes) for conservada, tem-se uma colisão elástica.

Por outro lado, à medida que o sistema começa a perder energia cinética, durante a colisão, é definida como inelástica, até atingir um mínimo de conservação de energia, quando há, pois, colisão perfeitamente inelástica. Apesar de ocorrer esta perda de energia, o momento linear se conserva sempre durante a colisão.

Pode-se considerar, então, que ocorra toda a perda da energia cinética do sistema. Isso significa que, após a colisão, a velocidade dos corpos do sistema deveria permanecer em repouso, com velocidade igual a zero. Porém, se o centro de massa não tiver uma velocidade totalmente nula antes da colisão, ele deverá ter, necessariamente, a mesma velocidade após a colisão, o que significa que o momento linear se conserva após a colisão. Nesta situação, verifica-se uma inconsistência, pois, se a energia cinética fosse totalmente dissipada, o centro de massa ficaria em repouso após a colisão, o que se caracteriza em uma violação da conservação do momento linear. Esta situação é impossível de ocorrer para sistemas fechados e isolados, como em colisões sem perda de massa e na ausência de forças externas.

Assim, existe um fator condicionante da perda de energia cinética, que a limita a um determinado valor, abaixo do qual o centro de massa não possuiria mais, após a colisão, a mesma velocidade de antes da colisão. A situação de menor nível de conservação de energia, conforme demonstrado por Mors (2012), ocorre quando os corpos ficam grudados a que se denomina colisão completamente inelástica. Às situações em que ocorre o aumento da energia cinética na colisão, denomina-se colisão superelástica (ROEDER, 2003), pois envolve aumento da energia cinética no sistema.

Constata-se, em várias obras de cunho didático, esse enfoque de conservação ou não de energia cinética para a definição de colisão, como, por exemplo: Gref, 1999; Máximo e Alvarenga, 1997; e de nível superior como: Halliday; Resnick; Walker, 2002; Resnick; Halliday; Krane, 2008 e Tipler, 2001.

4.2.2 Conservação de Quantidade de Movimento

O momento linear é a grandeza física, caracterizada por ser o produto de grandeza escalar com uma grandeza vetorial. Conforme apresentado anteriormente, a segunda Lei de Newton pode ser escrita em função do momento linear (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2002).

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) \quad (11)$$

Com base na colisão que ocorra em intervalo de tempo e compreendida entre os instantes t_i e t_f , bem como que ocorra antes e depois da colisão, as forças de interação entre as partículas sejam nulas, e, se partirmos da equação (11), é possível escrever a variação do momento linear através da integral:

$$\int_{\vec{p}_i}^{\vec{p}_f} d\vec{p} = \int_{t_i}^{t_f} \sum \vec{F} dt \quad (12)$$

\vec{p}_i e \vec{p}_f são os momentos lineares do sistema nos tempos t_i e t_f .

No lado esquerdo da equação é representada a variação de quantidade de movimento ($\Delta\vec{p}$) e, no lado direito, está representada a integral de todas as forças atuantes no sistema, definida como o impulso (\vec{I}). Por isso, a variação da quantidade de movimento é igual ao impulso e este pode ser definida como:

$$\vec{I} = \int_{t_i}^{t_f} \sum \vec{F} dt \quad (13)$$

Em uma colisão, se as forças externas líquidas que agem sobre os corpos forem igual a zero, isso antes, durante e após a colisão, a taxa de variação do momento linear em relação ao tempo será igual a zero, ou seja:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \quad (14)$$

Se a taxa de variação do momento linear é nula, é porque o momento é constante, os

valores do momento linear total, antes e após a colisão dos corpos, mantêm-se inalterados, por isso pode-se escrever,

$$\sum \vec{p}_i = \sum \vec{p}_f \quad (15)$$

Em síntese, a lei de conservação de quantidade de movimento tem uma função importante na análise e compreensão dos processos físicos. Ela permite analisar um sistema, sem que se tenha o conhecimento do tipo de força que os dois corpos exercem um sobre o outro ao colidirem. Assim, a quantidade de movimento total dos corpos, antes e após a colisão, permanece constante, independentemente do tipo de força que age sobre os corpos que colidem (RESNICK, HALLIDAY; KRANE, 2003).

4.2.3 A relação existente entre as duas leis de conservação

O momento linear (p) caracteriza-se por ser uma grandeza vetorial e a sua relação com a força (F) de interação ocorre pela integral da força com relação ao tempo (t) (LOWSON; MCDERMOTT, 1987; GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993), onde v_i e v_f são as velocidades inicial e final:

$$\int_{t_i}^{t_f} \vec{F} dt = \Delta p_x = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i \quad (16)$$

A energia cinética caracteriza-se por ser uma grandeza escalar e a sua relação com a força acontece pela integral com relação ao espaço, denominado de Teorema-Trabalho-Energia Cinética (HALLIDAY, RESNICK; WALKER, 2008).

$$\int_{x_i}^{x_f} \vec{F} \cdot dx = \Delta K = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \quad (17)$$

Apesar de as duas leis de conservação não possuírem, aparentemente, relação, elas são interdependentes, o que é de difícil compreensão pelos estudantes, conforme Grimellini-

Tomasini et al (1993). O momento linear sempre se conserva nas colisões, porém a energia cinética poderá ser conservada ou não.

O conceito de conservação de energia possui papel fundamental no estudo de colisões, pois, do ponto de vista conceitual, é a partir dela que se determina o tipo de colisão. Para obedecer à conservação do momento linear, existe um fator condicionante, que limita a perda da energia cinética do sistema. Neste valor mínimo de energia, verifica-se a existência de uma característica que independe dos valores das massas dos corpos que colidem e das velocidades antes da colisão: os corpos permanecem com a mesma velocidade após a colisão. Abaixo deste valor mínimo de conservação de energia, deixa de existir a conservação do momento linear.

Este enfoque, de definir o tipo de colisão através da conservação ou não de energia cinética, é também utilizado em livros didáticos de Ensino Médio (SAMPAIO, 2008; ANJOS, 2005; ALVARENGA; MÁXIMO, 2005) e Superior (HALLIDAY et al, 2008; YOUNG, 2008; TIPLER, 2012), no estudo de colisões mecânicas, mas sem aprofundamento, conforme apresentado nesse trabalho.

No livro *Fundamentos de física*, Halliday et al (2008, p. 235) afirmam que: “A maior perda ocorre quando os dois corpos permanecem juntos, caso em que a colisão é chamada de colisão perfeitamente inelástica”. Mors (2012), em seu trabalho “Quanta energia cinética é possível se perder em uma colisão inelástica?” realiza uma demonstração a partir do mínimo de conservação de energia, obtendo como resultado que as velocidades dos centros de massa dos dois corpos são iguais. Parte de uma análise da quantidade de energia que seria dissipada após uma colisão e, a partir da primeira derivada da função, obtém como resultado para esta situação, que as velocidades dos centros de massas dos corpos após a colisão são iguais.

Partindo deste resultado e considerando uma colisão unidimensional entre dois corpos, pode-se determinar a quantidade mínima de energia que deve ser conservada em uma colisão para manter o momento linear. Para isso adota-se “ f ” como fator de conservação de energia, em que o tipo de colisão estará diretamente associado ao seu valor. Se f for igual a um, conserva 100% da energia, e há uma colisão elástica; se f for maior que um, a colisão será superelástica, significa, então, que, após a colisão, a quantidade de energia será superior a 100%. Como existe um valor mínimo de energia cinética a ser conservado, para não violar a lei da conservação do momento linear, a variável f possui limite inferior; abaixo deste valor, entretanto, a lei da conservação do momento linear é violada. Quando f for igual a este mínimo, há uma colisão perfeitamente inelástica. Quando o valor de f estiver entre um e f_{min} , a

colisão será inelástica, em que ocorre perda de energia, mas se mantém com valores superiores a valor mínimo que deve ser conservado.

A partir da definição de f , pode-se substituir na equação da conservação da energia cinética, de forma que a energia cinética inicial seja igual à parte, que, nesse caso, é representada pelo valor f , da energia cinética inicial, conforme equação (18):

$$K_{1f} + K_{2f} = f \cdot (K_{1i} + K_{2i}) \quad (18)$$

$$\vec{P}_{1f} + \vec{P}_{2f} = \vec{P}_{1i} + \vec{P}_{2i} \quad (19)$$

As equações (18) e (19) poderão ser escritas em função das velocidades, assim expressas:

$$m_1 \cdot v_{1f}^2 + m_2 \cdot v_{2f}^2 = f \cdot (m_1 \cdot v_{1i}^2 + m_2 \cdot v_{2i}^2) \quad (20)$$

$$m_1 \cdot v_{1f} + m_2 \cdot v_{2f} = m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i} \quad (21)$$

Considerando f_{min} quando se tem $v_{1f} = v_{2f} = V$, pode-se reescrever as equações (20) assim:

$$m_1 \cdot V^2 + m_2 \cdot V^2 = f_{min} \cdot (m_1 \cdot v_{1i}^2 + m_2 \cdot v_{2i}^2) \quad (22)$$

$$V^2 \cdot (m_1 + m_2) = f_{min} \cdot (m_1 \cdot v_{1i}^2 + m_2 \cdot v_{2i}^2) \quad (23)$$

Enquanto a equação (21) fica assim:

$$m_1 \cdot V + m_2 \cdot V = m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i} \quad (24)$$

$$V \cdot (m_1 + m_2) = m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i} \quad (25)$$

Nesse caso, pode-se obter V :

$$V = \frac{m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i}}{(m_1 + m_2)} \quad (26)$$

A partir da equação (23) escreve-se f_{min} como:

$$f_{min} = \frac{V^2 \cdot (m_1 + m_2)}{(m_1 \cdot v_{1i}^2 + m_2 \cdot v_{2i}^2)} \quad (27)$$

Também é possível substituir a equação (26) na equação (27):

$$f_{min} = \frac{\left(\frac{m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i}}{m_1 + m_2}\right)^2 \cdot (m_1 + m_2)}{(m_1 \cdot v_{1i}^2 + m_2 \cdot v_{2i}^2)} \quad (28)$$

Quando reorganiza-se a equação (28), há f_{min}

$$f_{min} = \frac{(m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i})^2}{(m_1 \cdot v_{1i}^2 + m_2 \cdot v_{2i}^2) \cdot (m_1 + m_2)} \quad (29)$$

Se colocar a equação (29) em função dos momentos lineares iniciais e das energias cinéticas iniciais, tem-se:

$$f_{min} = \frac{(P_{1i} + P_{2i})^2}{2 \cdot (K_{1i} + K_{2i}) \cdot (m_1 + m_2)} = \frac{(P_T)^2}{2 \cdot (K_T) \cdot (m_1 + m_2)} \quad (30)$$

e $P_T = P_{1i} + P_{2i}$ (momento total) e $K_T = K_{1i} + K_{2i}$ (energia cinética total inicial).

O valor do f_{min} pode variar entre zero e um, cuja variação dependerá das condições iniciais do sistema. A seguir veem-se alguns resultados interessantes com relação ao fator de conservação de energia, que está diretamente ligado à proposta de simulação aqui apresentada.

4.2.4 Algumas considerações em relação ao f_{min}

Massas iguais

a) Velocidades iniciais iguais, mas em sentidos opostos

Para esta situação verifica-se que os vetores momentos lineares iniciais serão iguais em módulos, mas com sentidos opostos. Dessa forma, $P_{1i} + P_{2i} = 0$, quando for aplicado na equação (30), tem-se $f_{min} = 0$. Nessa condição, torna-se desnecessária a conservação de energia, isto é, toda energia poderá ser dissipada no momento da colisão, e as velocidades finais, para que respeite a conservação do momento linear, deverão ser iguais a zero. Esta é a situação em que dois corpos de massas iguais, módulo e velocidades iguais, porém com sentidos opostos, colidem e após a colisão permanecem em repouso. Cita-se, como exemplo, dois carros idênticos que se deslocam em sentidos opostos com a mesma velocidade e que, após a colisão, permanecem em repouso.

b) Alvo em repouso

Na situação em que alvo permanece em repouso, verifica-se que, após a colisão, deve-se conservar pelo menos metade da energia inicial. Pode-se verificar, também, através da equação (29), com a substituição de v_2 por zero (alvo em repouso) ao fazer $m_1 = m_2 = m$, obtém-se:

$$f_{min} = \frac{(m \cdot v_{1i} + m \cdot 0)^2}{(m \cdot v_{1i}^2 + m \cdot 0) \cdot (m + m)} \quad (31)$$

$$f_{min} = \frac{m^2 \cdot v_{1i}^2}{(m \cdot v_{1i}^2) \cdot 2 \cdot m} \quad (32)$$

Através da equação (14), constata-se que o mínimo de conservação de energia cinética, após a colisão para dois corpos de massas iguais, independe da velocidade inicial e das massas dos corpos, e se obtém:

$$f_{min} = \frac{1}{2} \quad (33)$$

Massa do corpo um muito maior que a massa do corpo 2

a) *Com velocidades iguais, mas se deslocando em sentidos opostos*

Outra situação interessante de analisar, quando há dois corpos e cuja massa de um deles, muitas vezes, é maior que a do outro, em que ambos se encontram em movimento com módulo das velocidades iguais, porém com sentidos opostos, verifica-se, que nesta situação, há f_{min} com tendência para 1, fator que significaria a conservação total da energia.

Para a análise mais detalhada, pode-se considerar que, na equação (29) $m_1 \rightarrow \infty$, e $v_{2i} = -v_{1i}$, se terá:

$$f_{min} = \lim_{m_1 \rightarrow \infty} \frac{(m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot (-v_{1i}))^2}{(m_1 \cdot v_{1i}^2 + m_2 \cdot (-v_{1i})^2) \cdot (m_1 + m_2)} \quad (34)$$

Ao abrir o numerador e o denominador da equação (34), haverá:

$$f_{min} = \lim_{m_1 \rightarrow \infty} \frac{m_1^2 \cdot v_{1i}^2 - 2 \cdot m_1 m_2 \cdot v_{1i} \cdot v_{1i} + m_2^2 \cdot v_{1i}^2}{(m_1^2 \cdot v_{1i}^2 + m_1 \cdot m_2 \cdot v_{1i}^2 + m_1 \cdot m_2 \cdot v_{1i}^2 + m_2^2 \cdot v_{1i}^2)} \quad (35)$$

Ao simplificar a equação (35), verifica-se que:

$$f_{min} = \lim_{m_1 \rightarrow \infty} \frac{v_{1i}^2 \cdot (m_1^2 - 2 \cdot m_1 m_2 + m_2^2)}{v_{1i}^2 \cdot (m_1^2 + 2 \cdot m_1 \cdot m_2 + m_2^2)} \quad (36)$$

$$f_{min} = \lim_{m_1 \rightarrow \infty} \frac{(m_1 + m_2) \cdot (m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2) \cdot (m_1 + m_2)} \quad (37)$$

$$f_{min} = \lim_{m_1 \rightarrow \infty} \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} \quad (38)$$

Ao aplicar o limite de $m_1 \rightarrow \infty$ na equação (38) observa-se que $f_{min} \rightarrow 1$, ou seja, a energia cinética deverá ser totalmente conservada. Essa seria a situação onde a energia cinética teria de ser conservada totalmente após a colisão. Como conclusão, verifica-se que, quando um corpo de $m_1 \gg m_2$ e $v_{2i} = -v_{1i}$, a colisão será elástica, ou com ganho de energia, superelástica será o mesmo resultado, considerando-se que o corpo 1 seja o projétil e o corpo 2 o anteparo.

Como exemplo, cita-se a situação de um caminhão em movimento que colide com um inseto se deslocando em sentido oposto ao caminhão, mas com velocidades iguais. Nesta situação, a massa do caminhão é superior à massa do inseto e, após a colisão, o caminhão passa a se deslocar, praticamente, com a mesma velocidade.

b) Corpo com massa muito maior como projétil em anteparo em repouso

Na situação em que corpo de massa muito maior (nesse caso considerando m_1) em movimento, com deslocamento, a fim de colidir com o anteparo de massa muito menor (nesse caso considerando m_2) que se encontra, inicialmente, em repouso, há que a quantidade mínima de energia cinética a ser conservada após a colisão tende para um, quando $m_1 \rightarrow \infty$, ou seja, semelhante ao item anterior, a tendência é que haja situações de apenas colisões elásticas ou superelásticas.

A partir da equação (29), onde se considera $v_{2i} = 0$, tem-se:

$$f_{min} = \frac{(m_1 \cdot v_{1i})^2}{(m_1 \cdot v_{1i}^2) \cdot (m_1 + m_2)} \quad (39)$$

$$f_{min} = \frac{m_1^2 \cdot v_1^2}{(m_1^2 \cdot v_{1i}^2) + (m_1 \cdot m_2 \cdot v_{1i}^2)} \quad (40)$$

Ao simplificar m_1 e v_{1i} na equação (40), há:

$$f_{min} = \frac{m_1}{(m_1 + m_2)} \quad (41)$$

A partir da equação (41), é facilmente possível verificar que:

$$f_{min} = \lim_{m_1 \rightarrow \infty} \frac{m_1}{(m_1 + m_2)} = 1 \quad (42)$$

c) *Corpo com massa muito maior como anteparo em repouso*

Ao considerar que o corpo de massa muito maior ($m_1 \gg m_2$), inicialmente em repouso, ($v_{1i} = 0$ e $v_{2i} \neq 0$), a partir da equação (29), verifica-se que f_{min} tende para zero, pois:

$$f_{min} = \frac{(m_2 \cdot v_{2i})^2}{(m_2 \cdot v_{2i}^2) \cdot (m_1 + m_2)} \quad (43)$$

Ao simplificar m_2 e v_{2i} na equação (43), há:

$$f_{min} = \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} \quad (44)$$

A partir da equação (44), não há dificuldade de verificar que se $m_1 \rightarrow \infty$, então $f_{min} \rightarrow 0$.

$$f_{min} = \lim_{m_1 \rightarrow \infty} \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} = 0 \quad (45)$$

Um exemplo de aplicação para esta situação seria um inseto que se desloca com certa velocidade e colide com um caminhão parado. Neste caso, pode-se verificar que o inseto ficará em repouso após a colisão.

Os resultados apresentados nos itens a, b e c independem das velocidades dos corpos; no entanto, dependem, única e exclusivamente, das massas dos dois corpos. Verifica-se, ainda, que o corpo que possui massa muito maior determina a quantidade mínima de energia cinética que deve ser conservada após uma colisão. Caso o corpo de massa maior esteja em repouso, o mínimo de energia a ser conservado tem a tendência para zero; porém, se estiver

em movimento (corpo de massa maior), tende para conservação total de energia cinética do sistema.

4.2.5 Velocidades dos corpos após as colisões

Uma situação que não é discutida nos livros-texto diz respeito às velocidades dos corpos após uma colisão inelástica. Vê-se que, em uma colisão inelástica, há dissipação de energia, mas não chega ao máximo que pode ser dissipada. Tal situação seria a colisão perfeitamente inelástica, discutida anteriormente.

Se considerar um sistema formado por dois corpos que colidem linearmente, as suas velocidades após a colisão dependerão diretamente de quanto de energia foi conservado. A partir das equações (20) e (21) e ao isolar v_{1f} em (21), haverá

$$v_{1f} = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_{2i} - m_2 \cdot v_{2f}}{m_1} \quad (46)$$

Caso se faça a substituição da equação (46) na equação (20), haverá, após vários ajustes, que a velocidade final do corpo dois poderá ser representada por:

$$v_{2f} = \frac{(m_1 \cdot m_2 \cdot v_{1i} + m_2^2 \cdot v_{2i}) \pm \sqrt{\{m_1^2 \cdot m_2^2 \cdot v_{1i}^2 + 2 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot v_{1i} \cdot m_2^2 \cdot v_{2i} + m_2^4 \cdot v_{2i}^2 - [(m_1 \cdot m_2 + m_2^2) \cdot ((2m_1 \cdot m_2 \cdot v_{1i} \cdot v_{2i}) - f \cdot (m_1^2 \cdot v_{1i}^2 + m_1 \cdot m_2 \cdot v_{2i}^2) + (m_1 \cdot v_{1i})^2 + (m_2 \cdot v_{2i})^2)]\}}}{(m_1 \cdot m_2 + m_2^2)} \quad (47)$$

Para determinar a v_{1f} , basta substituir a equação (47) na equação (46).

A obtenção da equação (47) não é facilmente alcançada, haja vista a necessidade de certo trabalho algébrico. Não obstante, também observa-se que a determinação das velocidades, a partir dos valores numéricos das velocidades iniciais e das massas dos dois corpos do sistema, exige atenção na construção deste cálculo. Talvez seja por isso que os livros-texto de Física do Ensino Superior não discutam tal resultado.

4.2.6 Uma situação particular: a queda de um objeto próximo da Terra

A colisão de um objeto que cai nas proximidades da superfície da Terra também aponta uma discussão interessante. Caso se considere o sistema do corpo que será abandonado e a Terra, pode-se estudar o comportamento do movimento conforme o tipo de colisão. Notoriamente, este estudo torna-se muito mais fácil quando se utilizam mecanismos externos, que facilitam o processamento da informação, como as simulações computacionais.

Conforme visto anteriormente, as equações (29) e, sobretudo, a (46), se for realizada com o auxílio de mecanismos externos hiperculturais, torna-se mais rápido o seu processamento, devido à velocidade de realização dos cálculos.

Procede-se, então, à breve análise a partir da equação (29), do fator mínimo de conservação de energia a ser conservada após uma colisão e as velocidades dos corpos após a colisão. Considerando que a Terra é o corpo um e o objeto o corpo dois, e desprezando as forças de atrito durante a queda, a velocidade inicial da colisão do objeto com o solo será igual à velocidade final de queda, dada por:

$$v_{2i} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (48)$$

Ao se pensar “g” como aceleração gravitacional e “h” como a altura em que o corpo será abandonado, significa que a velocidade inicial de queda do objeto será zero. Para o estudo desta colisão, considera-se como sistema a Terra de massa m_1 e, em repouso antes da colisão ($v_{1i} = 0m/s$), o objeto de massa m_2 e com velocidade inicial antes da colisão fornecida pela equação (48). Dessa forma, considera-se a equação (47) para a velocidade final do objeto, e se tem:

$$v_{2f} = v_{2i} \cdot \left(\frac{m_2 + \sqrt{(m_2^2 + f \cdot m_1 (m_1 + m_2) - m_2 \cdot (m_1 + m_2))}}{(m_1 + m_2)} \right) \quad (49)$$

Verifica-se que a equação (49) depende apenas das massas dos dois corpos e da velocidade inicial do objeto, e que, se substituir a equação (48), tem-se a velocidade final do objeto em função das massas e da altura em que o corpo foi abandonado:

$$v_{2f} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \left(\frac{m_2 + \sqrt{(m_2^2 + f \cdot m_1 (m_1 + m_2) - m_2 \cdot (m_1 + m_2))}}{(m_1 + m_2)} \right) \quad (50)$$

Se analisar somente a partir do radicando da equação (50), pode-se definir o valor do f_{min} da seguinte forma:

$$(m_2^2 + f \cdot m_1 (m_1 + m_2) - m_2 \cdot (m_1 + m_2)) \geq 0 \quad (51)$$

$$f \cdot m_1 (m_1 + m_2) \geq m_2 \cdot (m_1 + m_2) - (m_2^2) \quad (52)$$

Ao ajustar os elementos da equação (52), há:

$$f \geq \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} \quad (53)$$

Observe-se, pois, que o resultado obtido na equação (53) converge para o resultado obtido na equação (44), quando analisada a situação em que anteparo de massa muito maior encontrava-se em repouso.

Outra análise interessante é a que se refere ao valor do fator de conservação de energia. Nesse caso $m_1 \gg m_2$, quando $f = 1$, o termo que multiplica v_{2i} constata-se que v_{2i} se conserva e fica tão-somente a análise do sinal da raiz, cuja velocidade de retorno será igual em módulo, mas de sinais opostos. Da equação (50), pode-se obter:

$$v_{2f} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \left(\frac{m_2 + \sqrt{(m_2^2 + m_1^2 + (m_1 \cdot m_2) - m_2 m_1 - m_2^2)}}{(m_1 + m_2)} \right) \quad (54)$$

Com as simplificações na equação (54), há:

$$v_{2f} = \pm \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \left(\frac{m_2 + \sqrt{m_1^2}}{(m_1 + m_2)} \right) \quad (55)$$

Nelas verifica-se que:

$$v_{2f} = \pm\sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (56)$$

Caso se utilize a conservação do momento linear do sistema, determina-se o valor da velocidade do corpo um, que, nesse caso é a Terra, através da equação (21) e, substitui-se o valor da velocidade inicial e final do objeto, em que $v_{2f} = -v_{2i}$, obtendo:

$$m_1 \cdot v_{1f} + m_2 \cdot (-v_{2i}) = m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i} \quad (57)$$

$$v_{1f} = \frac{m_1 \cdot v_{1i} + 2 \cdot m_2 \cdot v_{2i}}{m_1} \quad (58)$$

$$v_{1f} = v_{1i} + \frac{2 \cdot m_2 \cdot v_{2i}}{m_1} \quad (59)$$

Através da equação (59), observa-se que o seu valor é muito pequeno, pois $v_{1i} = 0$, e massa $m_1 \gg m_2$, então $\frac{m_2}{m_1} \cong 0$, zerando, assim, a equação (59).

Outra análise é quando há $f = 0$. Para essa considera-se a partir da equação (50).

$$v_{2f} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \left(\frac{m_2 + \sqrt{(m_2^2 - m_2 \cdot (m_1 + m_2))}}{(m_1 + m_2)} \right) \quad (60)$$

Verifica-se, nesse caso, que o radicando será negativo. Como trabalha-se com o conjunto dos números reais, esse resultado é inexistente, como se pode constatar na equação (61):

$$v_{2f} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \left(\frac{m_2 + \sqrt{-m_2 \cdot m_1}}{(m_1 + m_2)} \right) \quad (61)$$

Ao substituir na equação (54) o f_{min} , na equação (53), obtém-se:

$$v_{2f} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \left(\frac{m_2 + \sqrt{\left(m_2^2 + \frac{m_2}{(m_1+m_2)} \cdot m_1(m_1+m_2) - m_2 \cdot (m_1+m_2)\right)}}{(m_1+m_2)} \right) \quad (62)$$

$$v_{2f} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \left(\frac{m_2 + m_2 \cdot \sqrt{2}}{(m_1+m_2)} \right) \quad (63)$$

Como $m_1 \gg m_2$ que o denominador da equação (63) é muito maior que o numerador, implica que $v_{2f} \cong 0$. Há, nesta situação, uma colisão perfeitamente inelástica. Nada do que se discutiu até aqui foi identificado em nenhum livro-texto.

5 METODOLOGIA

A metodologia utilizada na presente pesquisa foi desenvolvida a fim de possibilitar a identificação das possíveis modificações nos *drivers* existentes principalmente para *drivers* hiperculturais, que estejam relacionados com a simulação de colisões. Esta proposta metodológica busca também identificar modificações na estrutura cognitiva dos estudantes, relacionadas com o uso das simulações de colisões, o que caracterizaria a aprendizagem significativa. Dessa forma, a estrutura da metodologia possui um desenho que identifica as modificações dos *drivers*, principalmente para *drivers* hiperculturais, e que os relacionem com aprendizagem significativa dos conceitos envolvidos.

A ideia desta proposta constitui a aplicação de simulações de colisões na disciplina de Física, Mecânica I, cujo conteúdo constata a contribuição destas simulações para a aprendizagem significativa. A proposta foi desenvolvida após a conclusão da aula tradicional de colisões, com a aplicação de um questionário inicial. Logo a seguir realizada uma entrevista, em que esse conjunto de dados foi denominado de coleta de dados inicial; a realização das simulações de colisões; novamente a aplicação de um questionário e, finalmente, uma entrevista, concluindo, dessa forma, a coleta de dados final.

Um teste-piloto foi aplicado inicialmente com um grupo de estudantes de engenharia, que, após a aplicação e análise dos resultados, a estrutura da proposta passou por profundas modificações, a fim de deixar com características qualitativas e uma melhor exploração da simulação referente aos conceitos de colisões.

5.1 TESTE-PILOTO

Nesta pesquisa, utiliza-se o teste-piloto como material auxiliar na elaboração da atividade definitiva. Realizou-se, também, uma entrevista gravada após a execução dos testes, onde cada estudante, individualmente, relatava como havia resolvido o teste, de forma detalhada (*Report Aloud*). Esta entrevista foi a principal fonte de dados, tanto para análise dos discursos dos estudantes, como para análise dos gestos produzidos pelos estudantes durante as entrevistas. A metodologia, portanto, é do tipo microetnográfica (ERICKSON, 1992). Com

essa forma de coleta de dados, há diversas formas para verificar a influência de duas simulações de colisões na aprendizagem significativa de colisões, que são: registro escrito, registro verbal e registro dos gestos realizados durante as explicações.

As simulações utilizadas contemplavam a colisão na vertical de uma esfera que colide com o solo; e a segunda colisão, na horizontal, basicamente de uma esfera em repouso e outra em movimento. Para cada uma das simulações havia um roteiro estruturado no formato P.O.E. (*Predict-Observe-Explain*).

O teste-piloto foi desenvolvido em uma turma de Física, Mecânica I, da Universidade Luterana do Brasil, em Canoas, basicamente constituída de estudantes de Engenharia, com a participação de sete estudantes que realizaram a coleta de dados inicial, simulação, coleta de dados posterior, considerados como turma experimental; e de três estudantes que apenas realizaram coleta de dados inicial e coleta de dados posterior, sendo considerados como turma controle. Todos os dez estudantes dos dois grupos foram entrevistados na coleta de dados inicial e na coleta de dados posterior.

Após a conclusão, foi possível identificar situações que deveriam ser revistas para futura aplicação. A primeira modificação a ser implementada ocorreria nos dois testes (coleta de dados inicial e coleta de dados posterior), pois continham questões inspiradas em uma metodologia quantitativa, quando os estudantes deveriam realizar os cálculos de energia cinética, potencial ou momento linear. Como a análise que se pretende realizar é microetnográfica, modificaram-se os dois testes, deixando-os apenas com questões qualitativas, porém isso não significa que o estudante não poderia resolvê-las quantitativamente. Consideram-se questões qualitativas as que possuem uma abordagem conceitual, enquanto as questões quantitativas aquelas em que, para sua solução, é necessária a utilização de algoritmos que envolvem resolução de problemas através de cálculos.

Outro ponto identificado que deveria sofrer modificações foram os roteiros, pois, assim como os questionários inicial e final, tinham uma abordagem mais quantitativa, cujas questões necessitavam de algum algoritmo em sua resolução (realização de cálculos semelhantes aos que realizou em sala de aula). Modificou-se a abordagem, a fim de deixar os roteiros com característica mais qualitativa, isto é, as questões passaram a ser conceituais.

Finalmente, as simulações deveriam ser refeitas, pois a versão utilizada rodava apenas em *Windows 32 bits*, já que era incompatível com equipamentos de versões superiores. Com isso reelaboraram-se as duas simulações. Para tanto, levou-se em consideração muitos pontos

que deveriam ser mais explorados nas simulações. Para a velocidade, utilizaram-se vetores nas esferas que indicassem o vetor velocidade; para as energias foi empregada uma barra de nível para cada uma das energias.

Além disso, foram utilizados vetores para indicar o momento linear, fornecimento dos valores na tela da simulação das velocidades, posição, altura, a trajetória da bola e das esferas antes e após a colisão.

5.2 APLICAÇÃO DA PROPOSTA

Após as modificações realizadas a partir da análise do teste-piloto, elaboraram-se dois roteiros: um para a utilização da simulação da colisão da bolinha com o solo, ao abordar os conceitos de velocidade, energia cinética, energia potencial gravitacional e energia mecânica total; o outro, por sua vez, para a utilização da colisão entre duas esferas na horizontal. Neste caso, consideram-se os conceitos de velocidade, energia cinética de cada uma das esferas, energia cinética total do sistema e o momento linear de cada um e do sistema.

Após a conclusão das simulações e dos roteiros, aplicou-se novamente um teste com um estudante do curso Licenciatura em Física, que realizou todas as etapas, cronometradas. Durante a realização dos roteiros, foram identificados possíveis problemas de interpretação, problema conceitual ou erros de digitação. Após a realização das duas simulações, nas quais foi utilizado o roteiro, identificou-se que o tempo de uma aula (três horas) seria suficiente para a realização das simulações. Este segundo teste-piloto foi importante, pois a partir dele se teve a noção concreta do tempo de aplicação dos questionários, bem como do tempo para a realização das duas simulações com a utilização dos roteiros. Além disso, foram constatados alguns problemas em relação aos instrumentos utilizados.

Foram realizadas algumas modificações sugeridas pelo estudante, especialmente no roteiro, sobretudo no que se refere à interpretação e aos acréscimos de alguns questionamentos, principalmente com relação à segunda atividade quanto ao *momentum*. O estudante achou o segundo roteiro mais cansativo, particularmente a última questão, que exige a realização da simulação para diferentes valores da massa. Porém, optou-se por deixar estas questões inalteradas, porque considera-se importante o estudo de colisões com diferentes

valores das massas. Os questionários não sofreram modificações, pois, conforme o estudante, os questionamentos estavam bem objetivos e de fácil interpretação.

5.3 INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Os instrumentos utilizados nesta pesquisa para coleta de dados constituem questionários aplicados anteriores e posteriores à simulação e às entrevistas, para avaliar as possíveis alterações que possam ter ocorrido na estrutura cognitiva do estudante. Além dos instrumentos apresentados anteriormente, também foram aplicados os roteiros das duas simulações utilizadas pelos estudantes. Estas foram as cinco formas de coleta de dados que foram utilizadas nesta pesquisa. A seguir, discute-se cada uma destas formas de coleta de dados.

5.3.1 Questionário inicial e questionário posterior

A elaboração tanto da coleta de dados inicial quanto da coleta de dados posterior está associada à observação de uma evolução conceitual de energia e ao momento linear relacionados com colisões. Para isso foram confeccionados os dois questionários com questões semelhantes (Apêndices A e B), a fim de que se possa comparar a possível evolução cognitiva que os estudantes venham a ter após a utilização das simulações. As questões caracterizam-se por serem perguntas abertas e também não exigirem a utilização de cálculo para a sua resolução. Todas as questões eram possíveis de serem respondidas apenas conceitualmente. Dessa forma, deu-se liberdade aos estudantes para a resolução das questões, isto é, eles poderiam escolher a forma que achavam mais conveniente, cujas respostas poderiam ser dadas através de conceitos, esquemas, fórmulas, ou com a combinação destas formas. Cabe, ainda, ressaltar que os questionários foram instrumentos auxiliares que complementaram as entrevistas realizadas com os estudantes.

Questionário inicial

O que se pretende através da aplicação do questionário inicial (Apêndice A) é a avaliação das concepções dos estudantes acerca dos conceitos relacionados com colisão elástica. Nele, aborda-se uma questão referente à situação da queda de uma esfera de massa igual a 1 kg, de uma altura de 2m, considerando uma colisão elástica com o solo. Assim, questionou-se o que iria acontecer com a energia cinética, com a energia potencial gravitacional, com a energia total, com a velocidade e altura da esfera. Esta questão também serviu como situação inicial para as entrevistas realizadas posteriormente, pois nelas indagaram-se outros desdobramentos relacionados com colisão inelástica, com colisão perfeitamente inelástica e colisão superelástica, em relação aos mesmos conceitos apresentados anteriormente.

A segunda questão utilizada na coleta de dados inicial foi a da colisão entre duas esferas na horizontal de forma elástica. Focou-se no que iria acontecer com as energias cinéticas de cada uma das esferas e a com o momento linear. Durante as entrevistas, indagou-se o comportamento destas duas esferas para que a colisão fosse inelástica, perfeitamente inelástica ou superelástica.

As duas últimas questões solicitavam que os estudantes explicassem os conceitos de conservação de energia e conservação do momento linear a outro colega. Nestas duas questões, o principal objetivo era verificar quais as concepções destes estudantes quanto às leis de conservação de energia e de momento linear.

Questionário posterior

No questionário posterior, foram elaboradas questões semelhantes às realizadas com o questionário inicial, para que, a partir da realização delas, se pudesse realizar uma comparação sobre as possíveis modificações que os estudantes tivessem acerca do conceito de colisões, energia e momento linear. Optou-se pela utilização de questões semelhantes e não iguais, buscando evitar que as respostas fornecidas no primeiro questionário fossem apenas repetidas no segundo. As questões eram todas abertas, pois o estudante novamente respondia

como achava mais conveniente, através das suas concepções. A primeira questão era semelhante à primeira do questionário inicial, porém se modificou um pouco o seu enunciado, considerando agora a queda de uma esfera do alto de um prédio. A segunda questão assemelhava-se à segunda do questionário inicial, a fim de analisar a situação da colisão entre dois carros na horizontal. As duas últimas questões repetiram as mesmas do questionário inicial.

Roteiros

Para cada uma das simulações foi elaborado um roteiro cuja abordagem contemplasse diversas situações, diferentes formas de colisão. O roteiro da primeira simulação encontra-se no Apêndice C, e o segundo roteiro referente à simulação da colisão frontal encontra-se no Apêndice D. A metodologia utilizada na elaboração dos roteiros está fundamentada no método P.O.E. (*Predict-Observe-Explain*), cujo significado é prever-observar-explicar (TAO; GUNSTONE, 1999). Em todas as situações apresentadas aos estudantes, eles deveriam realizar a sua previsão, que ficaria registrada no roteiro. Também, os alunos deveriam realizar a simulação e registrar novamente no roteiro, para que, finalmente, comparassem os dois resultados. Esta metodologia leva os estudantes a refletir sobre a situação que está sendo simulada, frente às suas concepções.

Os roteiros foram elaborados levando em consideração os resultados referentes às concepções alternativas dos estudantes em colisões, do trabalho de GRIMELLINI-TOMASINI et al, (1993). Outro ponto considerado na elaboração do roteiro foi o tempo necessário para execução da tarefa, pois, pelo planejamento, havia apenas uma aula com duração de 3h para a execução de toda a atividade.

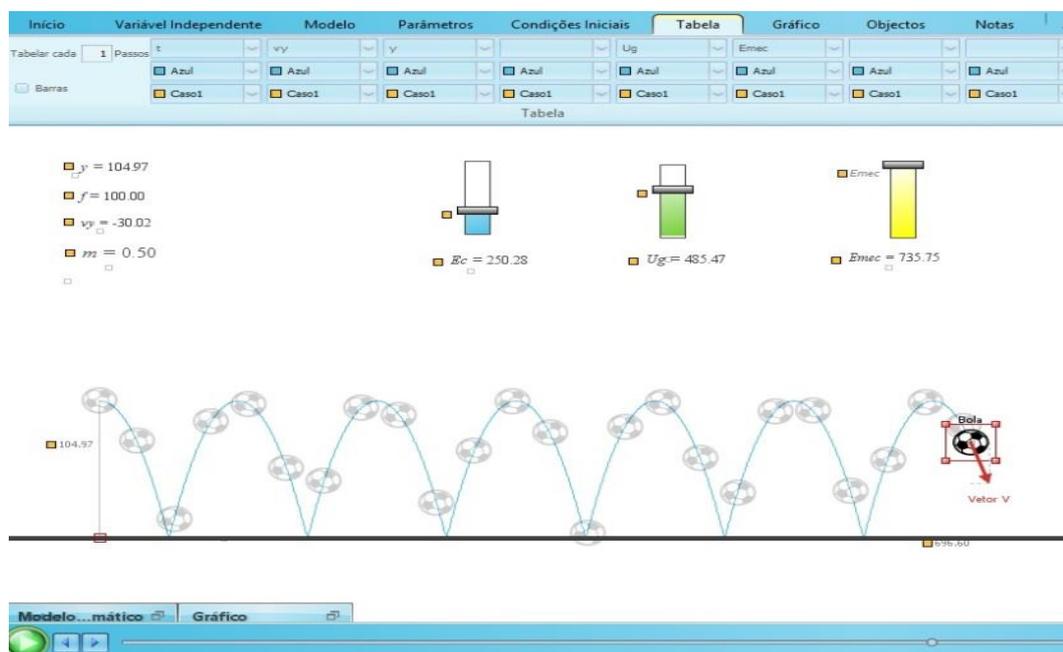
Nos dois roteiros, as questões abordariam situações que estivessem mais relacionadas com a análise conceitual, do que com a utilização de algoritmos para a sua resolução. Todas as questões eram abertas, para cujas resoluções o estudante poderia utilizar conceitos, diagramas, fórmulas para resolver, que contemplassem os três momentos: prever-observar-explicar, conforme o método P.O.E. Os dois roteiros continham informações básicas de utilização das simulações, apresentados antes de iniciar a realização das mesmas.

O primeiro roteiro era composto de cinco atividades, em que todas as questões

analisavam a trajetória, a energia cinética, a energia potencial gravitacional, a energia mecânica da bola durante a sua subida e descida e, no momento da colisão, verificar-se-ia o que aconteceria com a energia potencial gravitacional, a energia cinética e a energia mecânica. Estes mesmos itens deveriam ser analisados durante a simulação, para que, finalmente, o estudante realizasse uma comparação entre o que ele previu com o que foi simulado.

A primeira questão considerava o abandono de uma bola verticalmente de certa altura, que iria colidir com o solo de forma elástica. Para isso, o estudante possuía informações que deveriam ser implementadas nos parâmetros da simulação, em que pode-se destacar a massa da bolinha e, principalmente, o fator de conservação, que, para esse caso, considera-se $f=100\%$. Nesta situação, a altura de retorno deverá ser igual à altura de onde foi abandonada a bolinha. Na figura 6 há uma imagem da tela para simulação da primeira questão abordada pelo roteiro.

Figura 6 - Tela da primeira simulação do roteiro, de uma situação de colisão elástica com solo



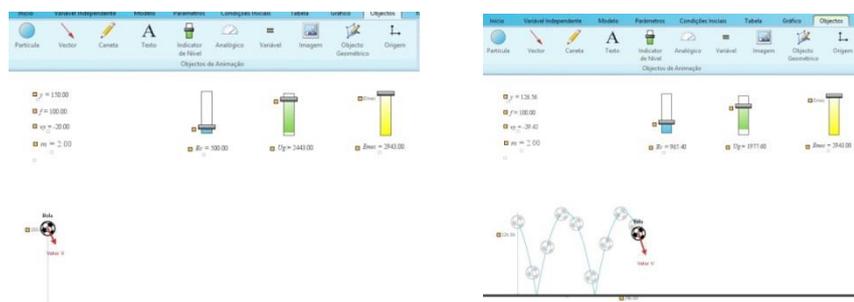
Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).

A segunda questão deu continuidade à primeira. Nela, foi alterado apenas o valor da massa da bola em quatro vezes em relação à simulação anterior. Para tal situação, a trajetória da bolinha é a mesma da Figura 3, porém com diferentes valores das energias. O objetivo desta simulação era que o estudante percebesse que a alteração da massa não influencia na trajetória da bolinha, apenas na sua energia.

Na terceira questão, há a situação em que a bolinha seria lançada para baixo, ou seja, desde o início do sistema já possuía energia cinética, que a levasse à colisão com o solo de forma elástica. Nesta situação, a altura de retorno após o primeiro quique é maior, mantendo esta altura após as demais colisões com o solo.

Com relação às energias, a bola mantém a energia mecânica que possui inicialmente, pois, no instante inicial, possui energia cinética e energia potencial, como se pode ver na primeira imagem da figura 7, na barra de nível azul. Na segunda imagem, há a simulação em um instante após duas colisões com o solo, em que se pode verificar que, após a primeira colisão, há um ganho na altura e que após se mantém.

Figura 7 - Primeira imagem referente à situação inicial da terceira questão, onde já possui energia cinética

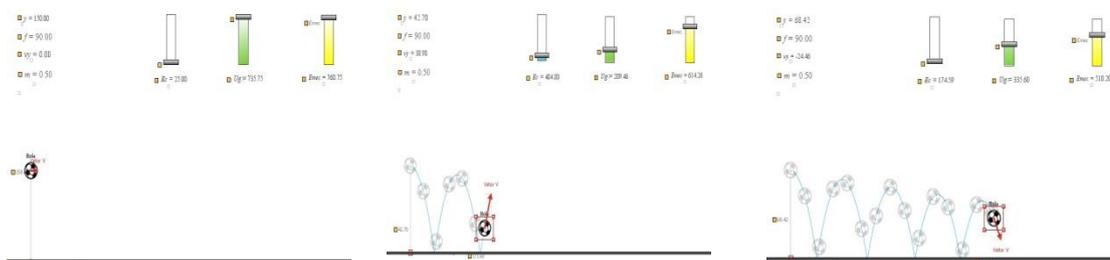


Fonte: Primeira simulação, o autor (2015)

Na quarta situação aborda-se a colisão inelástica com o solo. Para isso, consideram-se as mesmas informações da primeira questão para a massa, velocidade inicial e altura, porém com o fator conservação de energia igual a 90%. Dessa forma, tem-se uma situação que, a cada colisão com solo, será conservado 90% da energia anterior, dissipando os outros 10%. Há um movimento que, a cada quique com o solo, a altura de retorno será menor que a anterior.

A Figura 8 representa imagem da tela da simulação para a quarta situação, onde se pode perceber que a trajetória da bolinha sofre redução a cada quique com o solo, e a energia mecânica sofre uma redução. Na primeira imagem há o instante inicial com a energia mecânica no seu valor de máximo; na segunda imagem verifica-se que, após duas colisões com o solo, já existe dissipação de energia mecânica, que pode ser percebida na barra de nível amarela; na terceira imagem, há maior redução na barra de nível e constata-se que a trajetória da bolinha está reduzindo.

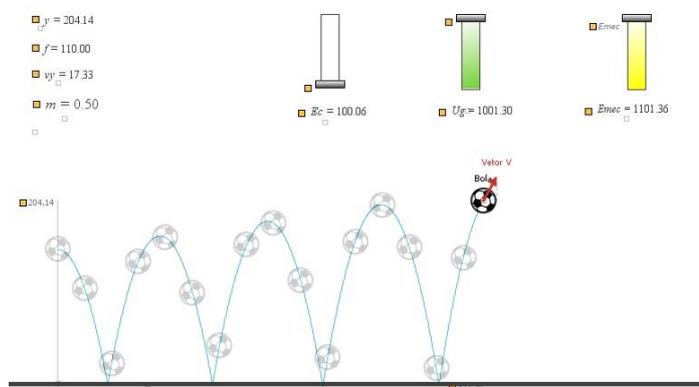
Figura 8 - Simulação de uma colisão inelástica com o solo, representada em três instantes diferentes



Fonte: Primeira simulação, o autor (2015)

Na quinta questão aborda-se a situação em que haveria um ganho na energia cinética do sistema após cada colisão. Para isso, foram utilizadas as mesmas condições da primeira questão, com a modificação apenas do fator de conservação de energia, cujo valor é de 110%. Para essa situação, a trajetória da esfera aumentará a cada quique com o solo, ganhando altura, conforme se verifica na figura 9. Exemplo à explosão de uma granada.

Figura 9 - Imagem da simulação de colisões superelásticas



Fonte: Primeira simulação, o autor (2015)

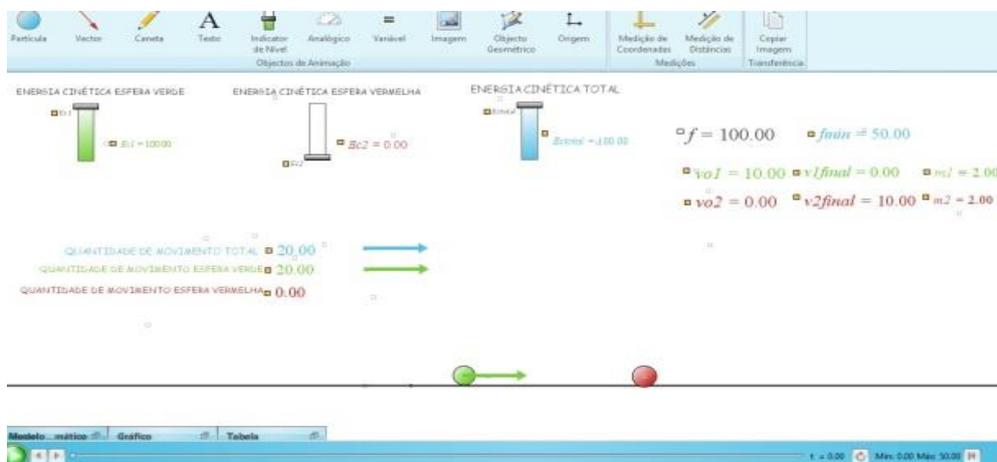
O segundo roteiro foi elaborado para a utilização da simulação da colisão das duas esferas horizontalmente. Ele é constituído de seis questões, que abordam os diferentes tipos de colisão com algumas variações. A estrutura utilizada neste roteiro segue o mesmo padrão do primeiro roteiro, a estrutura P.O.E. (*Predict-Observe-Explain*), em todas as questões. Cada uma das questões tinha como base a análise do momento linear de cada uma das esferas, momento linear total do sistema, a energia cinética de cada uma das esferas, a energia cinética total do sistema e a característica do movimento.

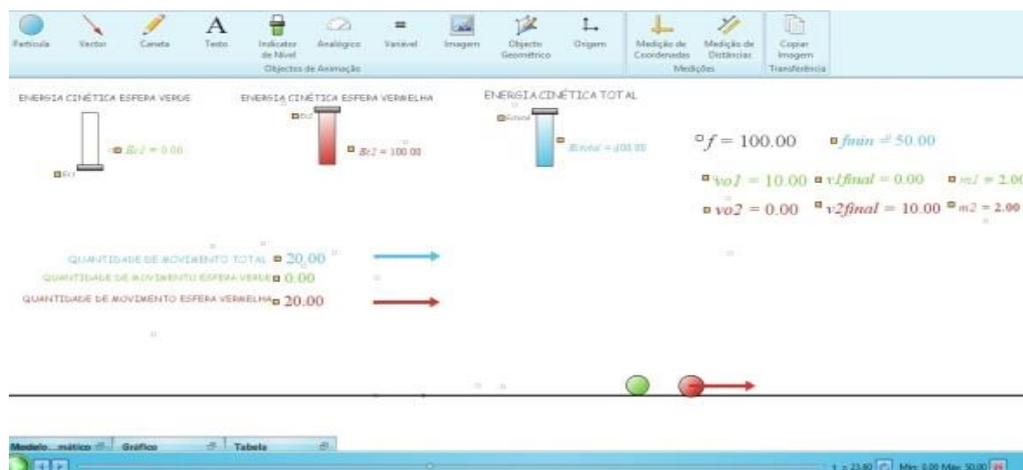
Em todas as questões, como condição inicial, a esfera verde estaria em movimento e a vermelha em repouso. Como parâmetros, tem-se as massas e a velocidade das esferas, a distância que separa as duas esferas, além do fator de conservação de energia. Em cada uma das questões, no item verificação, havia os parâmetros que deveriam ser utilizados na simulação, bastava que o estudante os inserisse na simulação, conforme orientação do roteiro.

A primeira questão do segundo roteiro abordava a colisão entre duas esferas de massas iguais, porém uma em repouso e outra em movimento, que colidissem de forma elástica. O principal objetivo desta questão era que o estudante compreendesse que, nas colisões elásticas, há conservação de energia cinética e de momento linear. Como característica do movimento, a esfera que estava inicialmente em repouso passaria a se deslocar com a mesma velocidade da esfera que estava em movimento e entraria em repouso. Com relação às energias, pode-se dizer que a energia da esfera que estava em movimento será transferida integralmente para a esfera que está em repouso, acontecendo, assim, a mesma situação com relação ao momento linear.

A seguir, a figura 10, mostra dois momentos, antes e após a colisão. Observa-se que a barra de energia da esfera verde que, inicialmente estava preenchida (imagem 1 da figura 10) passou a ficar vazia (imagem 2 da figura 10); enquanto a barra de energia total, em azul, permaneceu inalterada. Também é importante observar o momento linear, para verificar que, na primeira imagem da figura 10, os vetores verde e azul são iguais. Na segunda imagem, os vetores verde e azul são iguais. O vetor azul representa o momento linear total que permanece inalterado.

Figura 10 - A primeira imagem representa o momento antes da colisão elástica, e a segunda, após a colisão elástica



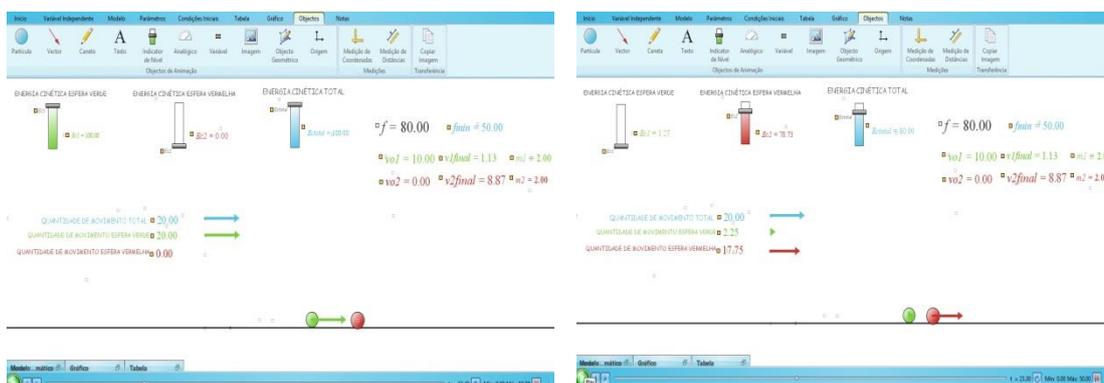


Fonte: Segunda Simulação, o autor (2015).

A segunda questão abordada no roteiro era a de uma colisão inelástica e tinha como objetivo fazer com que o estudante percebesse que, para este tipo de colisão, a energia cinética do sistema não se conservava, mas o momento linear do sistema se manteria. Como parâmetros foram considerados praticamente os mesmos da primeira questão, com exceção do fator de conservação de energia $f = 80\%$, onde 80% da energia cinética do sistema é conservada no momento da colisão. Como característica do movimento, após a colisão, as duas esferas ficarão se deslocando para o mesmo lado; entretanto, a esfera que estava em movimento com velocidade muito menor do que a esfera que estava em repouso.

Na figura 11 há duas imagens da simulação: a primeira antes da colisão, e a segunda após a colisão. Comparando a primeira com a segunda imagem da figura 11, percebe-se que a energia mecânica sofreu uma redução. Quando comparam-se as barras de energia azul, o momento linear total permanece inalterado e há modificações apenas entre os momentos lineares e as esferas.

Figura 11 - Na primeira imagem, a situação anterior à colisão; na segunda imagem, após a colisão inelástica entre as duas esferas



Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

A terceira questão aborda o comportamento de colisão perfeitamente inelástica. Nesta questão o objetivo era que o estudante verificasse que, para esse tipo de colisão, há um mínimo de energia, que é conservada, e mantém o momento linear total inalterado. Para isso, os parâmetros permaneceram basicamente os mesmos das questões anteriores, onde mudou, unicamente o fator de conservação de energia, que passou a utilizar $f = 50\%$, que é o menor valor para conservação do momento linear. O valor do f_{min} depende de vários fatores, como o das velocidades iniciais e o das massas das esferas. Como principal característica deste movimento, os dois corpos que passam a se deslocar juntos com a mesma velocidade.

Na figura 12 verifica-se que a barra de energia azul, que representa a energia total do sistema, sofreu redução, passando a ter apenas 50% da energia inicial. Também se pode constatar que as esferas, após a colisão (segunda imagem), se deslocam juntas, conservando o momento linear total, representado pelo vetor azul, que se mantém inalterado, apesar de cada esfera sofrer alterações.

Figura 12 - A primeira imagem representa a situação anterior à colisão perfeitamente inelástica, e a segunda imagem, a situação posterior à colisão

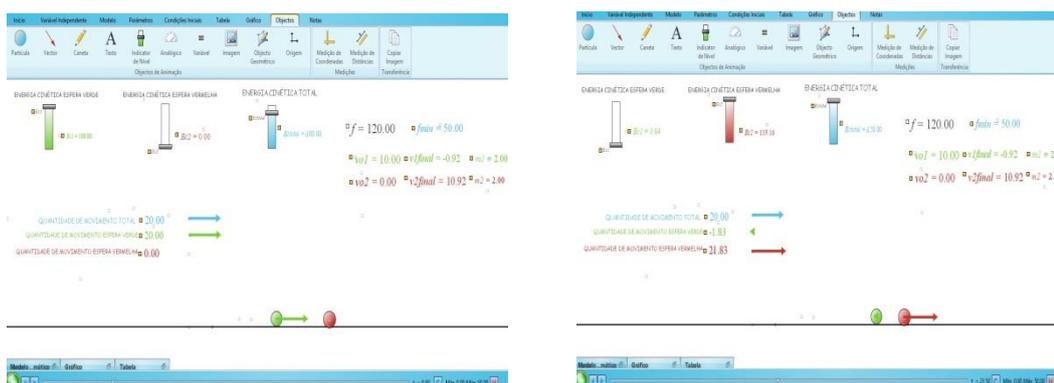


Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

Na quarta questão, considera-se uma colisão superelástica com ganho de energia. O principal objetivo nesta questão é o de que os estudantes percebam que, numa colisão superelástica, há um ganho de energia com a conservação do momento linear do sistema. Para esta situação, mantiveram-se as mesmas condições utilizadas até agora, porém com o fator de conservação de energia igual a 120%; ou seja, na colisão, o sistema ganharia 20% de energia cinética em relação à energia cinética inicial. No movimento após a colisão superelástica, a esfera que estava em repouso vai se deslocar no mesmo sentido da que estava em movimento, e a que estava em movimento vai se deslocar no sentido contrário da que estava se deslocando, modificando os seus momentos lineares, porém com a manutenção do momento linear total.

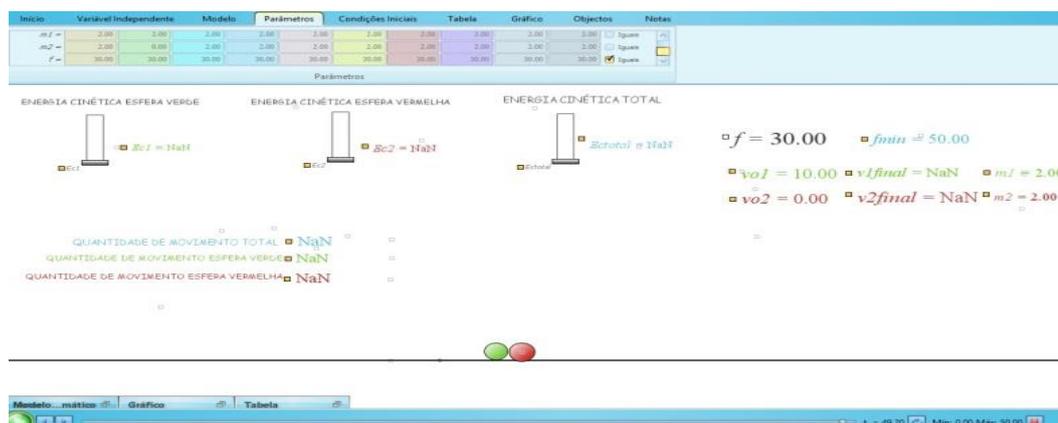
A figura 13 traz a imagem anterior à colisão, e a segunda, após a colisão. Nela percebe-se que o deslocamento, após a colisão das duas esferas, passa a ser em sentido contrário e que há ganho de energia, além de que os momentos das esferas modificam-se, mas o momento linear total permanece inalterado.

Figura 13 - Na primeira imagem, situação anterior à colisão superelástica; na segunda imagem, após a colisão superelástica



Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

Na quinta questão, insere-se uma situação em que não há conservação do momento linear na colisão. Aqui, o objetivo era o de que o estudante concluísse que neste tipo de situação isso não ocorreria, pois estaria infringindo a lei da conservação do momento linear. Além disso, esperava-se que o aluno chegasse à conclusão de que existe um mínimo de energia, que sempre é conservado em qualquer colisão, e, se isso não ocorrer, está em desacordo com a conservação do momento linear. Para isso, estabeleceu-se que o fator de conservação deveria ser inferior ao f_{min} . Ao realizar a simulação com este termo, simplesmente, no momento da colisão, o simulador coloca para todas as várias “NaN”, que significa que não existe número associado a esta situação e que a imagem da tela da simulação fica conforme a figura 14.

Figura 14 - Imagem da tela após colisão quando $f < f_{\min}$ 

Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

Na última questão, foram colocadas situações em que a colisão seria elástica para diferentes tipos de massa da esfera que inicialmente está em movimento. O objetivo era que os alunos verificassem as alterações ocorridas quando modificada a massa de uma das esferas, com relação, principalmente, ao movimento dos corpos.

5.4 PRODUÇÃO DE DADOS

A metodologia ora empregada utiliza a técnica de entrevista *Report Aloud*, através da qual o estudante reporta o seu processo de pensamento enquanto responde às questões, associadas à análise de gestos descritivos e inéditos no ensino de física. Existe uma produção do autor original da análise gestual, Clement (2002, 2006, 2009), porém difere deste trabalho pela utilização da técnica *Think Aloud*. A diferença entre as duas técnicas consiste em que no *Think Aloud* o entrevistador está diretamente buscando identificar o raciocínio, enquanto o estudante realiza as atividades. Neste caso dever-se-ia acompanhar o estudante através de entrevistas enquanto utilizava as simulações.

Considera-se que esta técnica poderia produzir alterações na forma e nos procedimentos adotados pelo estudante, durante a execução da atividade. Por sua vez, a técnica *Report Aloud*, apesar de o pesquisador não saber quais foram os passos utilizados pelo estudante no momento da execução da tarefa, questionou-se sobre quais os processos de execução da atividade. A seguir descreve-se, detalhadamente, como foram estruturadas as entrevistas.

5.4.1 Entrevistas

Na presente pesquisa, talvez o ponto de maior importância na coleta de dados seja a realização das entrevistas semiestruturadas individualmente, antes e após a simulação. As entrevistas foram momentos que possibilitaram a oportunidade de identificar, de forma indireta, as imagens mentais que os estudantes utilizaram durante as suas respostas aos testes e, conseqüentemente, os *drivers*.

Na primeira entrevista, antes da simulação, identificaram-se, na estrutura cognitiva do estudante, quais os *subsunçores* (AUSUBEL, 1969) existentes relacionados ao estudo de colisão. Na entrevista posterior, o objetivo era a identificação das possíveis modificações nos *subsunçores*, a fim de caracterizá-las como aprendizagem significativa, mas também as modificações nos *drivers* que os estudantes utilizaram, para que eles observassem se essas modificações teriam mais características hiperculturais devido à utilização da simulação.

Todos os participantes foram entrevistados nas semanas subseqüentes à realização do questionário inicial e posterior. As entrevistas foram realizadas em horários extraclasses, normalmente no turno da tarde, vespertino e noite. O agendamento das entrevistas ocorria por telefonema, com adequação às disponibilidades dos estudantes. Os estudantes eram convidados a participar da atividade, porém sem que houvesse obrigatoriedade; a seleção dos participantes ocorreu a partir da disponibilidade de participação na atividade.

Todas as entrevistas iniciavam com a leitura da primeira questão e a conseqüente resposta a esta questão – questionário inicial ou posterior. Logo a seguir, o entrevistador passava ao que se chama de desdobramento da questão. A primeira questão abordava a situação de uma colisão com o solo, de forma elástica; portanto, o entrevistador passava a questionar como seria o comportamento do movimento, das energias para outros tipos de colisão, inelástica, perfeitamente inelástica e superelástica. Mesmo nos desdobramentos das questões, o entrevistador tinha como objetivo identificar as imagens mentais que o estudante utilizava para aquela situação e, conseqüentemente, os *drivers* e os *subsunçores*.

Conforme mencionado anteriormente, a técnica utilizada foi *Report Aloud*, em que os estudantes deveriam resolver os problemas, questionamentos, com relatos de quais procedimentos utilizavam na resolução dos problemas. Para isso, eles verbalizavam o que pensavam durante a resolução de um problema. Conforme Brito (2002), esta técnica permite coletar dados que possuem características mais qualitativas, pelas quais se possa obter

protocolos completos que permitirão entender melhor os processos utilizados pelos estudantes nas soluções encontradas.

Da mesma forma, a questão dois, de ambos os questionários, que eram semelhantes, constava da colisão de dois veículos, no que se assemelhava à segunda atividade da simulação. Foram realizados outros questionamentos, com tipos de colisões diferentes da abordada pelo questionário (colisão elástica). Estas variações foram relacionadas com o comportamento das velocidades, energias cinéticas, *momentum*, conforme o tipo de colisão. Além disso, acrescentou-se o questionamento de uma colisão elástica frontal entre dois veículos, entretanto, esta situação não estava contemplada na simulação.

Para melhor aproveitamento das entrevistas, foram elaborados dois roteiros, que se encontram nos Apêndices C e D, que serviram como base; no entanto, isso não significa que foram seguidos de forma fiel, pois cada entrevista teve particularidades, o que conduzia a questionamentos diferentes.

Dentro deste contexto, durante as entrevistas, buscou-se maior aprofundamento referente à identificação dos *drivers* que os estudantes utilizavam em suas respostas. Nas entrevistas, exploraram-se situações em que talvez tenham ocorrido simulações mentais e que identificam as imagens mentais bem como as suas origens, a existência de representações para a velocidade, energia potencial gravitacional, energia cinética, energia mecânica e para o momento linear, além das imagens mentais das colisões. Volta-se a destacar que tais questões foram mais gerais e que, à medida que cada entrevista evoluía, acrescentavam-se novos questionamentos, principalmente na busca da identificação da origem das imagens mentais.

Ao final da entrevista inicial, foram realizadas algumas perguntas referentes ao tempo em que os estudantes já utilizavam computador e qual a frequência de sua utilização, tendo como objetivo identificar se possuía características hiperculturais. Ao final da entrevista posterior, os estudantes eram questionados sobre as mudanças que ocorreram após a utilização da simulação.

5.4.2 Produção de dados e fatores relevantes

Os dados foram obtidos a partir de dois grupos de estudantes, que serão denominados de grupo A e grupo B. O grupo A era composto de três turmas de Física, Mecânica I, da

Universidade Luterana do Brasil, Campus Canoas, do segundo semestre de 2013/2. As turmas estavam distribuídas em três dias da semana, quartas, quintas e sextas-feiras, todas ministradas pelo mesmo professor. Estas turmas eram constituídas por estudantes dos cursos de Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica, Engenharia da Produção, Engenharia Ambiental e Licenciatura em Física: quarenta e seis estudantes participaram da realização dos dois testes escritos, além da simulação; quinze estudantes foram entrevistados na coleta de dados inicial e na coleta de dados posterior; e mais quatro estudantes realizaram apenas a entrevista da coleta de dados posterior. A seleção dos estudantes que realizaram as entrevistas teve como principal critério a disponibilidade de horários, pois muitos estudantes possuem atividade profissional durante o dia, e à noite estudam. Os estudantes do grupo A realizaram as duas simulações no segundo semestre de 2013.

O grupo B foi composto basicamente por estudantes de Engenharia de Produção, Campus São Jerônimo, composto de 42 estudantes de Física Mecânica I. Realizou-se entrevista antes e após a simulação, com 14 estudantes. No grupo B, optou-se por realizar apenas o segundo experimento, pois nas análises prévias realizadas no Grupo A identificou-se que os estudantes tiveram maior dificuldade com este experimento, corroborando com os resultados apresentados por Grimellini-Tomasini et al (1993). A proposta foi aplicada no grupo B, no primeiro semestre de 2014.

As entrevistas realizadas após as simulações se estenderam por duas semanas, já que, além de considerar a disponibilidade dos estudantes, o tempo médio para cada entrevista foi de aproximadamente 35 minutos para os estudantes do grupo A e de 25 minutos para os estudantes do grupo B. Nestas entrevistas o objetivo era o de identificar as imagens mentais que os estudantes utilizavam, relacionando-as com os *drivers*.

Estas entrevistas, apesar da existência de um roteiro, não eram fechadas; ao contrário, em alguns aspectos tornavam-se diferentes para cada estudante, haja vista que, sempre que necessário, eram questionados, em diferentes pontos, para que se identificassem os *drivers*, simulações mentais utilizadas e se houve a ocorrência da aprendizagem significativa, utilizando a técnica *Report Aloud* (BRITO 2002).

Como exemplo, questionava-se o estudante sobre o comportamento da energia cinética à medida que a bolinha caía (primeira questão). Este questionamento era padrão a todos os estudantes; no entanto, conforme a resposta dada pelo aluno ao professor, a entrevista era redirecionada. Caso ele utilizasse gestos e estes não ficassem claros sobre o seu significado, perguntava-se qual o significado e a representação do referido gesto. Quando o estudante

utilizava a expressão “barras”, buscava-se a origem destas barras, pois poderiam ser de origem cultural, da aula pelo professor, ou hiperculturais, da simulação.

A seguir, o exemplo de uma parte da entrevista realizada com estudante A5, na coleta de dados posterior:

Quadro 1 - Trecho da entrevista com o estudante A5

P: Com relação à velocidade, tu falaste que ela vai?
A5: No dia a dia, no caso, ela vai batendo, vai batendo e vai variando [1:46; #MRA] a velocidade, vai diminuindo, no caso, mas com o laboratório lá, com aquelas simulações que a gente fez, ela fica na mesma altura [1:58; #MMA], na mesma velocidade e fica ali batendo, batendo, batendo e fica ali.
P: Ah tá. Então quando tu respondes essa questão, que é uma situação da colisão elástica, tu lembrás lá da simulação?
A5: Agora eu lembrei a simulação.
P: Tu estás vendo exatamente a imagem do computador?
A5: Eu lembrei, estou associando a ela.
P: E, para a velocidade, tu trazés alguma imagem, alguma representação?
A5: Segundo a simulação, a velocidade vai ficar igual, vai ficar [2:31; #MMA] ⁴ , não vai variar.
P: Mas ela sempre cai constante?
A5: Constante.
P: Sempre?
A5: Sempre, segundo a simulação, no dia a dia, a gente sabe que não é.
P:Tá, e o que acontece com a altura na bola que é a questão b?
A5: A altura da bola eu não sei como é que a gente responde, mas...
P: Com relação à colisão elástica.
A5: Ela vai continuar, ela vai permanecer na mesma altura.
P: Na mesma altura?
A5: Na mesma altura, não vai variar, ela vai quicar, mesma altura quica, mesma altura quica. [3:06; #MMA]
P: Tá, A5, quando tu fazes este movimento com a mão, tu estás querendo indicar o que para nós?
A5: A bola batendo no chão àquela altura do prédio [3:18; #MMA, #IA].
P: E quando tu fazes esse movimento, tu estás enxergando a bola?
A5: Estou enxergando a bola em movimento.

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

⁴ Nesta análise de dados codificam-se os principais gestos utilizados pelos estudantes. No Apêndice E há um quadro-resumo dos principais gestos identificados nos estudantes durante a entrevista. Na seção 5.5.1 estes gestos são explicados de forma detalhada, apresentando inclusive exemplos.

5.5 ANÁLISE DE DADOS

Após a realização de todas as entrevistas da coleta de dados posterior, passa-se à etapa de análise de dados. No grupo A houve ao total quinze entrevistas de coleta de dados inicial e coleta de dados posterior e quatro que realizaram apenas a coleta de dados posterior, sendo um total de 325 minutos de entrevista na coleta de dados inicial e 470 minutos de coleta de dados posterior, incluídos os quatro estudantes que somente realizaram a entrevista na coleta de dados posterior, totalizando 795 minutos (13h 15min).

Para o grupo B, em que a entrevista foi em relação a questões dois, três e quatro, ou seja, voltadas mais para a segunda simulação, há um total de 7h 21min (441 min). Ao total, considerando os dois grupos, há 20h 36min (1.236min) de entrevistas. O primeiro passo foi a transcrição de todos os vídeos, pois a análise também utilizaria as respostas verbais utilizadas pelos estudantes. Cada minuto de vídeo levava em média 13 minutos para transcrição e revisão. Este tempo depende da qualidade do áudio e da dicção das pessoas envolvidas, então, apenas para a transcrição dos vídeos, levou-se mais de dez mil minutos.

Nessas transcrições não foi utilizado o nome dos alunos, sendo substituído pela letra “A” e por um número em sequência A1, A2, A3. Os estudantes de A1 até A16 realizaram a entrevista de coleta de dados inicial e coleta de dados posterior, com exceção do estudante A6, que não realizou a entrevista da coleta de dados posterior.

Os estudantes A17 até A20 realizaram apenas a entrevista de coleta de dados posterior. Para o grupo B procedeu-se da mesma forma, considerando a sequência de números, B1, B2, B3.

Após a conclusão do processo de transcrição das entrevistas, passou-se à análise das respostas. A primeira análise realizada foi dos gestos utilizados pelos estudantes enquanto explicavam, posteriormente à identificação dos *drivers* e, por fim, a identificação da ocorrência da aprendizagem significativa. Para a identificação dos *drivers* e para a aprendizagem significativa, foram utilizados também os testes escritos e, quando necessário, os roteiros.

5.5.1 Análise de gestos

Dentre os vários trabalhos pesquisados, relacionados com estudo de imagens mentais e suas relações com os gestos realizados, verifica-se a situação em que o estudante gesticula enquanto explica; por outro lado, observam-se outras situações em que o estudante utiliza apenas gestos em suas explicações e, finalmente, pela repetição do processo, a incorporação de regras durante a resolução de problema, com a diminuição significativa do número de gestos utilizados ao resolver o problema.

Clement (1994b) descreve a situação em que os estudantes utilizam gestos ao explicar o comportamento da deformação de duas molas, feitas de mesmo material, porém com diâmetros diferentes. Para compreender as imagens mentais que o estudante utiliza juntamente com a fala, o autor analisa também os gestos definidores, chamados gestos descritivos.

Além disso, Clement considera dois tipos básicos de gestos: os que descrevem imagens mentais dinâmicas, que são imagens mentais de situações que estão em movimento, e os gestos relacionados com imagens mentais estáticas, imagens de situações que se encontram em repouso.

Os gestos que acompanham o primeiro grupo, de forma geral, conforme Clement (1994b), indicam o movimento, como por exemplo, o gesto realizado para indicar a queda de um corpo. O segundo grupo são os dos gestos que não indicam a movimentação do corpo, isso não significa que venham a ser gestos estáticos, já que poderá ocorrer, por exemplo, alguma movimentação com as mãos; contudo, esta ocorrência poderá acontecer limitadamente, como os gestos realizados para descrever o formato de uma bola.

Clement (1994a), em outro trabalho, aponta que existem processos cognitivos cujas imagens mentais são expressas somente através de gestos (descritivos), sem a utilização da verbalização, isto é, com a utilização de gestos que descrevam as imagens e simulações mentais. Clement (2006) afirma que os gestos descritivos são expressões significativas e essenciais ou estratégias de raciocínio, e não apenas traduções de expressões.

A internalização de uma situação a partir de formação de regras reduz o número de gestos realizados pelos estudantes. Esse resultado foi apresentado por Schwartz e Black (1996), quando realizaram um trabalho que demonstraria como as pessoas partem de um

modelo para regras gerais, que utilizam situações de engrenagens, cujos participantes deveriam prever o movimento das engrenagens conforme a situação. Cada participante teve de responder doze situações diferentes. Como coleta de dados, ele utilizou as respostas verbais e os gestos utilizados pelos participantes em suas respostas. Os dados foram obtidos a partir de entrevistas realizadas com os participantes, quando estes deveriam descrever o que estavam pensando enquanto resolviam as situações apresentadas.

Verificou-se que, quando os estudantes utilizavam regra para determinação do sentido de rotação, o tempo foi bem inferior na realização da atividade e, por conseguinte, não houve utilização de gestos.

A interpretação dos gestos pode fornecer informações que não se consegue identificar apenas através da fala. Krauss et al (1991) afirmam que gestos e fala transmitem informação semântica, sem que tais recursos empregados durante a explicação sejam completamente redundantes, isto é, a informação transmitida gestualmente está relacionada com a transmitida verbalmente, sem que ambas devam ser necessariamente a mesma informação. Se alguém tem ideia do que um gesto pretende significar, provavelmente não será difícil pensar como relacionar tais movimentos com este significado. Algumas destas “derivações” podem ser concretas; outras, entretanto, podem ser ilusórias. A relação gestual, para formar significado, é demasiado frágil para que sejam interpretados quando há ausência de fala.

Os referidos autores consideram que os gestos podem auxiliar na transmissão de informação sempre que houver dificuldade de expressão verbal. Porém, Krauss et al (1991) consideram que a baixa qualidade das informações transmitidas pelos gestos do nosso corpo nos leva a duvidar de que isso aconteça frequentemente.

Neste trabalho, em particular, analisam-se os gestos a fim de conseguir uma melhor interpretação das imagens mentais que os estudantes utilizam enquanto respondem. Aqui consideram-se os gestos como uma linguagem própria, e não um complemento da linguagem verbal; pelo contrário, a união destes dois recursos é considerada importante ferramenta na identificação das imagens mentais.

Pela metodologia, não se detém nos gestos que são realizados concomitantemente com a fala, sem preterir os gestos realizados independentemente da fala. Contudo, observa-se que o número de situações em que ocorrem gestos concomitantes com a linguagem oral é superior aos gestos realizados dissociados entre a linguagem verbal.

Após análise geral dos vídeos, verificou-se a existência de alguns padrões de gestos,

que eram realizados por mais de um estudante. Dessa forma, elaborou-se uma classificação dos principais gestos realizados, através de uma sigla que, posteriormente, seria utilizada nas transcrições para indentificar a realização de gestos, juntamente com o momento do vídeo em que este gesto foi realizado. A referida classificação foi dividida, basicamente, em três tipos: gestos associados com a primeira simulação, gestos associados com a segunda simulação e os que são associados às duas simulações.

Na classificação dos gestos, colocou-se, também, a indicação do possível tipo de imagem mental que o estudante utiliza, ou seja, imagem mental dinâmica ou imagem mental estática.

Gestos associados à primeira simulação

#OS – Objeto subindo. Movimento da mão (esquerda ou direita) que indica o movimento de subida de um objeto. Imagem mental dinâmica.

Figura 15 - Representação de um objeto subindo. Com a mão esquerda o estudante indica que objeto está subindo. Na primeira imagem momento em que objeto inicia a subida; na segunda imagem objeto subindo; terceira imagem atingindo o ponto máximo da trajetória



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#OCS – Objeto caindo e subindo. Realiza movimento com as mãos, a fim de indicar movimento de subida e descida, sem que esteja preocupado com altura de retorno, mas colidindo, quicando no solo. Imagem mental dinâmica.

Figura 16 - Representação de um objeto caindo e subindo. Na primeira imagem indica movimento inicial de subida; segunda imagem objeto atingindo ponto máximo da trajetória; terceira imagem objeto retornando para o solo



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#AO – Abandono de objeto. Movimento com a mão que indica o abandono de um objeto que irá cair, soltando, pois, o objeto em queda livre. Imagem mental dinâmica.

Figura 17 - Representação de abandono de um corpo. Na primeira imagem o estudante representa que está segurando o objeto, e na segunda imagem indica o abandono do objeto, enquanto abre a mão



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#MRA – Movimento indicativo de redução altura após colisão. Movimento com a mão que indica descida, colisão com o solo e retorno a uma altura inferior a de lançamento, sem deslocamento na horizontal. Imagem mental dinâmica.

Figura 18 - Gestos indicando a redução da altura de retorno. Na primeira imagem, o momento que inicia o movimento, o ponto mais alto da trajetória. Na segunda imagem, o momento da colisão com o solo; na terceira imagem, altura de retorno, inferior à primeira imagem.



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#MMA - Movimento indicativo de manutenção da altura após a colisão. Movimento com a mão que indica o movimento de descida, colisão com solo e retorno à mesma altura em que o corpo foi abandonando, sem deslocamento na horizontal.

Figura 19 - A primeira imagem indica a posição inicial; a segunda imagem, o momento da colisão e a terceira imagem, retornando na mesma altura



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#MQP – Movimento de queda do corpo que fica parado. Movimento com as mãos que indica queda do corpo que, após a colisão, ficará parado no solo. Imagem mental dinâmica.

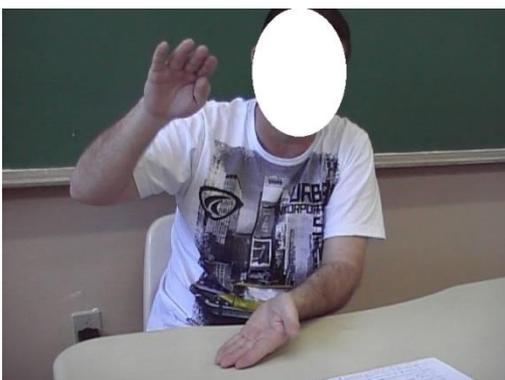
Figura 20 - Movimento com a mão indicando que corpo colide e fica parado. Na primeira imagem momento em que objeto é abandonado; segunda imagem objeto caindo e terceira imagem objeto colidindo com solo



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#IA – Indicação de altura. Gesto que indica a altura do objeto. Imagem mental estática.

Figura 21 - Gesto representando altura



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Gestos associados à segunda simulação

#IC – Indicação de Colisão. Gesto com as duas mãos indicando a colisão. Imagem mental dinâmica.

Figura 22 - As duas mãos indicam uma colisão entre os corpos



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#CFJ – Colisão frontal na horizontal e permanecem juntos. As duas mãos deslocando-se em sentidos opostos, quando há representação dos objetos que colidem e permanecem juntos. Imagem mental dinâmica.

Figura 23 - Colisão das mãos que permanecem juntas após a colisão



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#CFS – Colisão frontal na horizontal e separam após a colisão. As duas mãos deslocando-se em sentidos opostos representando os objetos que colidem frontalmente e, após a colisão, permanecem deslocando-se em sentidos opostos, cuja mão (esquerda), que se deslocava no sentido da esquerda para a direita, passa a se deslocar no sentido da direita para esquerda. A mão direita realiza o movimento no sentido contrário. Imagem mental dinâmica.

Figura 24 - Indicação de colisão frontal. Após a colisão os corpos passam a se deslocar em sentidos opostos. Na primeira imagem, as duas mãos deslocando-se em sentido oposto; a segunda indica a colisão; na terceira imagem se deslocam em sentidos opostos



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Geral

#BEA – Barras de energia alterando. Com as mãos, indica a variação dos níveis de energia nas barras; enquanto uma mão indica energia cinética, a outra, a energia potencial gravitacional. Imagem mental dinâmica.

Figura 25 - Gestos indicando as barras de energia variando. Na primeira imagem a mão direita está abaixo da mão esquerda; segunda imagem as duas mãos no mesmo nível; terceira imagem indica que o nível de energia representado pela mão direita é superior ao da mão esquerda



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#BEE – Barras de energia estática. Com a mão fixa, indica o nível de energia da barra se variação ou semelhante conforme contexto. Imagem mental estática.

Figura 26 - Representação da barra de energia estática. Primeira e segunda imagem são semelhantes, onde a barra de energia é representa pela distância entre os dedos polegar e indicador



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

#RO – Representação do formato do objeto. Com as mãos, representa o formato do objeto descrito. Imagem mental estática.

Figura 27 - Gestos representando objeto, que nesse caso é a esfera que está caindo



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

5.5.2 Identificação dos gestos

Com a identificação dos principais gestos realizados pelos estudantes, conforme mencionado anteriormente, passa-se a analisar, detalhadamente, os gestos realizados por cada um dos estudantes nas duas entrevistas. Na análise do vídeo, ao identificar determinado gesto, registrava-se a transcrição correspondente ao momento em que ele realizou o gesto, bem como o instante em relação ao vídeo em que este gesto foi realizado. Poucos gestos não se encaixavam na classificação, para esses casos realizava-se uma pequena descrição dos gestos utilizados pelo estudante.

5.5.3 Identificação dos *drivers* e hipótese de ter ocorrido aprendizagem significativa

Após a conclusão da análise dos gestos realizados pelos estudantes, procede-se à identificação das possíveis imagens mentais utilizadas durante as respostas dos mesmos. Esta identificação é necessária para a verificação dos possíveis *drivers* que os estudantes utilizavam em suas respostas. Para isso, analisam-se os vídeos juntamente com as transcrições e os gestos realizados, para identificar as imagens mentais utilizadas. A análise dos gestos colabora significativamente para a identificação das imagens mentais.

Identificadas as imagens mentais, tornou-se fundamental a verificação de sua origem, porque possibilitaria avaliar o *driver* que estava sendo utilizado, bem como a referida classificação, já mencionada, conforme apresentado no capítulo da Fundamentação Teórica: psicofísico, sociocultural e hipercultural. A identificação da imagem mental, juntamente com a sua origem, foi fundamental para a identificação dos *drivers*, mas é importante ressaltar que não se considera a imagem mental como *driver*, e sim como parte do processo cognitivo do estudante quando responde a um problema.

Outro processo realizado foi a identificação da ocorrência da aprendizagem significativa. Para isso analisaram-se os conceitos que os estudantes apresentavam em suas respostas na coleta de dados inicial, comparando as respostas fornecidas com o mesmo tópico na coleta de dados posterior. Dividiu-se o trabalho em dois tipos de análise: a microscópica e a macroscópica.

Na análise microscópica, analisa-se cada estudante individualmente, a fim de identificar as imagens mentais para cada estudante, com associação dos gestos realizados com os seus discursos, para apresentar os resultados que indicam aprendizagem significativa e as possíveis relações.

A partir dos resultados microscópicos, realiza-se a análise macroscópica, ou seja, verifica-se a relação entre as alterações dos *drivers* e a respectiva aprendizagem significativa correta. Para isso utiliza-se como recurso o *software Statistical Package for Social Science for Windows* (SPSS), onde determina-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) o coeficiente de determinação (r^2) e a significância (p) entre o número de estudantes que utilizaram *drivers* hiperculturais relacionados com as simulações e tiveram aprendizagem significativa conceitualmente correta, buscando verificar qual a relação entre os hiperculturais com aprendizagem significativa conceitualmente correta. Analisa-se, pois, principalmente, se a mudança do *driver* psicofísico para hipercultural favorece a mudança na estrutura cognitiva dos estudantes, ou seja, a ocorrência da aprendizagem significativa. Para isso utiliza-se a realização de tabelas para os conceitos seguintes:

Para colisão com o solo:

- Altura de retorno da esfera;
- Energia cinética;
- Energia Potencial Gravitacional;
- Energia Mecânica Total.

Para colisão na horizontal

- Movimento dos corpos após a colisão;
- Energia cinética de cada um dos corpos;
- Energia cinética total;
- Momento linear de cada um dos corpos;
- Momento linear total.

Para cada um dos conceitos citados acima, avalia-se a característica do *driver* que o estudante utilizou: se era psicofísico, sociocultural ou hipercultural. Aqui não deteve-se em especificar o *driver*, apenas na sua classificação quanto à forma de mediação.

Concluído o trabalho de identificação dos *drivers* para a avaliação da aprendizagem significativa, em cada conceito apresentado acima, para cada um dos estudantes, passou-se a

dispor os resultados em tabelas, com o objetivo de analisar a relação entre a mudança dos *drivers* e a aprendizagem significativa. Dividiram-se em três colunas: uma para a coleta de dados inicial, outra para a coleta de dados posterior e a última para a indicação da aprendizagem significativa. Para cada estudante, identificou-se o tipo de *driver* utilizado em cada um dos testes e a respectiva aprendizagem significativa. Para a identificação dos *drivers* utilizou-se “P” para psicofísico, “C” para sociocultural, “H” para hipercultural (aqui associado com a simulação) e “IH” para indícios de hipercultural. Para a ocorrência da aprendizagem significativa, comparando os dois testes utilizados, considerou-se: “S” para indicar que ocorreu aprendizagem significativa e que os conceitos utilizados pelos estudantes estão corretos; “N” para indicar que não ocorreu aprendizagem significativa; “SN” para indicar que houve aprendizagem significativa, mas conceitualmente incorreto; “MRC” (mesma resposta correta), quando os estudantes davam a mesma resposta nos dois testes, mas que esta estava correta; “MRE” (mesma resposta errada), quando os estudantes respondiam a mesma coisa nos dois testes, porém a resposta estava incorreta conceitualmente.

6 SIMULAÇÕES

As simulações e modelagem no ensino de Física têm sido utilizadas amplamente, conforme se pode verificar em trabalhos publicados há mais de dez anos, como os de Araújo e Veit (2004), em que discutem a utilização simulações e modelagem. Após esta publicação, verifica-se que a utilização destes processos se intensificou e se tornou cada vez mais abrangente dos conteúdos de Física.

Ao optar pela utilização de simulações, transfere-se para os computadores a árdua tarefa de realizar os cálculos, representações gráficas, deixando a memória do estudante livre para pensar nas hipóteses assumidas, na generalização e expansão do modelo (SWELLER, 2003). É importante que o estudante tenha consciência de que as simulações são modelos simplificados do fenômeno estudado. Medeiros e Medeiros (2002) consideram que uma simulação é muito mais atrativa do que imagens estáticas, porém é necessário que se tenha o cuidado para não comunicar imagens distorcidas da realidade.

Conforme Aguiar (2006), Valente (1999), Reigeluth e Schwartz (1989) e Trindade (2002), nas simulações, os modelos e representações são implementados anteriormente ao uso dos estudantes, quando é permitida a estes apenas a mudança de alguns parâmetros e a observação do fenômeno, de acordo com os valores atribuídos. Já na modelagem, o próprio estudante constrói os seus modelos e determina como representar os seus resultados. Nesta proposta de trabalho optou-se por realizar uma simulação para fins de estudo de colisões. Conforme Gladdis (2000), as simulações vão além das simples animações, pois englobam, além de animações e realidade virtual, a interação direta do estudante, que poderá ser em maior ou menor grau. A manipulação de parâmetros é importante, porque deixa o estudante livre para mudá-los, mesmo que a modificação deste parâmetro não esteja contemplada na atividade.

O que decide se um *software* será educativo é a metodologia utilizada pelo professor. Portanto, cabe ao educador o papel de avaliação do *software*, conforme a sua proposta de utilização para ensino e aprendizagem. Em consideração a isso, baseou-se a elaboração e a construção das simulações no trabalho de Araújo e Veit (2005), que consideram três estágios: seleção, construção e validação.

No estágio de seleção, conforme Araújo e Veit (2005, p.4), “escolhe-se um modelo físico apropriado de um repertório de modelos familiares em uma teoria específica. A seleção é guiada pelo domínio de cada modelo e governada pelo propósito da modelagem e da validade requerida”. No caso desta pesquisa, optou-se pela construção da simulação a partir das leis de conservação de energia e da quantidade de movimento.

No estágio de construção, conforme proposto por Araújo e Veit (2005, p. 6) “constroem-se modelos matemáticos que incorporam as leis e relações teóricas conhecidas e ajudam a resolver matematicamente o problema”. Nesta etapa construiu-se o modelo matemático, implementando a simulação a partir das equações apresentadas na fundamentação da simulação, no *software Modellus 4.01*.

No último estágio, a validação, que pode ocorrer concomitante ou não à etapa anterior, considera-se essencialmente a consistência interna do modelo. Neste estágio, deve-se verificar se todos os propósitos estão sendo contemplados com o modelo em construção.

Como as leis físicas podem ser expressas através de equações matemáticas, normalmente as simulações são facilmente construídas com a utilização destas formulações matemáticas, para simular determinado fenômeno. É possível, nesse caso, explorar os mais diversos fenômenos, que vão desde situações possíveis de serem realizadas dentro de um laboratório até sistemas mais complexos, impossíveis de realizar atividades experimentais em sala de aula. Porém, é importante esclarecer aos estudantes que existem grandes diferenças entre executar um experimento real e simulá-lo no computador (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

O uso de simulações computacionais no estudo de colisões propicia o desenvolvimento de habilidades tais como: leitura e análise de gráficos e representações simbólicas de grandezas físicas, sendo que em laboratório tradicional por si só muitas vezes estes procedimentos se perdem (REIS; SERRANO, 2003).

Conforme de Jong et al (1998), as simulações podem ser divididas em dois tipos: simulações de modelos conceituais e simulações de modelos operacionais. O primeiro tipo sustenta princípios, conceitos e fatos relacionados com sistema simulado; a segunda forma, entretanto, simulações de modelos operacionais, incluem operações ou procedimentos cognitivos e não cognitivos do sistema simulado. As simulações aqui desenvolvidas possuem características de modelos conceituais. Segundo Reis (2004):

Simulações computacionais deste tipo (modelos conceituais) podem ser de grande importância no processo pedagógico: elas podem auxiliar o estudante na construção de conceitos complexos e difíceis de serem visualizados, como é o caso dos conceitos tratados em colisões, através das leis de conservação. (REIS, 2004, p.33)

A seguir descrevem-se as características do *software* escolhido para a implementação das simulações, *Modellus* e as duas simulações: colisão com o solo e colisão frontal.

6.1 SOFTWARE *MODELLUS*

O *Modellus* é um *software* educacional que foi desenvolvido pelo professor Vitor Teodoro, da Universidade Nova de Lisboa, e tem como objetivo criar um ambiente de modelagem e simulação para o ensino de Ciências e Matemática. Dessa forma, optou-se em utilizá-lo porque torna fácil a elaboração dos modelos matemáticos, que poderão ser expressos como funções, equações diferenciais, equações a diferenças finitas ou derivadas, semelhantemente à forma como seria realizado com papel e lápis. Além disso, é uma ferramenta de modelagem quantitativa, distribuída livremente, amplamente utilizada no ensino de Física no Brasil, no ensino superior (AGUIAR, 2006); (AGUIAR, 2006a); (ARAÚJO et al, 2004); (BOLDO; CIANI, 2007); (DORNELES et al, 2006); (DORNELES et al, 2008); (RIBEIRO et al, 2005); (VEIT; TEODORO, 2002a), (BETZ; TEIXEIRA, 2012). Quanto à utilização do *Modellus*, Betz e Teixeira afirmam que:

[...] o campo de possível aplicação do *software Modellus* é muito amplo, pois ele faculta a análise de qualquer modelo científico, desde a sua formulação matemática, passando pela apresentação de tabelas e gráficos de resultados, até a criação de animações. (BETZ; TEIXEIRA, 2012, p. 797)

Utiliza-se a versão *Modellus* 4.01, programada em Java e, portanto, executável em qualquer sistema operacional. Também possui importante característica de representação dos fenômenos físicos de diversas maneiras, isto é, através da representação vetorial, gráfica, estroboscópica, tabelas, modelos matemáticos, entre outros. A elaboração de um modelo pode ser contemplada com múltiplas representações. Há uma janela, denominada Modelo

Matemático, e nela devem ser implementadas as equações matemáticas que representam o modelo; também possui uma janela que possibilita a representação gráfica do comportamento das grandezas físicas. Esta representação ocorre, normalmente, em decorrência do tempo, mas isso não impede o estudante de modificar a variável independente. Em outra janela – tabelas – é possível gerar tabelas com valores das grandezas físicas do modelo físico, e permite também a sua importação para outro lugar, como uma planilha de cálculo. Na parte superior do *software* há abas com as funções salvar, abrir e criar modelos, alterar o passo da variável independente, inserir elementos matemáticos, dos parâmetros e condições iniciais, além de outras.

Nesta proposta, utilizam-se duas simulações de colisões, elaboradas no *software Modellus*: a primeira referente a uma bolinha que colide com o solo; a segunda, a uma colisão frontal entre dois corpos. As simulações foram elaboradas baseadas no paradigma Hamiltoniano, que centraliza os estudos de colisões a partir das leis de conservação do *momentum* e conservação de energia, conforme foi discutido no capítulo “Ensino de colisões através das leis de conservação”. Isso vem ao encontro do trabalho de Grimellini e Tomasini (1993) que apresenta evidências de que os estudantes possuem melhor compreensão dos conceitos de colisão. A seguir analisa-se cada uma das simulações.

6.2 PRIMEIRA SIMULAÇÃO – OBJETO EM QUEDA COLIDINDO COM O SOLO

A primeira simulação consiste na situação, através da qual o estudante visualiza uma bola abandonada a partir de certa altura, colidindo com o solo. No primeiro estágio, seleção, conforme proposto por Veit e Araújo (2005), pesquisou-se o modelo a ser adotado, posteriormente, na simulação, com a opção da utilização das leis de conservação de energia cinética e de conservação da quantidade de movimento. No segundo estágio, foi elaborado o modelo, a partir das equações de energia cinética e energia potencial gravitacional, considerando o fator de conservação de energia, conforme discutido no capítulo 4. Na sequência passa-se à implementação do modelo através das equações, no *Modellus*. Em seguida, utilizam-se objetos para representar o movimento, a bola e os indicadores de nível de energia. Após a conclusão das atividades anteriores, é feito o teste para a validação da simulação, com a realização de algumas alterações.

Conforme a proposta deste trabalho, o tipo de colisão enfatiza a utilização da conservação da energia cinética do sistema, em vez de utilizar a razão entre as velocidades relativas antes e depois da colisão, através do coeficiente de restituição. Para definir o tipo de colisão, utiliza-se o que se denomina de fator de conservação de energia (f), que consiste no percentual do total da energia do sistema que será conservado no momento da colisão.

Para a representação do movimento, utiliza-se a imagem de uma bola e aciona-se a função estroboscópica além da trajetória, para que o estudante tenha a possibilidade de comparar a altura de retorno após cada colisão. Na Figura 28 há duas imagens: a primeira representa a bola que colide com o solo e retorna à mesma altura, situação caracterizada pela colisão elástica; na segunda imagem, Figura 28, há a representação da bola em colisão inelástica com o solo, cuja trajetória o estudante consegue perceber que, após cada colisão, a altura de retorno da bola é menor.

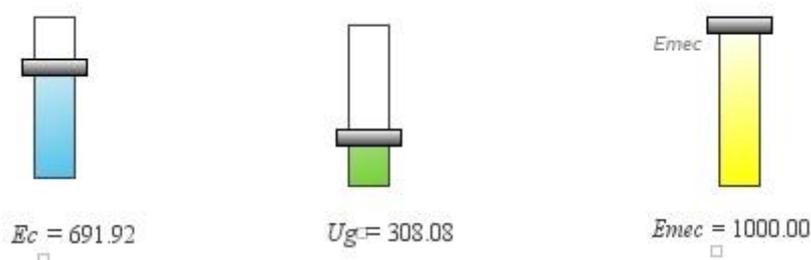
Figura 28 - Representação da trajetória deixada em duas situações: primeira imagem, colisão elástica solo; segunda imagem, colisão inelástica com solo



Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).

Para a representação das energias potencial gravitacional, cinética e total, adotam-se indicadores de nível (barras de energia), objeto de animação disponibilizado pelo *Modellus*. Na Figura 29, pode-se identificar que a barra azul indica a energia cinética existente na bola, a barra de nível verde indica a energia potencial gravitacional da bola, e a barra de energia amarela indica a representação da energia total do sistema. Durante a movimentação da bola (subindo ou descendo), os indicadores de nível da energia potencial gravitacional e da energia cinética oscilam. O indicador de nível da energia total é igual à soma dos indicadores de nível da energia cinética e da energia potencial gravitacional. A opção pela utilização dos indicadores de nível, as “barras de energia” ocorreu pela facilidade de transmissão gráfica e, quando somadas às energias potencial gravitacional e à energia cinética, o resultado obtido é igual à energia total do sistema.

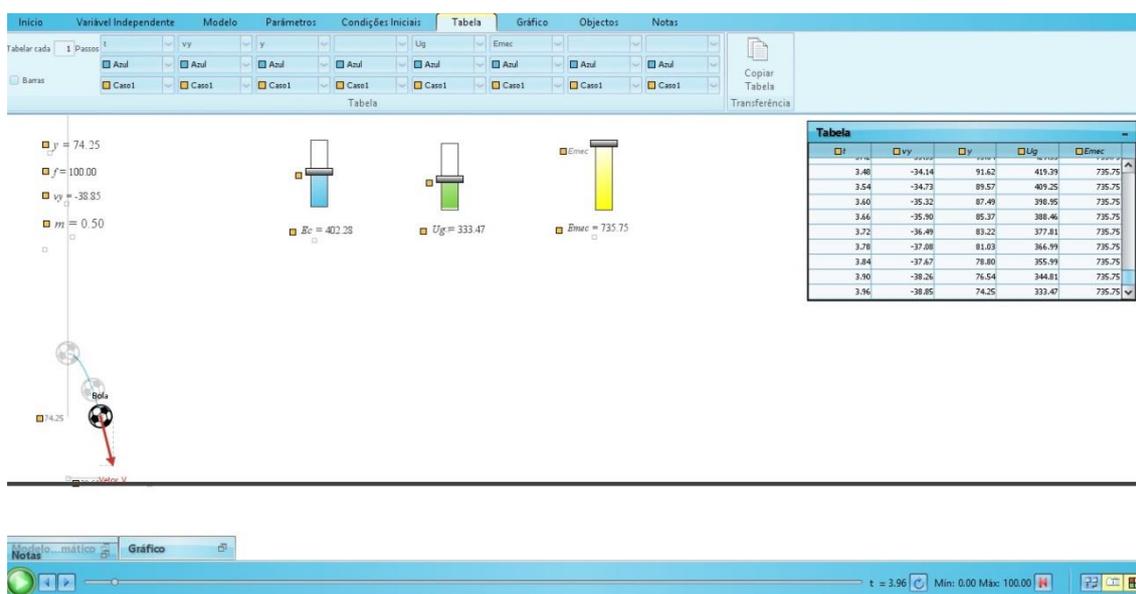
Figura 29 - Representação dos indicadores de nível de energia referente à primeira simulação. Azul - energia cinética, verde - energia potencial gravitacional e amarelo - energia mecânica do sistema



Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).

Para esta simulação, além das barras indicadoras de nível de energia, acrescentam-se indicadores de altura (y), velocidade na vertical (v_y), fator de conservação de energia (f) e massa da bolinha (m), conforme se verifica na Figura 30, localizada no lado esquerdo superior. Apresentam-se estas formas para que os alunos tenham um número satisfatório de informações ao realizarem a simulação. Todas estas grandezas estavam expressas no Sistema Internacional de Unidades. Na simulação de sistemas não conservativos de energia, como no caso das colisões inelásticas, considera-se tão-somente a perda de energia no momento da colisão, ou seja, desprezam-se quaisquer outras formas de dissipação de energia que não seja no momento da colisão. A Figura 30 é uma imagem da tela da primeira simulação.

Figura 30 - Tela referente à simulação de uma esfera lançada de certa altura, que colide com o solo de forma elástica



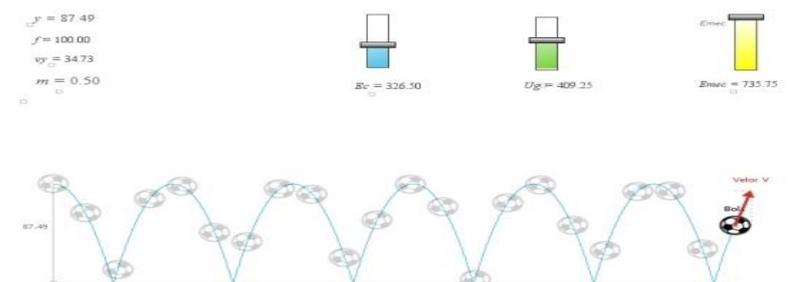
Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).

Nesta primeira simulação, o estudante tem a possibilidade de manipular algumas grandezas, são elas: a altura de lançamento, a velocidade inicial horizontal e vertical, a massa da bola, além do percentual de energia conservada no momento da colisão, que favorece, assim, simular diferentes situações. O tipo de colisão é caracterizado pela conservação de energia. Para isso utiliza-se como parâmetro o fator de conservação de energia (f). O valor do fator de conservação determina o tipo de colisão. Se $f = 100\%$, é uma colisão elástica, e considera-se a conservação da energia cinética. Caso o valor de “ f ” seja inferior a 100%, tem-se uma colisão inelástica, e, caso seja superior a 100%, a colisão será superelástica. Se for colisão perfeitamente inelástica, conforme discutido anteriormente, configura uma situação em que não há conservação de energia do sistema, o que é caracterizado pela colisão da esfera que fica parada no solo.

Para esta simulação, optou-se por não liberar a alteração do fator de conservação de energia durante a simulação, a fim de que permanecesse constante. Esta opção ocorreu por considerar-se que a alteração durante a simulação poderia modificar o tipo de colisão e, conseqüentemente, causar algum tipo de confusão para o estudante.

O movimento da bola dependia diretamente do fator de conservação, pois, quando se utilizava $f = 100\%$, a bola colidia com o solo e retornava sempre à mesma altura em que foi abandonada, haja vista este movimento ser uma colisão elástica com o solo, conforme se verifica na Figura 31. Pode-se observar que a bola desloca-se também para a direita e deixa sua trajetória. Por isso, a opção por este formato, para que o estudante pudesse perceber que a altura de retorno seria a mesma de onde a bola foi abandonada. Ainda, para situação de colisão elástica com o solo, com relação às “barras de energia”, verifica-se, pela Figura 31, imagem 1, que a energia total do sistema permanece inalterada, representada pela barra de nível amarela.

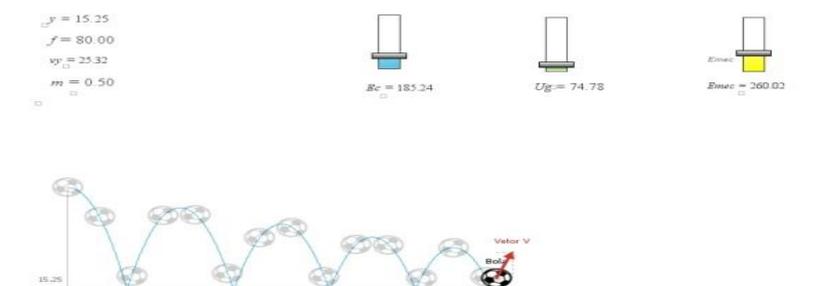
Figura 31 - Imagem da simulação em uma colisão elástica com o solo



Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).

Para a situação em que $0\% < f < 100\%$, tem-se uma colisão inelástica, caracterizada pela altura de retorno inferior à altura de onde foi abandonada, cuja redução da energia total aconteceu após cada colisão, conforme se vê na Figura 32, onde a barra de nível amarela não está completamente preenchida.

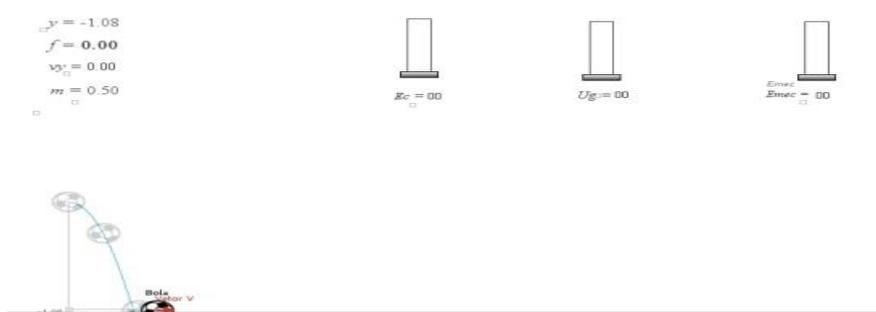
Figura 32 - Imagem da simulação que representa a colisão inelástica com o solo



Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).

Para a colisão perfeitamente inelástica, há a situação em que toda a energia cinética tenha sido dissipada, conforme demonstrado no capítulo 4.2.2, onde considera-se por arredondamento que $f = 0\%$. A bola cai e, ao colidir com o solo, permanece parada, sem que ocorra deslocamento na vertical, como se pode verificar na Figura 33, cujas barras de energia ficam completamente zeradas no momento da colisão.

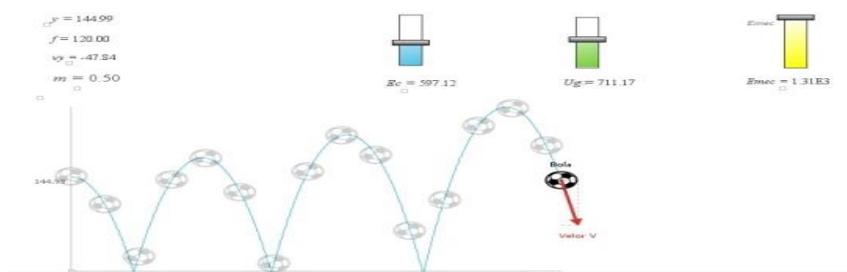
Figura 33 - Imagem da simulação para colisão perfeitamente inelástica com o solo



Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).

Na última situação, colisão superelástica, onde ocorre ganho de energia após cada colisão, o fator de conservação de energia é $f > 100\%$. Para a situação da colisão com o solo superelástica, na representação através da Figura 34, observa-se que a altura de retorno após cada colisão é superior ao ponto máximo anterior, e que há um ganho na energia total do sistema.

Figura 34 - Imagem que representa a simulação da colisão superelástica com o solo



Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).

Utiliza-se a simulação de colisão com o solo, anterior à simulação de colisão frontal com duas partículas, para possibilitar a familiarização do estudante com o fator de conservação de energia e a diferenciação do tipo de colisão conforme a energia conservada. Em síntese, esta simulação tem duas finalidades: a de familiarizar o estudante com o fator de conservação de energia (distinguindo os diferentes tipos de colisão, através da conservação de energia) e o de explorar os conceitos de conservação de energia cinética, potencial gravitacional e energia mecânica total. Com isso, também objetiva-se diferenciar o tipo de colisão pela energia cinética, antes e depois da colisão.

6.2 SEGUNDA SIMULAÇÃO – COLISÃO ENTRE DUAS ESFERAS

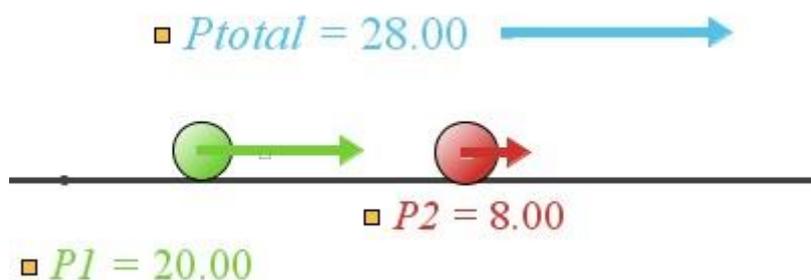
A segunda simulação consiste na colisão entre duas esferas horizontalmente, explorando os conceitos de conservação do momento linear e de conservação de energia cinética, conforme o tipo de colisão. Relaciona-se a alteração na energia cinética (lei da conservação da energia) com o comportamento dos corpos antes e após a colisão, sem empregar, em momento algum, a abordagem do coeficiente de restituição, que relaciona as velocidades relativas, no entanto, conforme mencionado anteriormente, adota-se o paradigma Hamiltoniano, das leis de conservação de energia e *momentum*.

No estágio seleção, proposto por Veit e Araújo (2005), selecionam-se os conceitos relacionados com a proposta, com a abordagem do estudo de colisões a partir das leis de conservação. No estágio de construção, passa-se à elaboração dos modelos matemáticos que deveriam ser implementados. Os modelos matemáticos utilizados são os da demonstração do

capítulo quatro, em que se chega a resultados que foram utilizados diretamente na simulação. Passa-se, pois, a implementar a simulação e consideram-se os resultados obtidos no estágio anterior, em especial a equação (29), que determina o mínimo de energia que deve ser conservado em uma colisão, para que a lei da conservação do momento linear seja respeitada. Além dessa, também utilizam-se as equações (45) e (46), para determinação das velocidades finais de cada uma das esferas. A partir destas equações, insere-se o modelo matemático no *software Modellus*. A seguir são implementadas, na tela principal, as esferas com os respectivos vetores para a representação do momento linear de cada uma das esferas, os indicadores de nível de energia cinética para cada uma das esferas e para a total, além de informações de outras grandezas, como, por exemplo, as velocidades das esferas antes e após a colisão, o valor do percentual mínimo de energia, que deve ser conservado em uma colisão, e os valores das quantidades de movimento de cada esfera e da total. No último estágio, testa-se a simulação nas mais diversas formas, a fim de verificar possíveis erros de modelagem, bem como os ajustes, quando necessário.

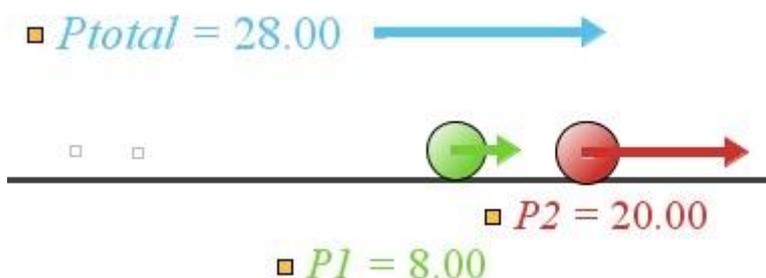
Pesquisas indicam (GRIMELLINI-TOMASINI et al, 1993; BROADSTOCK; GEORGE; VÁZQUEZ-ABAD, 2001) que os estudantes apresentam dificuldades na compreensão do momento linear, em especial como grandeza vetorial. Dessa forma, representa-se esta grandeza na simulação, onde o estudante perceba a conservação do momento linear. Para isso, representam-se os vetores no momento linear, o que pode ser verificado na figura 35 e na figura 36, onde o vetor em azul representa o momento total, o vetor verde representa o momento da esfera verde, e o vetor vermelho indica o momento da esfera vermelha. A figura 35 representa uma situação antes da colisão, e a figura 36 representa o momento das esferas após a colisão. Ao comparar as duas figuras, 35 e 36, identifica-se que o momento linear da total permanece inalterado, e ao vetor azul, em cada uma das esferas, foi acrescentado o vetor momento linear, que indica a magnitude, a direção e o sentido.

Figura 35 - Imagem da simulação para os vetores momento linear antes de uma colisão



Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

Figura 36 - Imagem dos vetores momento linear após a colisão



Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

Para a representação da energia cinética de cada uma das esferas e energia cinética total do sistema, empregam-se indicadores de nível de energia. A cor da barra era a mesma das esferas da simulação (verde e vermelha), e azul para indicar a energia total do sistema. Os indicadores de nível de energia foram elaborados de forma que a soma dos dois níveis de energia cinética (esfera verde e vermelha) será igual ao nível da energia cinética total do sistema, representado em azul conforme se verifica na figura 37.

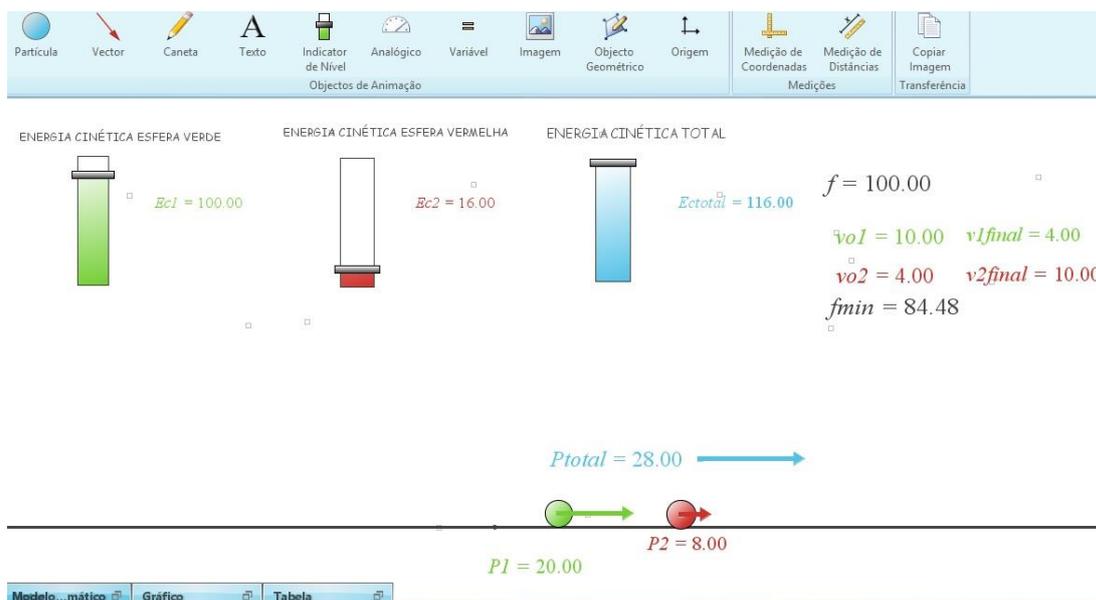
Figura 37 - Indicadores de nível de energia, utilizados na segunda simulação



Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

Além disso, apresenta-se o valor velocidade inicial antes e após a colisão de cada uma das esferas, bem como o fator de conservação de energia mecânica (f), que está localizado na parte superior da simulação, mais à direita. Como na simulação anterior, considera-se a dissipação de energia apenas no momento da colisão e despreza-se qualquer outra forma de dissipação de energia. Todas as grandezas estão expressas no Sistema Internacional de Unidades. A figura 38 representa a imagem da tela da segunda simulação.

Figura 38 - Imagem da segunda simulação



Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

Nesta segunda simulação, os parâmetros que poderiam ser modificados pelos alunos, eram a massa e a velocidade inicial de cada uma das esferas, a distância de separação das esferas e o fator de conservação de energia (f), assim como na simulação anterior, a variável principal para parametrização dos tipos de colisões, cujo valor era igual a 100%, indica conservação total da energia cinética do sistema, em uma colisão elástica, menor na colisão inelástica e maior na colisão superelástica. A variável (f) está associada à conservação da energia cinética e ao momento linear, inserida, portanto, na conservação da energia cinética. A resolução deste sistema já foi discutida de forma detalhada no capítulo quatro.

Conforme já mencionado anteriormente, as colisões elásticas ocorrem quando $f = 100\%$. Se f for menor que 100%, ocorrem colisões inelásticas. Quando $f = f_{min}$, a colisão é perfeitamente inelástica e o estudante observa que os corpos passam a se deslocar juntos, com a mesma velocidade. Se $f > 100\%$, há uma colisão superelástica, com ganho de energia cinética no sistema. É importante destacar que, quando $f < f_{min}$, a quantidade de movimento não é a mesma após a colisão, pois caracteriza a violação da lei de conservação de quantidade de movimento e, por essa razão, não pode ocorrer. Quando utiliza-se $f < f_{min}$, tem-se a situação de uma colisão que não pode ocorrer. Na simulação, ao utilizar esses $f < f_{min}$ no momento da colisão, ela para, as duas esferas retornam à posição inicial e ficam em repouso, e em todas as grandezas aparecem a mensagem “NaN”, que significa que não há número e nem entidade simbólica que representa o valor.

7 ANÁLISE E RESULTADOS

Passa-se a analisar de forma detalhada as quatro questões respondidas pelos estudantes dos dois grupos. Inicia-se pela análise da primeira questão dos dois questionários, que foi respondida apenas pelos estudantes do grupo A. O problema proposto aos estudantes nos dois testes era muito semelhante, como se pode verificar nos Apêndices A e B, que consistem, basicamente, no abandono de uma bola/esfera que irá colidir com o solo. Nos dois testes, os estudantes são questionados quanto à colisão elástica, mas nas entrevistas também questiona-se o comportamento para os demais tipos de colisão.

Para a análise, dividiu-se em dois tópicos: no primeiro analisa-se o comportamento do movimento da bola/esfera, com relação à altura de retorno para cada tipo de colisão; a segunda análise é referente ao comportamento das energias cinética, potencial gravitacional e total. Para cada um dos tópicos, classifica-se a mudança ou não, os *drivers*, e se houve aprendizagem significativa.

Após, passa-se à segunda questão dos dois questionários em relação à colisão de dois corpos de massas iguais, sendo que no primeiro questionário foi considerada a colisão de duas esferas e, após a simulação, passaram a considerar a colisão de carros. Nesta questão, busca-se apresentar as evidências de utilização de *driver* hipercultural associado à aprendizagem significativa, para o movimento dos corpos após a colisão, energia cinética do sistema e momento linear de cada corpo. A seguir é discutido as respostas fornecidas pelos dois grupos com relação a terceira e quarta questão. Também discutem-se os resultados obtidos em uma terceira entrevista realizada seis meses após a realização das simulações, com três estudantes do grupo A, buscando identificar basicamente a persistência ou não de *drivers* hiperculturais relacionados com a aprendizagem significativa.

7.1. ANÁLISE DA PRIMEIRA QUESTÃO COM RELAÇÃO À ALTURA DE RETORNO APÓS A COLISÃO COM O SOLO

Nesse item, avalia-se a altura de retorno após a colisão com o solo para os diferentes tipos de colisões, com base nas possíveis modificações dos *drivers* que os estudantes

utilizarem. Concomitantemente a isso, identificam-se possíveis modificações na estrutura cognitiva que estejam relacionadas ou não como a utilização das simulações de colisões.

7.1.1 Mudança para *driver* hipercultural com aprendizagem significativa

A seguir, apresentam-se os resultados encontrados de estudantes que modificaram os seus *drivers* para hipercultural, modificando também a sua estrutura cognitiva, tendo aprendizagem significativa, quando respondiam para a situação para altura de retorno para diferentes tipos de colisão.

Altura de retorno para colisão elástica com o solo

Após a análise das respostas apresentadas pelos estudantes, identificou-se que, dentre os que realizaram a entrevista da coleta de dados inicial e coleta de dados posterior, os estudantes A4, A5, A9, A10 e A11 e dos que realizaram apenas a coleta de dados posterior A17, A18, A19, demonstraram mudanças nos *drivers* que utilizavam e passaram de psicofísico para hipercultural. Um ponto apresentado em comum com estes estudantes foi que, inicialmente, utilizavam a imagem mental de uma bola, com características específicas de provável mediação direta do estudante com objeto o que caracteriza-se como *driver* psicofísico. Ao modificarem os *drivers* para hiperculturais, os estudantes utilizavam a imagem mental de uma bola de futebol, imagem que pode ter sido obtida na simulação.

Os estudantes A4, A5, A10 e A11 apresentam em suas respostas, da coleta de dados inicial, características de utilização de *drivers* psicofísicos, e imagens mentais específicas de esferas, onde o estudante A4 usou uma bolinha de tênis, A5 uma esfera de rolamento, A11 uma bola de borracha, que na coleta de dados posterior utilizam os *drivers* da simulação. Apresenta-se, como exemplo, o caso do estudante A4 com relação à mudança do tipo de esfera e, conseqüentemente, mudança nos *drivers* utilizados.

Quadro 2 - Coleta de dados inicial e posterior

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Tá, vou começar assim, perguntando. Quando tu leste e respondeste essa questão, qual foi a imagem que tu tiveste desse movimento aqui?</p> <p>A4: Hã, eu imaginei uma pessoa [1:11; #AO] aqui, né, soltando uma bolinha da altura de 2 metros.</p> <p>P: Tá, essa pessoa que tu comentas ela é de alguma situação que tu lembras ou tu criaste essa situação?</p> <p>A4: Várias vezes eu já brinquei com uma bola, jogando, então eu imaginei uma situação assim.</p> <p>P: Ahm...</p> <p>A4: Coisa normal assim, pegar uma bola e tocar no chão. [1:39; #AO]</p> <p>P: E quando tu pensaste nisso aí, tu pensaste em alguma bola específica? Cor?</p> <p>A4: Não...</p> <p>P: A bola não tem tamanho, essa bolinha que está caindo?</p> <p>A4: <u>A eu imaginei acho que uma bolinha de tênis</u> [1:52; #RO], mais ou menos.</p> <p>P: Uma bola de tênis.</p>	<p>P: Quero que tu descrevas o que tu pensaste quando respondeste essa questão aí. Antes até mesmo de analisar o que aconteceu com a velocidade, descreva para nós, assim, o que tu pensaste quando respondeu?</p> <p>A4: Eu vi que após <u>aquele laboratório</u> que a gente fez, <u>ficou mais visível</u> as situações assim. <u>Eu vi como eu analisei no laboratório mesmo</u>, foi o que eu me lembrei assim. Então, eu botei que a velocidade inicial vai ser constante, mas ela tem o aumento da velocidade quando está caindo, e quando sobe ela vai perdendo velocidade até parar [1:21; #OS] e cair [1:22; #OC]. Ela sempre mantém a mesma [1:24; #OCS], como a força é elástica, ela tem sempre a mesma força para subir.</p> <p>P: Certo, quando tu respondeste como tu imaginaste a situação?</p> <p>A4: Olha, eu imaginei, a bola mesmo, dessa massa mesmo, caindo do prédio [1:47; #OC] e ela quicando e subindo e descendo e subindo e descendo [1:50; #OCS] (...) só que aqui não fala o período né(...), então eu não determinei a velocidade pra ela parar [1:57; #MRA].</p> <p>P: Certo, e como era essa bola que tu imaginaste?</p> <p>A4: Bah, só imaginei com a massa mesmo. Forma e cor não.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Durante a coleta de dados inicial, o estudante A4 utiliza a imagem mental de uma bola de tênis, e, ao descrever o movimento, utiliza imagens mentais de situações em que já interagiu diretamente com uma bola quicando, conforme mencionado pelo estudante A4: “Várias vezes eu já brinquei com uma bola, jogando, então eu imaginei uma situação assim”. Este conjunto de informações traduz que esse estudante, durante a sua coleta de dados inicial, no momento inicial da entrevista, utiliza *drivers* psicofísicos.

Na coleta de dados posterior, já na primeira resposta, o estudante A4 esclarece que, “após aquele laboratório que a gente fez, ficaram mais visíveis as situações, assim”, ao se referir “aquele laboratório” está querendo indicar o uso da simulação, o que parece indicar

que, ao responder a entrevista posterior, se valia de imagens mentais adquiridas através da interação com a simulação, o que fica visível quando passa a utilizar *drivers* hiperculturais, e modifica os *drivers* que inicialmente utilizava, que possuíam características psicofísicas.

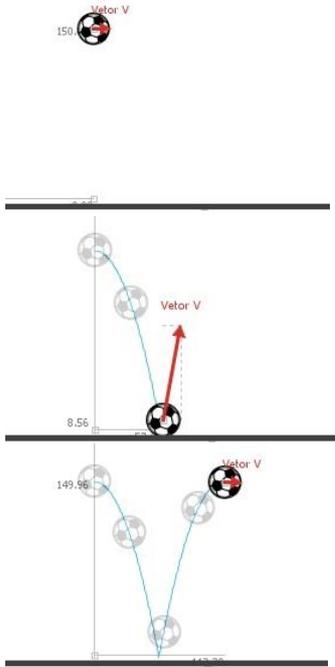
Outro ponto que considera-se como forte evidência para a mudança de *drivers* pelo estudante A4, foi o fato de que, inicialmente, utilizava a imagem mental de uma bola específica, adquirida, provavelmente, através da sua interação direta com a mesma, enquanto na entrevista posterior não acha necessário usar um tipo de bola específica, talvez porque passou a utilizar os *drivers* hiperculturais adquiridos na interação com a simulação.

Com relação à altura de retorno da esfera, para a primeira situação, se considerar que ocorra uma colisão elástica com o solo, o estudante A4 parece utilizar imagens mentais dinâmicas, juntamente com gestos que indicam o movimento da esfera. A seguir apresenta-se parte da transcrição da coleta de dados inicial e da coleta de dados posterior do estudante A4, em que verificou-se que, inicialmente, possui *drivers* psicofísicos e que utiliza *drivers* hiperculturais na entrevista da coleta de dados posterior.

Na sequência, o quadro comparativo com as imagens dos gestos utilizados pelos estudantes, na coleta de dados inicial e na coleta de dados posterior, representadas nas figuras 39 e 40, e a figura 41 representa três instantes da simulação.

Quadro 3 - Coleta de dados inicial e posterior, representadas nas figuras 39 e 40 e a figura 41 mostrando a simulação

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: E com relação à altura dessa bolinha, à medida que ela vai quicando, o que vai acontecendo?</p> <p>A4: Ah, <u>vai diminuindo também</u>. Como eu pensei que foi soltada [3:15; #AO] e não jogada [3:16; #MC], daí ela <u>vai diminuindo a cada movimento</u> [3:19; #OCS] ela diminui.</p>	<p>P: Tá. Para velocidade tu fizeste algum tipo de representação mental?</p> <p>A4: Só a representação gráfica que nem do <u>laboratório que a gente viu</u>, que <u>a bola fica subindo e descendo sem parar</u> [2:18; #OCS] e que a princípio mantém sempre a mesma distância do trajeto [2:22; #OCS].</p> <p>P: Quando tu movimentas a mão nesse sentido, tu tá lembrando?</p> <p>A4: Dos gráficos.</p> <p>P: E o que aconteceu com a altura da bola?</p> <p>A4: <u>A altura permanece constante por não ter a perda de velocidade na colisão</u>, então ela mantém a altura máxima [2:50; #IA] sempre a mesma.</p>

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior	Simulação
<p data-bbox="237 266 632 528">Figura 39 - A primeira imagem representa a posição de abandono Na segunda imagem, o momento em que colide com o solo, e a terceira imagem, a altura máxima de retorno, que é inferior à altura de onde foi abandonada.</p>  <p data-bbox="240 1234 600 1258">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="647 266 1026 495">Figura 40 - A primeira imagem representa a posição inicial; a segunda imagem, a indicação de colisão com o solo, e a terceira imagem, o movimento de retorno, que é o mesmo de onde foi abandonada.</p>  <p data-bbox="651 1211 1010 1236">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="1046 266 1418 360">Figura 41 - Sequência de imagens da simulação, para a colisão elástica com o solo.</p>  <p data-bbox="1050 1167 1409 1225">Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).</p>

Observa-se que, pela fala e pelos gestos realizados pelo estudante A4 na coleta de dados inicial, o estudante possui, em seus *subsunçores*, a altura de retorno de uma esfera que colide elasticamente com o solo, que será inferior ao ponto de onde foi abandonada. Pela fala, afirma que: “ela vai diminuindo a cada movimento, ela diminui”, e pelos gestos apresentados. Na Figura 39, há uma sequência de três imagens e, ao comparar a primeira e a terceira imagem, nota-se que a indicação de altura na terceira situação é inferior à altura indicada pela mão do estudante A4, na primeira imagem da Figura 40. Com relação aos *drivers* utilizados, observa-se que foram construídos, provavelmente, pela mediação de mecanismos extracerebrais de uma esfera (bola) que colide com o solo, onde a altura de retorno em situação corriqueira do cotidiano sempre é inferior em relação à altura em que foi abandonada, caracterizando um *driver* psicofísico.

Na coleta de dados posterior, o estudante A4 modifica suas respostas, pois passa a utilizar *drivers* hiperculturais e deixa evidente quando menciona: “só na representação

gráfica, que nem no laboratório”. A representação gráfica a que ele se refere, se deve ao desenho da trajetória que permanece após o movimento da bola, como verifica-se na figura 41, e o laboratório se refere à aula da simulação que foi realizada no laboratório de informática. Quando analisa-se o discurso “Só a representação gráfica, que nem do laboratório que a gente viu”, considera-se que usa imagens mentais novas, adquiridas pela mediação da simulação. Ele realiza uma simulação mental com a utilização destas novas imagens mentais adquiridas na simulação, e os *drivers* que passam a ser hiperculturais relacionados com a simulação. Nesta simulação mental, realizada na entrevista da coleta de dados posterior, o estudante A4 modifica o conceito que tinha inicialmente com relação à altura de retorno, em uma colisão elástica com o solo, e considera que: “A altura permanece constante por não ter a perda de velocidade na colisão. Assim, ela mantém a altura máxima sempre a mesma”, quando se refere à altura de retorno.

Na análise da Figura 40, os gestos realizados pelo estudante indicam que a altura de retorno seria igual à altura em que foi abandonada. Ao comparar a primeira imagem com a terceira imagem da Figura 40, identifica-se que a altura da mão nas duas situações é igual. Dessa forma, durante a simulação, o conceito de que a altura de retorno após a colisão deveria ser igual ao ponto em que foi abandonada, ancorou-se no *subsunçores* e modifica a estrutura cognitiva do estudante A4. Então, há aprendizagem significativa subordinada, porque os conceitos existentes na estrutura cognitiva são mais abrangentes, juntamente com a mudança dos *drivers* psicofísicos para Hiperculturais.

Os estudantes A5, A8, A10 e A11 tiveram respostas nos dois testes muito semelhantes às fornecidas pelo estudante A4. Dessa forma, os resultados verificados para o estudante A4, com relação à altura de retorno após uma colisão elástica, estendem-se para estes estudantes.

Os estudantes A17, A18 e A20 não realizaram a entrevista da coleta de dados inicial, mas, em suas respostas da entrevista da coleta de dados posterior, utilizaram imagens mentais obtidas através da mediação com mecanismo extracerebral, isto é, a simulação. Em suas respostas citam a bola de futebol, imagem que utilizam também na simulação. Com relação à situação de uma colisão elástica com o solo, consideraram que a altura de retorno da bola é igual à altura de onde foi abandonada. Pondera-se, pois, que esses estudantes, em sua produção de dados posterior, modificaram os seus *drivers* e os transformaram em hiperculturais.

O estudante A17 diferencia imagens mentais que utiliza para responder à situação, considera *driver* psicofísico no momento em que verifica como se fosse à rua, no seu

cotidiano. A altura de retorno seria inferior à altura onde foi abandonada, porém usa os *drivers* hiperculturais adquiridos com a simulação, considerando que a altura de retorno seria igual à de onde foi abandonada. O estudante A17 realiza simulação mental com o emprego de imagens novas relacionadas com imagens já existentes na sua estrutura cognitiva, e observa que a altura de retorno seria diferente se dependesse da simulação mental do problema. Observa-se que, juntamente com a descrição das imagens mentais que este estudante utiliza, também identifica-se a realização de um número considerado de gestos, que indicam a perda da altura (Figura 42). Quando **simula mentalmente** através de **imagens mentais** relacionadas com o cotidiano, gestos indicam redução de altura. Quando utiliza **imagens mentais da simulação** os gestos que indicam a manutenção da altura após a colisão (Figura 43). A seguir, a transcrição da entrevista do estudante A17 e, logo a seguir, as imagens dos gestos indicando perda ou manutenção da altura.

Quadro 4 - Entrevista com estudante A17

A17: É, eu acho que enxergo sim a bola [4:15; #realiza movimentos em forma de arco] (...). É eu imagino uma bola picando na rua com arco, o outro arco, batendo no chão [4:20; movimento em arco]. Só que a minha bola na rua ela iria perder altura. [4:26; #movimento em arco perdendo altura].

P: Sim.

A17: Aí, eu não consigo colocar ela na rua sem perder altura [4:33; #arco com perda de altura]. Aí, eu tenho que colocar ela dentro do computador para ela não perder altura. [4:34; movimento em arco com a mesma altura]

P: Ah... Tu tens que colocar ela aonde?

A17: No computador, no programinha, naquela simulação. Porque a minha bola, no meu mundo real, na rua [4:44; #RO], ela vai perder altura. [4:45; #MO perdendo altura]

P: Tá. Então para conseguir resolver ela, para não perder altura no mundo real (...)

A17: Eu tenho que imaginar ela na simulação.

P: Então, na realidade, quando tu vais resolver para colisão elástica (...).

A17: Isso. Eu imagino ela na simulação. E quando eu penso como iria acontecer no mundo real, eu imagino uma bola, um prédio, uma rua.

Figura 42 - Gestos realizados pelo estudante A17 que demonstram redução de altura, quando imagina a bola quicando na rua.



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Figura 43 - Gestos realizados pelo estudante A17 que indicam a mesma altura, quando imagina a situação da simulação.



Fonte: Entrevista o autor (2015).

Os estudantes A18 e A20, em suas respostas, apresentam situações semelhantes às descritas pelo estudante A17, com relação à colisão elástica com o solo. Nota-se que esses três estudantes utilizavam imagens mentais relacionadas a situações cotidianas, que caracterizam-se como *drivers* psicofísicos que foram modificados para hiperculturais. Para os três estudantes eram imagens mentais que concebiam a altura de retorno inferior à altura de onde foi abandonada a bola. Observa-se que a altura de retorno é igual à de onde a bola foi abandonada, o que se caracteriza como uma aprendizagem significativa, diretamente relacionada com a mudança de *drivers*.

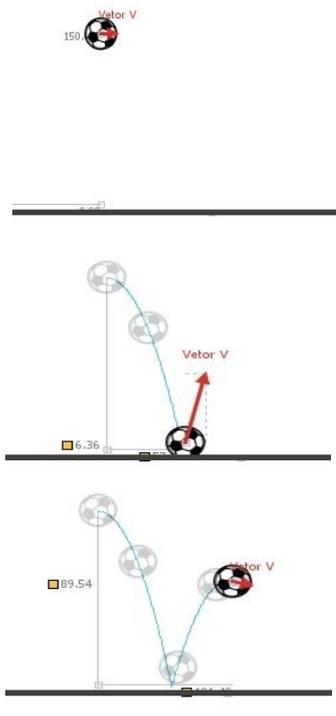
Altura de retorno para colisão inelástica com o solo

Durante as entrevistas, apesar de não fazer parte das questões dos dois testes, os estudantes foram questionados com relação ao comportamento do movimento de queda e retorno para uma colisão inelástica. Para esta situação esperava-se que os estudantes considerassem que a altura de retorno após a colisão com o solo seria inferior à altura em que o corpo foi abandonado. Os estudantes A4, A8, A11 tiveram comportamento semelhante em suas respostas. Como exemplo, utilizam-se as respostas fornecidas pelo estudante A4, nos dois momentos: coleta de dados inicial e coleta de dados posterior.

Na sequência, transcrição da entrevista do estudante A4, na coleta de dados inicial e na coleta de dados posterior, e as figuras 44 e 45, referentes aos gestos realizados durante a coleta de dados inicial e posterior; e a figura 46 com imagens da simulação para a colisão inelástica com o solo.

Quadro 5 - Entrevista estudante A4 na coleta de dados inicial e posterior

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Se a colisão fosse inelástica, como é que seria esse movimento?</p> <p>A4: Hã, a inelástica é que a bolinha não iria subir [7:37; #OS]. <u>Ela não teria mais como fazer a força para subir.</u></p> <p>P: Como ficaria então esse movimento?</p> <p>A4: Ah! <u>Eu acho que a bolinha iria cair e ela ia ficar.</u> [7:42; #MQP]</p> <p>P: Ficar parada?</p> <p>A4: Uma bolinha de chumbo eu acho que não faria isso, né?! Uma bolinha [7:47; #OC] de <u>chumbo ficaria.</u></p>	<p>P: Como seria se fosse uma colisão inelástica?</p> <p>A4: Completamente inelástica?</p> <p>P: Só inelástica?</p> <p>A4: <u>Ela iria diminuindo a altura</u> [5:54; #IA] e a energia iria diminuindo também, a cada colisão [5:57; #BEV].</p> <p>P: E a velocidade?</p> <p>A4: <u>Iria diminuindo</u> [6:02; #BEV] <u>também até parar.</u></p> <p>P: Hã, esse movimento que tu fazes...</p> <p>A4: Seria diminuindo [6:06; #MRA]</p> <p>P: Da bolinha?</p> <p>A4: É.</p>

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior	Simulação
<p>Figura 44 - Gestos realizados pelo estudante A4 na sua explicação de colisão inelástica com o solo, durante a entrevista inicial. A primeira imagem representa o momento em que está abandonada a esfera; a segunda, enquanto está caindo, e a última, quando colide com o solo e permanece em repouso.</p>  <p>Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p>Figura 45 - Gestos realizados pelo estudante A4 explicando a colisão inelástica com o solo, durante a entrevista posterior. A primeira imagem representa o momento em que abandona a esfera; a segunda, quando colide com o solo, e a última, quando retorna a uma altura inferior de onde foi abandonada.</p>  <p>Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p>Figura 46 - Sequência de imagens da simulação para a colisão inelástica.</p>  <p>Fonte: Simulação, o autor (2015).</p>

A partir das respostas fornecidas pelo estudante A4 (gestos e fala), identifica-se que, provavelmente, o *driver* que estava sendo utilizado na coleta de dados inicial teve origem através de mediação psicofísica. O estudante A4 menciona em sua entrevista de coleta de dados inicial, que, para esta situação, ele usava uma bola de chumbo, sendo a provável imagem mental de que se serviu ao simular mentalmente o problema, notando que não teria retorno após a colisão com o solo, ficaria em repouso; este era o conceito que possuía em relação à altura de retorno para colisão inelástica. A Figura 44 colabora com a resposta do estudante A4, ilustrando que após a colisão o corpo permanecerá em repouso. Para isso, eleva sua mão direita até a altura aproximada do seu ombro e a desloca até colidir com a mesa, e permanece com a mão direita parada, a fim de demonstrar que após a colisão não retornaria.

Na entrevista da coleta de dados posterior, apesar de o estudante não mencionar no trecho selecionado da transcrição que utilizaria a simulação, consideram-se os *drivers* utilizados por ele de origem hipercultural, pois as respostas fornecidas anteriormente mencionam diversas vezes que poderia recorrer a imagens mentais adquiridas na simulação. Com relação ao conceito da altura de retorno da esfera, considerada a colisão inelástica com o solo, o estudante responde que esta sofreria uma redução após cada quique com o solo: “Ela iria diminuindo a altura”. Além disso, os gestos empregados também representam uma colisão com o solo, em que a altura de retorno seria inferior em relação ao ponto de abandono.

A figura 45 traz imagens do estudante A4 durante a realização do gesto com a mão direita, quando inicia o movimento com a mão na altura próxima da cabeça, deslocando-se para baixo e colide com o solo, e se desloca no sentido contrário e sobe até a altura do peito, que é inferior à altura inicial. A partir dos gestos realizados e das imagens mentais relacionadas com a simulação, o estudante A4 simula, mentalmente, uma situação diferente da que simulou, mentalmente, na coleta de dados inicial. A partir da análise das simulações mentais, conclui-se que ele ancorou, na sua estrutura cognitiva, o conceito de que a altura de retorno, para a uma colisão inelástica com o solo, seria inferior à altura de onde o corpo foi abandonado.

Ao comparar as respostas do estudante A4 nos dois testes, inicialmente, considerava que a bola cairia e ficaria parada no solo, expressa esta ideia também através de gestos indicando que, após a colisão, o objeto ficaria parado no solo. Na coleta de dados posterior, observa que a bola colidiria com o solo e retornaria a uma altura inferior em relação à que foi abandonada, conceito acompanhado na realização dos gestos que indicam que a bola retornaria, mas a uma altura inferior.

Com base nesta análise, pode-se concluir que este estudante teve uma aprendizagem significativa subordinada, juntamente com a mudança de *drivers* psicofísico para hipercultural.

Altura de retorno para a colisão perfeitamente inelástica com o solo

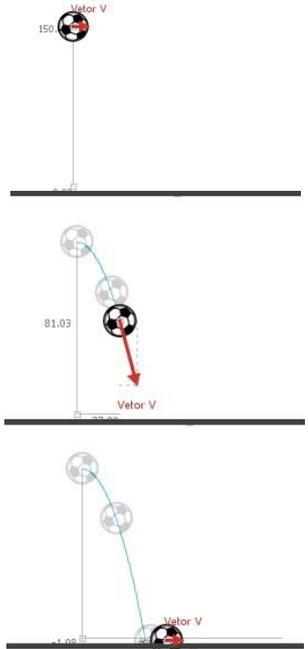
Durante as entrevistas da coleta de dados inicial e da coleta de dados posterior, os estudantes também foram questionados no que concerne ao comportamento de uma bola/esfera que, quando abandonada de certa altura, colide com o solo como perfeitamente inelástica. Para esta situação, após a colisão, o objeto deverá permanecer no solo, sem deslocamento algum na vertical. Alguns estudantes tiveram respostas com boas semelhanças, que são A5 e A7, porém com mudança de *driver* e com aprendizagem significativa.

Deste momento em diante, serão analisadas as respostas apresentadas pelo estudante A5. Inicialmente, apresenta-se a transcrição do estudante na coleta de dados inicial e na coleta de dados posterior. A seguir, as figuras 47 e 48, referentes aos gestos realizados pelo estudante A5, durante a sua resposta na coleta de dados inicial e na posterior. A Figura 49 apresenta uma sequência de imagens da simulação de uma colisão perfeitamente inelástica.

Quadro 6 - Entrevista com estudante A5 na coleta de dados inicial e posterior

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: E se a colisão fosse perfeitamente inelástica?</p> <p>A5: Pois é cara, eu tô com inelástica, somente com essa visão a princípio. <u>Não estou conseguindo associar perfeitamente inelástica com essas situações aqui, da esfera, da pessoa jogando</u> [8:50; #AO].</p>	<p>P: Se a colisão fosse perfeitamente inelástica?</p> <p>A5: Também ia acontecer isso, a energia cinética ia variar ela ia ficar [7:20; fixa a mão no solo], perfeitamente inelástica, ela ia grudada como uma coisa [7:23; as duas mãos grudadas], <u>bate no solo e já ia ficar ali.</u> [7:27; #MQP]</p> <p>P: Ela fixa no solo?</p> <p>A5: <u>Ficaria fixa no solo</u>, a perfeitamente inelástica no exemplo na horizontal nas bolas, depois que se chocam se juntam e vão juntas [7:41; #CFJb], então creio que nesse movimento da bola que não tem outro objeto, em contato com o solo, criou <u>que a bola vai e bate no solo e se esborracha, no caso.</u> [7:56; #MQP]</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior	Simulação
<p data-bbox="237 266 616 528">Figura 47 - Estudante A5, durante a entrevista da coleta de dados inicial, realiza gestos indicadores de apenas abandono de objeto, quando questionado sobre colisão perfeitamente inelástica com o solo.</p>  <p data-bbox="237 1256 600 1285">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="632 266 1010 528">Figura 48 - Estudante A5 na coleta de dados posterior, ao responder sobre colisão perfeitamente elástica com o solo, realiza gestos indicadores da queda e da colisão com o solo, permanecendo em repouso após a colisão.</p>  <p data-bbox="632 1256 994 1285">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="1031 266 1409 394">Figura 49 - Imagens da simulação de uma colisão perfeitamente inelástica com o solo.</p>  <p data-bbox="1031 1267 1393 1296">Fonte: Simulação, o autor (2015).</p>

Pela resposta fornecida pelo estudante A5, durante a coleta de dados inicial, não foi possível identificar a existência de conceitos relacionados com colisão perfeitamente inelástica com o solo, nem a utilização de *drivers*. O estudante responde “não estou conseguindo associar perfeitamente inelástica com essas situações aqui, da esfera, da pessoa jogando”. O gesto realizado pelo estudante A5 na coleta de dados inicial é o de alguém que abandona o objeto, conforme se verifica na figura 45.

Na coleta de dados posterior, o estudante A5, quando questionado sobre o comportamento da queda do objeto que colide com o solo de forma perfeitamente inelástica, identifica a utilização de *drivers* hiperculturais. Mas antes de continuar a análise da resposta do estudante A5 na coleta de dados posterior, é importante, contudo, recuperar algumas passagens esclarecedoras de que ele utilizava a simulação. Um dos momentos é bem no início da entrevista da coleta de dados posterior, quando considera que: “Segundo aquela simulação

que a gente fez no laboratório, tem diferença em simular uma coisa e com o real”. Mais adiante: “Segundo a simulação, a velocidade vai ficar igual, vai ficar”; em outro momento: “Sempre, segundo a simulação, no dia a dia, a gente sabe que não é”. Estes trechos retirados da entrevista do estudante A5, na coleta de dados posterior, mostram que as suas respostas estão relacionadas com *drivers* hiperculturais adquiridos durante a simulação.

Quanto ao conceito relacionado com altura de retorno, o estudante A5 responde corretamente, pois considera que “bate no solo, e já ia ficar ali”, sem altura de retorno. Além disso, os gestos realizados pelo estudante A5, na coleta de dados posterior, com relação à colisão perfeitamente inelástica, verificada na figura 48: o estudante A5 inicia com a mão direta na altura da cabeça e a desloca no sentido para baixo, até colidir com o solo e ficar parada, para isso chega a abrir os dedos, como se o objeto se espalhasse no momento da colisão.

Associado à fala e aos gestos do estudante A5, ele realiza uma simulação mental, que utiliza imagens mentais adquiridas na simulação, e que, ao serem comparadas com a inexistência de simulação mental da resposta da coleta de dados inicial, conclui-se que a estrutura cognitiva deste estudante foi modificada após a utilização da simulação, o que leva a crer que este conceito foi ancorado aos *subsunçores*.

Com as análises realizadas anteriormente, observa-se que o estudante A5 utiliza *driver* para o movimento, que está associado com simulação, pois, apesar de o estudante não mencionar, nesse momento, que utilizava a simulação, em momentos anteriores já havia mencionado.

Além disso, verifica-se a modificação com relação ao conceito da altura de retorno para este tipo de colisão. Dessa forma, houve aprendizagem significativa subordinada, com a utilização de *drivers* hiperculturais.

Altura de retorno para a colisão superelástica com o solo

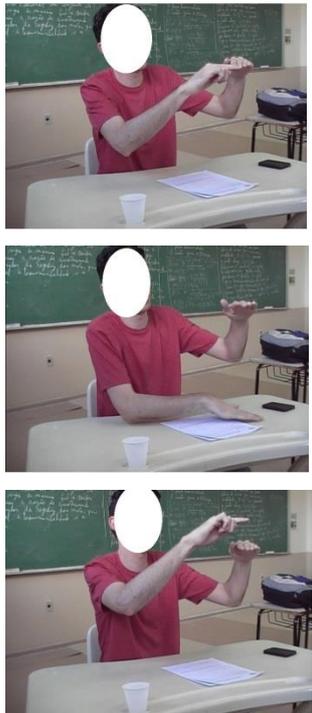
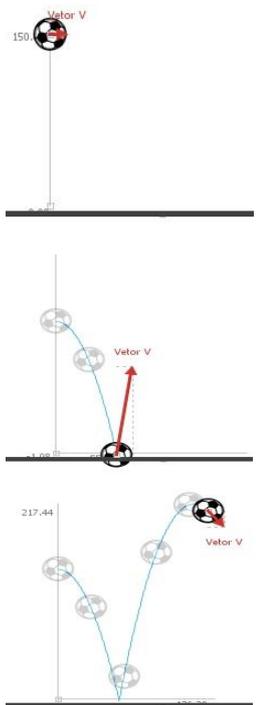
Neste subitem, analisa-se a situação em que o corpo abandonado de certa altura colide com o solo de forma superelástica. Para esta situação, esperava-se que os estudantes respondessem que, após cada colisão com o solo, a altura de retorno seria superior à anterior.

Contudo, verificou-se que o comportamento dos estudantes A8, A9, A10, A11, A13, A14 e A15 é semelhante, principalmente na coleta de dados posterior. Os estudantes A9, A10, A11 e A15 não responderam na coleta de dados inicial, enquanto A8 e A13 consideraram que a altura de retorno seria igual à altura de onde foi abandonada; o A14 considera que a altura de retorno seria menor. A resposta do estudante A14, mesmo sendo diferente das demais na coleta de dados inicial, é a que melhor representa este grupo de estudantes, quanto à análise do conceito de colisão superelástica com o solo, na coleta de dados posterior.

A seguir, apresenta-se parte da transcrição do estudante A14, durante a coleta de dados inicial e a coleta de dados posterior, com relação à colisão superelástica com o solo. Na sequência, as figuras 50 e 51 representam os gestos realizados pelo estudante A14, durante a coleta de dados inicial e a posterior. A figura 52 é de algumas imagens da simulação da colisão superelástica com o solo.

Quadro 7 - Entrevista com estudante A14 na coleta de dados inicial e posterior

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: E se a colisão fosse superelástica?</p> <p>A14: Superelástica, superelástica, não me lembro dos conceitos de cor, mas eu imagino a superelástica como algo que fosse no sistema [13:e 36; #OC], de repente ela bateria e manteria a mesma energia retornando [13:40; #OS].</p> <p>P: Mesma energia?</p> <p>A14: Mesma, imagino que sim. Não se dissiparia, e se dissiparia seria menos que na elástica.</p> <p>P: E então como é que seria o movimento, me descreve o movimento dela?</p> <p>A14:<u>De repente ela bateria da mesma forma [13:54; #OC; #RO deformação] e de repente voltaria [13:58; #OS] com a bolinha mais do que na elástica.</u></p> <p>P: Mais do que na elástica?</p> <p>A14: Mais do que na elástica.</p> <p>P: Ela seria mais que os dois metros ou seria menor que os dois metros?</p> <p>A14:Seria menor que os dois metros.</p>	<p>P: Muito bem e se essa colisão fosse superelástica?</p> <p>Mais à frente</p> <p>P: O que aconteceria com a altura dela?</p> <p>A14: <u>Ela passaria a altura original de onde é largada.</u></p> <p>P: Passaria?</p> <p>A14: Sim. Passaria mais [18:19; #OS], tá tem um metro [18:20; #IA], <u>ela foi largada em um metro vai voltar com uma altura acima [18:21; #OCS; #IA], enfim quanto acima é proporcional ao coeficiente de colisão, ela vai passar, se ela cai de novo ela vai passar de novo e assim vai. [18:31; #OCS ganho de altura]</u></p> <p>P: E quando tu fazes esse movimento, tu estás visualizando a bolinha?</p> <p>A14: Sim.</p>

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior	Simulação
<p data-bbox="225 297 632 696">Figura 50 - Gestos realizados pelo estudante A14 durante a entrevista da coleta de dados inicial, com relação à colisão superelástica. A primeira imagem são gestos que indicam o formato da esfera; a segunda, gestos que indicam deformação da esfera; a terceira, gestos que indicam que a altura de retorno seria maior que na colisão elástica, mas inferior a dois metros.</p> <div data-bbox="225 723 536 1435">  </div> <p data-bbox="225 1451 584 1485">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="655 297 1090 663">Figura 51 - Gestos realizados pelo estudante A14 durante a entrevista da coleta de dados posterior, com relação à colisão superelástica com o solo. A primeira imagem indica altura inicial, onde a bola está sendo abandonada; a segunda, o momento de colisão com o solo; a terceira indica que a altura de retorno seria superior à altura de onde foi abandonada a bola.</p> <div data-bbox="655 689 967 1402">  </div> <p data-bbox="655 1417 1015 1451">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="1110 297 1409 427">Figura 52 - Imagens da simulação referente à colisão superelástica com o solo.</p> <div data-bbox="1110 712 1366 1417">  </div> <p data-bbox="1110 1440 1409 1496">Fonte: Simulação, o autor (2015).</p>

Na coleta de dados inicial, o *drive* que o estudante A5 utilizou durante a sua resposta possui características psicofísicas, pois na simulação mental ele recorre a imagens mentais de uma bola de borracha que se deforma para conseguir subir novamente. A compreensão de que o estudante estava utilizando imagens mentais de uma bola que se deforma, somente foi possível através da análise dos gestos, conforme figura 50, segunda imagem. Também utiliza *drivers* socioculturais quando tenta relacionar o tipo de colisão com energia.

Com relação ao conceito que ele emprega para a altura de retorno, observa-se que ela seria inferior à altura onde foi abandonado (dois metros) o corpo, mas superior à altura de retorno para a situação de colisão elástica com o solo. O gesto indicado na figura 50, terceira

imagem, foi realizado no momento em que o estudante disse: “de repente voltaria com a bolinha mais do que na elástica”, indicando que seria superior à altura de retorno da elástica, mas na sequência considera que a altura de retorno seria inferior a dois metros, altura de onde o corpo foi abandonado. Dessa forma, conclui-se que o estudante A14 possui, inicialmente, o conceito de que a altura de retorno para a colisão superelástica com o solo é inferior à altura de onde foi abandonado o corpo.

Na coleta de dados posterior, o estudante A14 utiliza *drivers* com características hiperculturais, pois, apesar de não mencionar diretamente que utilizava a simulação durante a resposta para a situação da colisão superelástica, ele expôs anteriormente: “pela atividade que a gente fez utilizando a simulação”, quando questionava sobre algumas imagens mentais que usava. Em outro momento afirma que: “a simulação ajudou a entender”.

Na resposta fornecida durante a coleta de dados posterior, ele considerou: “quanto acima é proporcional ao coeficiente de colisão”, com referência ao fator de conservação de energia, pois, quando esse é maior que um, há a colisão superelástica. A partir desses fatores considera-se que o estudante passa a utilizar *drivers* com características hiperculturais.

Com relação ao conceito, observa-se que o estudante A14 considera que a altura de retorno será superior em relação ao ponto onde o corpo foi abandonado, inicialmente. A simulação mental realizada por ele na coleta de dados posterior pondera que retornará a uma altura superior: “ela vai passar da sua altura original de onde é largada”; e mais os gestos realizados, indicados na figura 51, onde, na primeira imagem, o estudante A14 com a mão esquerda indica a altura onde a bola será abandonada, e permanece fixa durante todo o movimento da mão direita.

Na segunda imagem, a mão direita se desloca até colidir com o solo e retorna após a colisão a uma altura superior em relação aonde foi abandonada, indicada pela mão esquerda. Nessa imagem percebe-se que o estudante está querendo representar que a altura após a colisão será superior. As imagens da figura 51 são condizentes com as imagens da figura 52, da representação de três momentos da simulação superelástica com o solo, abandono, colisão e retorno à altura superior. Então, o estudante A14 passou a conceber que, em uma colisão superelástica, o corpo após a colisão com o solo terá um ganho de altura.

Com a comparação da coleta de dados inicial e da coleta de dados posterior (situação válida para os outros estudantes considerados aqui), verifica-se que houve mudança no *driver*, passando de psicofísico e sociocultural para hipercultural, adquiridos através da simulação.

Além disso, conceitualmente o estudante considerava, inicialmente, que a altura de retorno seria inferior em relação ao ponto onde foi abandonado; julga-se que esta altura, após a colisão, será superior em relação ao ponto em que foi abandonada, caracterizando uma alteração no *subsunçores* deste estudante. Dessa forma, houve uma aprendizagem significativa subordinada do estudante, com mudança de *drive* psicofísico e sociocultural para hipercultural.

7.1.2 Mudança para *driver* hipercultural sem aprendizagem significativa

A seguir apresentam-se os resultados encontrados de estudantes que modificaram os seus *drivers* para hipercultural, sem identificação de modificações na estrutura cognitiva, quando respondiam para a situação da altura de retorno, em diferentes tipos de colisão.

Altura de retorno para a colisão elástica com o solo

Há a situação de três estudantes que mudam o *driver*, as imagens mentais que utilizam, mas não alteram os seus *subsunçores*. O primeiro é o estudante A7, que, na coleta de dados inicial, respondeu corretamente ao comportamento da esfera que colide com o solo elasticamente e mantém a sua resposta na coleta de dados posterior. Os estudantes A2 e A8 respondem incorretamente na coleta de dados inicial e utilizam *drivers* hiperculturais na coleta de dados posterior, sem mudar as suas respostas.

O estudante A7 acredita que a altura de retorno da bola na coleta de dados inicial seria a mesma em que ela foi abandonada e, para esta situação, utiliza a imagem mental de uma bola prateada, com características psicofísicas.

Na coleta de dados posterior, o estudante A7 descreve o movimento com a utilização de imagens mentais que foram construídas a partir da simulação. O comportamento do movimento nos dois testes é semelhante, porém há uma mudança dos *drivers* de psicofísico para hipercultural. Ao descrever a simulação mental, o estudante A7 expõe que: “Agora, por causa da simulação eu imaginei a bolinha como estava, picando sempre na mesma altura (...)”.

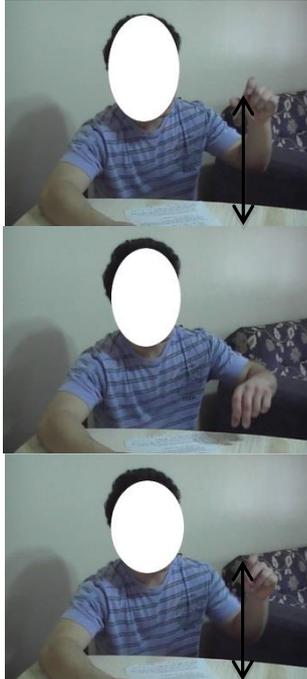
Ao relatar o movimento, diz que parece possuir um deslocamento na horizontal, comportamento apresentado na simulação, mas, ao simular mentalmente o problema, o estudante desconsidera esse deslocamento horizontal, provavelmente percebe que não há necessidade desta análise para responder com relação à altura de retorno da bolinha.

Interessante é que, durante a entrevista da coleta de dados posterior, o estudante A7 questiona se ele deveria responder como havia respondido na primeira vez, quando se refere à coleta de dados inicial, ou se deveria responder agora com a utilização da simulação, esclarecendo, assim, que houve mudanças nos *drivers* após a simulação. O estudante A7 utiliza gestos para representar a trajetória realizada pela bola durante o seu movimento, que está diretamente relacionado com as imagens mentais que utilizou enquanto respondia.

Na transcrição a seguir, referente à coleta de dados inicial e posterior do estudante A7, ele tem em suas respostas características hiperculturais:

Quadro 8 - Transcrição de entrevista do aluno A7, na coleta de dados inicial e posterior

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: E o que acontece com a altura dela?</p> <p>A7: Volta a aumentar.</p> <p>P: Volta.</p> <p>A7: Volta aumentar, porque começa na altura máxima e depois volta naquela altura. [3:11; #MMA]</p> <p>P: Ah, tá, retorna para a mesma altura, para uma altura maior ou para uma altura menor que ela foi abandonada?</p> <p>A7: Em condições normais acho que, diminuiria [3:22; #MRA] mas, eu imaginei que ela voltasse para a mesma posição. [3:24; #MMA]</p>	<p>A7: Que eu tinha criado na primeira vez ou agora?</p> <p>P: Não, agora, agora.</p> <p>A7: Agora eu mudei a bolinha.</p> <p>P: Tudo com relação ao que tu respondeste neste questionário.</p> <p>A7: Agora, por causa da simulação eu imaginei a bolinha como estava, picando [gesto indicando movimento sobe e desce da bola] sempre na mesma altura e tal [0:56; #OCS].</p> <p>P: E como assim, explica melhor isso aí, como é que tu imaginaste?</p> <p>A7: A bolinha sai do zero lá em cima [Indica a posição de onde foi abandonada], parece que tem até um pouco de velocidade horizontal, mas eu não estou imaginando assim estou só imaginando na vertical. [1:14; #OCS]</p> <p>P: Só, na vertical, e aí?</p> <p>A7: Não sei.</p> <p>P: Tu partiste na realidade da simulação para responder isso.</p> <p>A7: Modifiquei um pouco por causa da horizontal.</p> <p>P: Tá, como é esta bola que tu imaginaste caindo, aqui?</p> <p>A7: Imaginei da copa, é aquela preta e branca.</p> <p>P: Uma bola de futebol?</p> <p>A7: Bola de futebol.</p>

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p data-bbox="225 376 802 472">Figura 53 - Gestos utilizados pelo estudante A7 durante a coleta de dados inicial, enquanto explicava a colisão elástica da bola com o solo.</p>  <p data-bbox="336 1196 695 1223">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="828 376 1406 472">Figura 54 - Gestos utilizados pelo estudante A7 durante a coleta de dados posterior, enquanto explicava a colisão elástica da bola com o solo.</p>  <p data-bbox="940 1196 1299 1223">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>

Através da comparação das figuras 53 e 54, nota-se que a sequência de gestos realizados pelo estudante, na coleta de dados inicial e na coleta de dados posterior, com relação à colisão elástica, é praticamente igual, o que indica que mesmo que tenha mudado o tipo de *drive* durante a solução, após a simulação, as representações das imagens mentais são ainda muito semelhantes, porém uma com origem psicofísica e outra com origem hipercultural.

Quando o estudante A7 responde que mudou um pouco devido à horizontal, ele se refere a que, na simulação, a bolinha tinha um deslocamento na horizontal, como se vê na figura 4, mas que ele não considerava necessário imaginar a bolinha se deslocando para direita, enquanto simulava mentalmente o problema. Com relação à aprendizagem significativa, o estudante A7 não modifica o seu *subsunçor* após a utilização da simulação, com relação à altura de retorno para colisão elástica com o solo. Nesse caso permanece o mesmo da coleta de dados inicial, em que considera que a altura de retorno será a mesma. Ele

modifica o tipo de *drive* para as suas respostas, e passa de psicofísico para hipercultural, mas não modifica o *subsunçor*.

Os estudantes A2 e A8, com relação à questão sobre colisão elástica com o solo, apesar de apresentarem mudanças nos *drivers* que utilizavam, não apresentaram aprendizagem significativa. Ambos os estudantes consideraram a altura de retorno nas duas entrevistas inferiores à altura de onde foi abandonada. Além disso, praticamente, não realizaram gestos que indicassem o movimento de colisão corpo com o solo. Então, para estes dois estudantes que, apesar de ter uma mudança nos *drivers* que utilizavam, não foram verificadas mudanças nas repostas apresentadas por eles com relação à altura de retorno após a colisão elástica.

Altura de retorno para a colisão inelástica com o solo

Para a situação da colisão inelástica do corpo com o solo, o estudante A7 mantém a sua resposta, com a constatação de que a altura de retorno é menor em relação ao ponto onde foi abandonando o corpo. Este estudante, nesta situação, tem uma mudança de *driver* psicofísico ou sociocultural para hipercultural, relacionado diretamente com a simulação. Os gestos realizados são semelhantes aos indicados nas figuras 53 e 54, porém com a consideração de que a altura em que eles gesticulam indicam redução de altura.

Há três estudantes, A1, A9 e A10, que tiveram mudanças nos *drivers* que utilizavam, sem a modificação dos conceitos ancorados nos *subsunçores*. Nos dois testes, estes estudantes consideraram que, após a colisão inelástica com o solo, o objeto permaneceria parado, não retornaria. Porém, ambos utilizaram *drivers* característicos hiperculturais associados à simulação.

Altura de retorno para a colisão perfeitamente inelástica com o solo

Para a situação de uma colisão perfeitamente inelástica com o solo, os estudantes A4, A8 e A14 possuem respostas muito semelhantes nos dois testes. Eles consideram que, na

colisão com o solo de forma perfeitamente inelástica, a esfera ficará parada no solo. Junto a isso, identifica-se que os estudantes passam a utilizar, após a simulação, *drivers* que possuem característica hipercultural, relacionados com a simulação. Então, para estes estudantes, há mudança para *driver* hipercultural, sem modificação nos *subsunçores*.

Altura de retorno para a colisão superelástica com o solo

Dois estudantes modificam os *drivers* que, inicialmente, utilizavam para hiperculturais relacionados com a simulação. O estudante A7 utiliza *drivers* culturais adquiridos através da mediação do professor, enquanto o estudante A12 vale-se, na coleta de dados inicial, de *drivers* com característica de mediação psicofísica e simula, mentalmente, o movimento em uma cama elástica. Ambos os estudantes consideram, na coleta de dados inicial, que a altura de retorno seria maior, conforme se observa nos seguintes trechos das entrevistas da coleta de dados inicial do estudante A7: “Ela ia quicar e ia bem para cima”; e, para o A12: “Superelástica, volta com mais potência”, e ao mesmo tempo realizam gestos com a mão e indicam aumento de altura após a colisão.

Na coleta de dados posterior, os dois estudantes empregam *drivers* hiperculturais, cujo mecanismo extracerebral é a simulação. Em suas respostas não descrevem, diretamente, a simulação quando explicam a colisão superelástica com o solo, mas consideram que, no âmbito geral de suas respostas, na coleta de dados posterior, foram hiperculturais.

Em relação à altura de retorno, ainda, os estudantes a consideram superior, após a colisão superelástica com o solo, assim, uma modificação nos *drivers* que utilizavam para hipercultural, principalmente no que tange às imagens mentais utilizadas, mediados pela simulação, sem a mudança na estrutura cognitiva dos estudantes.

7.1.3 Indícios de mudança para *driver* hipercultural com aprendizagem significativa

A seguir, passa-se a demonstrar os resultados encontrados de estudantes que modificaram os seus *drivers* para hipercultural, modificando também a sua estrutura

cognitiva, tendo aprendizagem significativa, quando respondiam para a situação relacionada com energia cinética, potencial gravitacional e total, para diferentes tipos de colisão com o solo.

Altura de retorno para a colisão elástica com o solo

Para a situação inicial de que possuem *drivers* psicofísico e a existência de indícios que modificam, provavelmente, para *drivers* hiperculturais, devido à simulação, e com aprendizagem significativa, identifica-se, no caso dos estudantes A1, A3, A12 e A15, a situação de colisão elástica com o solo. As respostas apresentadas, amplamente, possuem semelhanças. Como exemplo, dentre este grupo de estudantes, apresenta-se o caso do estudante A1.

Na primeira questão da coleta de dados inicial, referente à queda de uma bola que colide com o solo elasticamente, o estudante A1 utiliza imagens mentais de uma bola de gude, que possui características de *driver* psicofísico. Na coleta de dados posterior, o estudante A1 usa a imagem mental de uma bola de futebol. Esta alteração, da bola de gude da coleta de dados inicial para a bola de futebol na coleta de dados posterior, é indício da possível modificação que possa ter ocorrido nos *drivers* de psicofísico para hipercultural, pois a simulação que os estudantes utilizaram era com uma imagem de uma bola de futebol. Nas transcrições a seguir, é possível comparar as respostas fornecidas pelo estudante A1:

Quadro 9 - Respostas da entrevista do estudante A1, na coleta de dados inicial e posterior

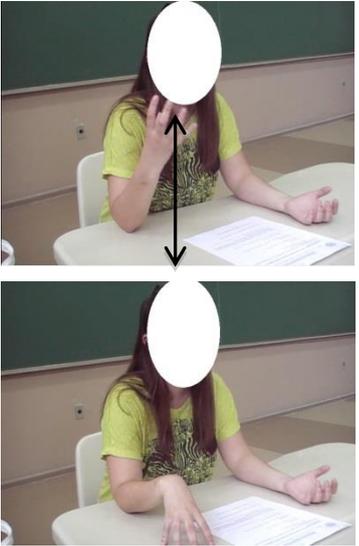
Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
P: Quando tu imaginas essa esfera, como é essa esfera? A1: Redonda! Uma bola, uma bolinha [0:55; RO]. P: Uma bolinha de algum material, uma coisa específica, que tu lembraste? A1: Uma <u>bolinha de gude</u> . [1:02; RO]. P: Qual a cor dela? A1: Transparente.	A1: Da bola? Do movimento todo? P: Isso, tudo, tudo o que tu imaginaste? A1: A bola quicando. Batendo no solo e quicando até uma altura máxima. [0:43; #OCS] P: Como é que era essa bola? A1: <u>Uma bola de futebol</u> . [0:48; #RO] P: Uma bola de futebol? A1: Isso!

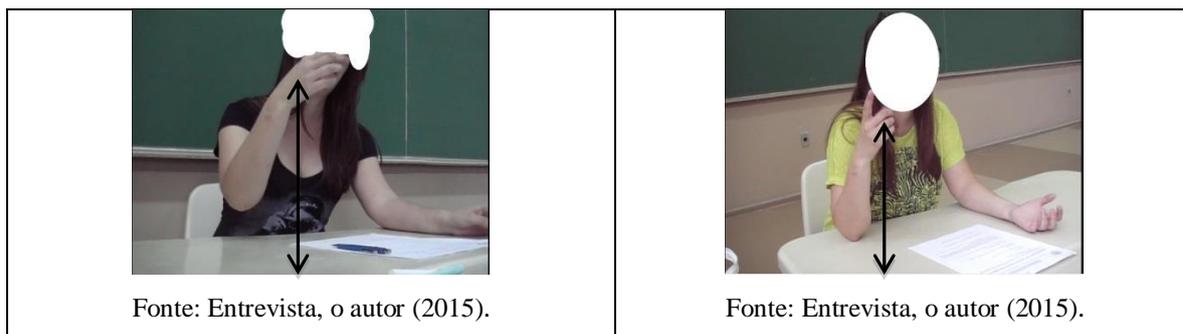
Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Com relação à altura de retorno, após a colisão elástica com o solo, na coleta de dados inicial, o estudante A1 considera que será menor após cada colisão. Na coleta de dados posterior, a sua resposta, em colaboração com a análise dos gestos apresentados na Figura 56, considera que a altura de retorno será igual ao ponto em que foi abandonada. A seguir, apresenta-se parte da transcrição dos dois testes para o estudante A1, com relação à altura de retorno para a colisão elástica com o solo.

Quadro 10 - Transcrição de entrevista do aluno A1, na coleta de dados inicial e posterior

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>A1: O que acontece com a altura da esfera? <u>Diminui conforme a velocidade diminui.</u></p> <p>P: Como assim diminui?</p> <p>A1: <u>Diminui a altura em relação à pessoa que atirou a bola</u> [1:33; #IA], a esfera né! Porque ela bate no chão, ela vai até uma altura, nisso ela perde velocidade, então ela bate no chão de novo e a altura não é a mesma, é um pouco menor [1:42; #MRA].</p>	<p>P: O que tu imaginaste?</p> <p>A1: A bola caindo e quicando. Batendo no solo e quicando <u>até uma altura máxima.</u> [0:43; #OCS]</p>

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>Figura 55 - Gestos realizados pelo estudante A1, durante a entrevista da coleta de dados inicial, quando indica que, após cada colisão elástica, há uma redução de altura.</p> 	<p>Figura 56 - Gestos realizados pelo estudante A1 na coleta de dados posterior, com indicação de que mantém a mesma altura após a colisão elástica com o solo.</p> 



Na coleta de dados posterior, apesar de não responder diretamente com relação à altura de retorno, o estudante A1 considera que será igual, conforme o trecho a seguir: “A1: A bola caindo e quicando. Batendo no solo e quicando até uma altura máxima”. Os gestos utilizados pelo estudante A1 colaboraram no entendimento de que a altura de retorno seria a mesma, o que se verifica na Figura 56. Nesta figura, observa-se que na primeira imagem parece que o estudante segura a esfera que será abandonada na mão direita; na segunda imagem, o momento de colisão, e, na última, com o dedo indicador apontado para cima, indica que a esfera subirá. Ao comparar a primeira e a terceira imagem da figura 56, as alturas são iguais, em ambas, a mão direita fica próxima da altura da cabeça do estudante A1.

O Estudante A1, durante a entrevista da coleta de dados posterior, não relata, diretamente, situações de utilização da simulação, contudo, indiretamente, há um conjunto de situações que são indícios da utilização das imagens mentais relacionadas com a simulação, que modificaram os *drivers* na coleta de dados inicial. Caso se comparem as Figuras 55 e 56, pode-se constatar que o estudante A1 muda inclusive os gestos que realizou para a representação do movimento nos dois testes. Identifica-se, então, a ocorrência de aprendizagem significativa, pois os *subsunçores* da coleta de dados inicial julgavam que a altura de retorno da esfera seria inferior à altura de onde foi abandonada, para colisão elástica com o solo. Este *subsunçor* sofre modificação após a utilização da simulação e considera que a altura de retorno será a mesma de onde o objeto foi abandonado.

Outro estudante que apresentou modificações na estrutura cognitiva após a utilização da simulação, com relação à altura de retorno do corpo após colidir com o solo, foi o A3. A transcrição da coleta de dados inicial e da coleta de dados posterior deste estudante com relação à colisão elástica com o solo foi assim expressa.

Quadro 11 - Transcrição de entrevista do estudante A3, na coleta de dados inicial e posterior

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Ah tá. Só a altura então vai reduzindo?</p> <p>A3: Isso. <u>A altura vai reduzindo enquanto ela vai [1:47; #MRA] picando.</u> No meu pensamento, ela quicou apenas uma vez [1:51; #MRA], mas seria isso.</p> <p>P: Como que seria essa redução? Seria rápida, seria lenta, como é que tu imaginas?</p> <p>A3: Nesse caso eu fiquei imaginando bolas de vários materiais [2:03; #IO], na explicação como é de borracha [2:07; #OC], a borracha vai ter maior atrito com o chão e é provável que ela suba menos [2:10; #OS]; já se fosse uma de metal, ou coisa assim [2:13; #OCS], subiria mais. Dependendo do peso também, se ela fosse pequeninha [2:17; #AO, #OCS], iria subir mais.</p>	<p>P: E com relação à altura da bola?</p> <p>A3: A altura da bola eu interpretei como sendo a <u>altura máxima [1:57; #IA] que ela vai atingir depois de um determina ciclo, vai permanecer a mesma [2:03; #IA],</u> porque uma colisão elástica e <u>ela volta com cem por cento [2:06; #OCS], então a altura seria sempre a mesma [2:08; #OCS].</u></p> <p>P: Ah tá, volta com cem por cento do quê?</p> <p>A3: Ah, <u>cem por cento de energia.</u></p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Não são mostradas figuras para representar os gestos realizados pelo estudante A3, pois eles se confundem com os gestos do estudante A1, representados nas figuras 55 e 56.

Na coleta de dados inicial do estudante A3, constata-se que ele emprega *drivers* psicofísicos, ao descrever as imagens mentais que utiliza enquanto realiza simulação mental, como o movimento de queda de uma bola. Se depender do material, terá diferentes alturas de retorno, conforme menciona o estudante: “Nesse caso eu fiquei imaginando bolas de vários materiais”, porque ele trocava o tipo de material, o que caracteriza a utilização de *driver* psicofísico, pois, provavelmente, foram adquiridos através da sua interação com esses materiais. Pela resposta fornecida na coleta de dados inicial, identifica-se que nos *subsunçores* do estudante A3 está ancorado o conceito de que a altura de retorno, após cada colisão elástica com o solo, será menor em relação à altura anterior.

Apesar de não estar no trecho selecionado na transcrição anterior, o estudante A3 ainda utiliza imagem mental referente a uma bola de borracha na coleta de dados posterior. Pelo menos um indício merece destaque: o de que o estudante A3 utiliza *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação. Na coleta de dados inicial, não menciona nenhuma vez a relação da conservação da energia com valores relativos, situação apresentada na coleta de dados posterior: “porque uma colisão elástica volta com cem por cento”, e mais à frente: “cem por cento da energia”.

No capítulo referente à simulação, para elaboração das simulações, o que determina o tipo de colisão é exatamente o fator de conservação de energia, que, para a colisão elástica, é de cem por cento. Dessa forma, pelo indício apresentado, o estudante A3 provavelmente tenha utilizado *drivers* adquiridos ou modificados pela simulação, mesmo indiretamente.

Com relação à altura, após a colisão elástica com o solo, na coleta de dados posterior, o estudante A3 considera que a altura de retorno será a mesma em relação ao ponto onde a bola foi abandonada: “a altura máxima que ela vai atingir depois de um determinado ciclo, vai permanecer a mesma”.

Os gestos realizados pelo estudante A3, em que movimenta a mão direita próxima da altura da cabeça e colide, pois, com a classe e retorna, aproximadamente, na mesma altura, próxima da cabeça, indicando que a altura de retorno será igual, aponta que nos *subsunçores* deste estudante está ancorado o conceito de que a altura de retorno será igual à altura em que a bola foi abandonada, para colisão elástica com o solo.

Para o estudante A3, como houve modificação em sua estrutura cognitiva, que caracteriza a ocorrência de aprendizagem significativa, a simulação se ancorou nos *subsunçores* e modifica o conceito da altura de retorno após a colisão. Junto a isso, há uma possível mudança dos *drivers* utilizados com relação à colisão elástica com o solo, de onde se conclui que a aprendizagem significativa subordinada está relacionada, neste caso, com a mudança do *driver* psicofísico.

Altura de retorno para a colisão inelástica com o solo

Apenas o estudante A14 apresenta indícios de que modificou os seus *drivers* após a simulação, para a situação de colisão inelástica com o solo. Na coleta de dados inicial considera que colidirá com o solo e permanecerá em repouso, conforme constata-se no seguinte trecho: “Inelástica, acho que ela cairia no chão e bateria e não retornaria”.

Ainda na coleta de dados inicial, identificou-se que o estudante A14 utiliza *drivers* com características psicofísicas, como se pode ver no seguinte trecho: “[...] se o chão fosse, por exemplo, um solo de areia, criaria um vínculo onde a bolinha ficaria alojada”, situação em que, provavelmente, já teve alguma interação.

Na coleta de dados posterior considera que a altura de retorno diminuirá após cada quique com o solo, pois leva em conta a dissipação de energia, como se vê no trecho a seguir: “perde essa energia, e acaba não voltando à altura inicial”.

Com relação aos *drivers*, observa-se que o trecho seguinte, da coleta de dados posterior, possui forte indício de que o estudante A14 utilizou *drivers* hiperculturais: “pensando diretamente, assim, já, inelástica ela tem um fator de rendimento na colisão de inferior a um, ou seja, ela tem uma perda no momento da colisão de energia”.

Este fator de rendimento se confunde com a ideia do fator de conservação de energia empregado na simulação, do que se conclui que provavelmente o estudante A14 utilizou *drivers* hiperculturais, relacionados com a simulação durante a coleta de dados posterior, e que tem, também, uma aprendizagem significativa com relação ao conceito da altura de retorno.

Altura de retorno para a colisão perfeitamente inelástica com o solo

Nenhum estudante apresentou respostas que indicassem modificação dos seus *subsunçores*, com relação ao movimento de queda e colisão com o solo, com indícios da utilização de simulação em sua resposta.

Altura de retorno para a colisão superelástica com o solo

Apenas o estudante A1 possui evidências de modificação dos *drivers* para hipercultural. Tais evidências foram apresentadas anteriormente no item 7.1.3.1, quando da análise do comportamento da colisão elástica com o solo para o estudante A1. Aqui, novamente, o estudante A1 modifica as suas respostas em relação ao que apresentou na coleta de dados inicial. Na transcrição a seguir, da coleta de dados inicial e da coleta de dados posterior do estudante A1, constatam-se estas modificações.

Quadro 12 - Modificações apresentadas nas respostas do estudante A1, em relação à coleta de dados inicial

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Ah! E se ela fosse superelástica?</p> <p>A1: Ela não pararia.</p> <p>P: Como é a imagem que tu tens?</p> <p>A1: Ela quicando sem parar. Superelástica. [8:25; #MMA]</p> <p>P: Uhum...</p> <p>A1: Quicando sem parar.</p> <p>P: Quicando sem parar. Isso por tempo indeterminado?</p> <p>A1: Tempo indeterminado.</p> <p>P: E a altura, o que aconteceria com a altura nessa superelástica?</p> <p>A1: Varia, varia, varia, né, a altura. Porque ela quica no chão, sobe, quica no chão, sobe. [8:40; #MMA]</p> <p>P: Tá. Mas a altura máxima dela seria a mesma, vai mudar, vai diminuir, o que tu imaginas?</p> <p>A1: Seria a mesma.</p> <p>P: Ah, ahm!</p> <p>A1: Os 2m.</p>	<p>A1: Na superelástica, eu acho que ela teria capacidade de atingir uma altura maior.</p> <p>P: A cada quique o retorno seria maior?</p> <p>A1: Ahm! Seria maior! Porque ela pega velocidade.</p> <p>P: Certo!</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Ao comparar as respostas fornecidas nas duas entrevistas, o estudante A1 modifica a sua resposta com relação à altura de retorno para uma colisão superelástica, onde, na coleta de dados inicial, considera que a altura de retorno seria a mesma da qual foi abandonada; enquanto, na coleta de dados posterior, ele considera que a altura de retornos após uma colisão superelástica com o solo, seria maior que altura em que o corpo foi abandonado. Considera-se que este estudante teve, portanto, aprendizagem significativa, relacionada com a altura de retorno de um corpo que colide elasticamente com o solo.

7.1.4 Não mudam o *driver* para hipercultural

A seguir apresentam-se os resultados encontrados de estudantes que não modificaram os seus *drivers* para hipercultural, mesmo após a utilização das simulações.

Altura de retorno para a colisão elástica com o solo

Para quatro estudantes, A13, A14, A15 e A16 não existem evidências da utilização dos *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação, para a situação de colisão elástica com o solo.

Os estudantes A14 e A15 utilizam, inicialmente, *drivers* culturais e psicofísicos: o primeiro lembra explicações fornecidas pelo professor e, o segundo, bolinha de pingue-pongue, considera a altura de retorno após uma colisão elástica com o solo inferior em que foi abandonada. Na coleta de dados posterior, não apresentam evidências da utilização de *drivers* hiperculturais, apresentam, tão-somente, características de utilização de *drivers* culturais, ao relatarem que se lembram de situações que envolvem explicações dadas pelo professor, passam a considerar que a altura de retorno para as bolinhas seria igual ao ponto de onde elas foram abandonadas, tendo aprendizagem significativa.

Os estudantes A13 e A16 responderam a coleta de dados inicial e a coleta de dados posterior, mas não apresentam características de aprendizagem significativa, pois utilizam os mesmos *subsunçores*, isto é, a altura de retorno da esfera seria menor em relação ao ponto onde foi abandonada, para a colisão elástica com o solo. Os *drivers* utilizados pelo A13 e pelo A16 apresentam características psicofísicas e socioculturais. Dessa forma, para os dois estudantes, a inalterância dos *drivers* coincidiu com a inalterância dos *subsunçores*.

Altura de retorno para a colisão inelástica com o solo

Para a situação da colisão inelástica com o solo, os estudantes A3, A12, A15 e A16 não apresentam evidências de que utilizaram *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação.

Os estudantes A3 e A12, em suas respectivas entrevistas iniciais, consideram que a bola ficaria parada após a colisão, com modificação após a simulação, e observam que reduziria a altura após cada colisão com o solo, têm aprendizagem significativa sem modificação dos *drivers* existentes inicialmente.

O estudante A15 já considerava, durante a coleta de dados inicial, que sofreria redução na altura de retorno após cada colisão com o solo, e manteria essa mesma resposta na coleta de dados posterior, sem que houvesse mudanças nos *subsunçores* deste estudante em relação à colisão inelástica com o solo. Semelhante ao estudante A15, o estudante A16 também não modifica os seus *subsunçores*, considerando nas duas entrevistas que, após a colisão inelástica, a bola permaneceria no solo.

Altura de retorno para a colisão perfeitamente inelástica com o solo

Um número significativo de estudantes não apresenta indícios de utilização de *drivers* hiperculturais para a situação colisão perfeitamente inelástica com o solo. Os estudantes A2, A3, A9, A10, A11, A12, A13 e A16 não modificaram os seus *drivers* de psicofísico ou sociocultural para hipercultural, associados à simulação, isso provavelmente por seus *drivers* psicofísicos serem suficientes para esta questão.

Os estudantes A2, A3, A12 e A13 não responderam como seria o comportamento da altura de retorno de um corpo que colide com o solo de forma perfeitamente inelástica, na coleta de dados inicial. Não se conseguiu identificar o motivo pelo qual os estudantes não responderam, colocando-se, como hipótese, que não tinham conhecimento para este tipo de colisão, nesta situação. Na coleta de dados posterior responderam corretamente. O estudante A10 respondeu corretamente nos dois testes. E os estudantes A9, A11 e A16 não responderam a nenhum dos dois testes.

Altura de retorno para a colisão superelástica com o solo

Os estudantes A2, A3, A4, A5 e A16 não apresentam indícios de utilização da simulação em suas respostas da coleta de dados posterior, mantêm, pois, os *drivers* já existentes. O estudante A3, nos dois testes, considerou que, após a colisão superelástica com o solo, o corpo retorna a uma altura superior em relação à que foi abandonada. Os estudantes A2 e A5 não conseguiram responder a nenhum dos dois testes. O estudante A4, na coleta de dados inicial, apresenta resposta confusa; enquanto na coleta de dados posterior, considera que a altura de retorno seria superior, e utiliza como imagem mental do movimento uma cama

elástica. O estudante A16 na coleta de dados inicial concebe que altura de retorno seria maior em relação ao ponto onde foi abandonado, e considera que a altura de retorno seria a mesma em relação ao ponto em que foi abandonada.

7.2 ANÁLISE DA PRIMEIRA QUESTÃO COM RELAÇÃO ÀS ENERGIAS APÓS A COLISÃO COM O SOLO

Passa-se à discussão das respostas dos estudantes com relação às suas interpretações anteriores e posteriores, a utilização das simulações com relação ao comportamento da energia cinética, potencial gravitacional e energia total do sistema, com a consideração dos diferentes tipos de colisão com o solo.

Para isso, serão analisadas quatro situações: mudança de *drivers* com aprendizagem significativa, mudança de *drivers* sem aprendizagem significativa, indícios de utilização de *drivers* hiperculturais com aprendizagem significativa, e sem modificação dos *drivers*.

7.2.1 Mudança para *driver* hipercultural com aprendizagem significativa

A seguir apresentam-se os resultados encontrados de estudantes que modificaram os seus *drivers* para hipercultural, com identificação de modificações na estrutura cognitiva, quando respondiam para a situação para as energias, em diferentes tipos de colisão.

Apresentação das energias para colisão elástica com o solo

Para colisão elástica com o solo, há a conservação das energias do sistema, e que, ao ser abandonado de certa altura, inicialmente, possui energia potencial gravitacional máxima; enquanto cai, a energia potencial gravitacional diminui e se transforma em energia cinética que irá aumentar. Após a colisão, o corpo muda o sentido de movimento e transforma energia cinética em energia potencial gravitacional, até que atinja a mesma altura de onde o corpo foi abandonado, conservando, assim, totalmente a sua energia.

Os estudantes A2, A4, A9, A10, A11, A12, A14 e A18 que possuíam *drivers* com características semelhantes, psicofísico ou cultural, e após a utilização da simulação utilizaram *drivers* hiperculturais associados com a simulação têm aprendizagem significativa. A seguir discutem-se as respostas fornecidas pelo estudante A9, que se assemelham aos demais estudantes. Inicialmente será apresentada parte da transcrição da coleta de dados inicial e da coleta de dados posterior, e a seguir figuras relacionadas com os gestos utilizados pelo estudante A9 enquanto respondia à questão.

Quadro 13 - Entrevista com o estudante A9, na coleta de dados inicial e posterior

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>A9: Energia cinética e energia potencial gravitacional. P: Uhum. A9: <u>Eu coloquei que ela vai diminuindo, conforme ela vai descendo e a altura vai tendendo a zero.</u> P: Certo, certo, muito bem. Que altura é essa que tu tá dizendo que tá tendendo a zero? É a altura do movimento, é a altura do retorno? A9: <u>É a altura da bola, a bola vai subindo [3:25; #OS] até [3;17; #OCS] acho que é o retorno, né?!</u> P: Ah tá, tá, ok. Beleza, Beleza. E depois pergunta? A9: <u>Pergunta a energia total. Daí eu não entendi.</u> P: Deixou em branco? A9: Deixei em branco.</p>	<p>P: E o que acontece com as energias? A9: <u>Eu botei que a energia cinética aumenta na descida e diminui na subida [2:23; #OCS].</u> P: A energia cinética aumenta na descida? A9: E diminui na subida. P: Tu tens alguma representação que tu tenhas colocado para essa energia? A9: Como assim? <u>Aquela barra de energia.</u> P: A energia! Tu lembra da barra de energia? A9: <u>Barra da energia. Tudo o que eu faço se associa àquele modelo.</u> P: E essa barra de energia quando tu pensas, tu tens a mesma cor? A9: Mesma cor que ficou gravada. P: Muito bem, e como é que fica o comportamento? Bom, aí depois se inicia energia potencial. A9: <u>Gravitacional. Eu botei que ela diminui quando está descendo [3:02; #OC], quando está chegando ao nível zero, e quando quica [3:06; #OC] aumenta na subida [3:06; #OS].</u> P: E como é que fica o comportamento da energia cinética e da energia potencial gravitacional, em termos do movimento de subida e descida? A9: <u>Ela vai oscilando, ela vai diminuindo a barrinha [3:21; #BEE]. A cinética vai diminuindo [3:28; #BEV] conforme chega no chão [3:30; #OC], e a gravitacional vai aumentando quando se afasta do chão [3:34; #OS].</u> P: Muito bem! Então tu relacionaste com o programa? Então, tu pensa na bolinha caindo e ao mesmo tempo consegue visualizar as barrinhas, ou são cenas diferentes? A9: Na mesma cena.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Figura 57 - Realização de gestos na coleta de dados posterior do estudante A9, representando a variação da barra de energia cinética



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Figura 58 - Gestos realizados durante a explicação da coleta de dados posterior do estudante A9, representando a variação da barra de energia potencial



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Na coleta de dados inicial, o estudante A7 utiliza *drivers* que possuem características de mediação psicofísicas, quando menciona que utiliza uma bola, *drivers* adquiridos através de mecanismos externos de mediação com uma bola quicando no solo. Ao mencionar energia cinética, energia potencial gravitacional, busca descrevê-las. Este conhecimento foi adquirido através de mecanismos externos característicos da mediação cultural, como livros, material didático e com o professor. Em suas respostas, em termos conceituais, verifica-se que na coleta de dados inicial o estudante afirma que a energia reduzirá, conforme a altura tende para zero, mas não especifica qual das energias irá ter esta relação. Relaciona diretamente com altura retorno que será reduzida, conforme já havia respondido anteriormente, ao ser questionado sobre a altura para o caso de colisão elástica com o solo. Importante salientar que a questão referente à energia cinética, potencial gravitacional ou total, para a colisão elástica com o solo, na coleta de dados inicial, o estudante A9 apenas realizou gestos para indicar a queda com redução de altura.

Na coleta de dados posterior, o estudante responde corretamente sobre o comportamento da energia cinética, enquanto gesticula para indicar a movimentação da bola caindo e subindo. Quando questionado se tem alguma representação para a energia, responde de imediato que seriam as “barras de energia”, com a utilização de imagens mentais dos

indicadores de nível utilizados na simulação; também descreve corretamente o comportamento da energia potencial. O *drivers* utilizados pelo estudante A9, em suas respostas na coleta de dados posterior, estão associados com a simulação, pois, conforme o próprio estudante mencionou: “tudo que eu faço associa àquele modelo”, com referência à simulação. Os gestos representados pela mão esquerda, figura 57, são realizados enquanto o estudante A9 fala: “Ela vai oscilando, ela vai diminuindo a barrinha [3:21; #BEE]. A cinética vai diminuindo”. Na análise da Figura 57, na primeira imagem, os dedos polegar e indicador da mão esquerda estão afastados; na figura seguinte, eles se aproximam e indicam que a energia reduz; e, na última imagem, os dedos voltam a se afastar, representando a aumento da energia. Na figura 58, a mão direita está um pouco encoberta pelo questionário posterior, mas observa-se que realiza gestos muito semelhantes aos realizados na figura 57, porém indica variação da energia potencial gravitacional, o que é indicativo das imagens mentais da barra de energia utilizada pelo estudante A9, enquanto explica: “a gravitacional vai aumentando quando se afasta do chão”. Interessante observar que para cada uma das barras de energia, o estudante A9 utiliza uma mão para representar barras distintas.

Ao comparar as respostas apresentadas pelo estudante A9, em sua coleta de dados inicial e posterior, fica evidente que ele modifica os *drivers* que utilizava. Na coleta de dados inicial, as imagens mentais que utilizou para explicar a energia cinética, seria a da redução da altura da bola quicando com o solo. Na coleta de dados posterior, o estudante, ao explicar o comportamento das energias, não mencionou a palavra bola, pois mudou o *driver*, considerando as “barras de energia”, imagem mental obtida através da mediação com mecanismo extracerebral da simulação.

Além das evidências obtidas através da fala do estudante A9, considera-se que na coleta de dados posterior ele realiza gestos relacionados com as imagens mentais das barras de energia; enquanto simula, mentalmente, o comportamento das energias. Além disso, a sua explicação com relação ao comportamento das energias é modificada, e admite a relação entre as energias cinética e potencial gravitacional, pois, enquanto simula mentalmente, descreve que: “a energia cinética aumenta na descida e diminui na subida”; enquanto a: “Gravitacional. Eu botei que ela diminui quando está descendo”. Esta relação entre as energias não foi apresentada na coleta de dados inicial, o que leva à conclusão de que houve modificação na estrutura cognitiva deste estudante, que o conceito de energia cinética e potencial gravitacional como inversas, enquanto um corpo cai e colide com o solo, ancorou-se nos *subsunçores* do estudante A9.

Mais adiante, durante a entrevista posterior, o estudante A9 considera que a energia total do sistema irá se “manter”, trazendo a ideia de conservação da energia total do sistema. Comparando com a entrevista anterior, onde o estudante A9 responde que “não entendeu” quando questionado em relação à energia total, identifica-se uma mudança na estrutura cognitiva do estudante. Não identifica-se a utilização de gestos pelo estudante na análise posterior, quando questionado em relação à energia total. Aqui, há também a situação de utilização de *drivers* hiperculturais com aprendizagem significativa.

Os resultados identificados anteriormente apontam que o estudante modificou os *drivers* que inicialmente eram psicofísicos ou culturais, para hiperculturais, relacionados com a simulação, além de aprendizagem significativa combinatória, pois relaciona os conceitos de energia que já faziam parte de sua estrutura cognitiva.

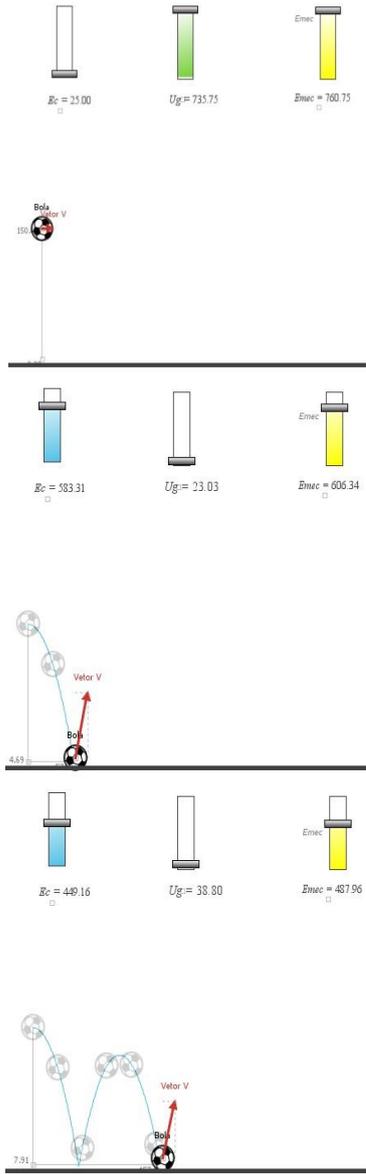
Análise das energias para colisão inelástica com o solo

A análise das energias para a colisão inelástica com o solo mostra que os estudantes A4, A7, A9, A12, A13 e A14 modificaram ou criaram *drivers*, relacionados com energias através de mediação hipercultural, e modificam os seus *subsunçores*. Os estudantes A4, A9, A13 e A14 não responderam a coleta de dados inicial, enquanto os estudantes A7 e A12 apresentaram respostas superficiais durante a coleta de dados inicial.

Na coleta de dados posterior, os estudantes A12 e A13 não realizaram gestos enquanto explicavam, os demais realizaram gestos indicando as barras de energia. O estudante A14 exemplifica, genericamente, as respostas apresentadas por todos os estudantes citados anteriormente em relação à coleta de dados posterior.

A transcrição do estudante A14 da sua entrevista da coleta de dados posterior, em relação à energia para colisão inelástica com o solo, é apresentada a seguir. A Figura 59 exemplifica os gestos realizados por esse estudante e a Figura 60 representa algumas imagens das barras energia utilizadas na simulação, para a colisão inelástica com o solo.

Quadro 14 - Entrevista do estudante A14, na coleta de dados inicial e posterior; a figura 59 apresenta os gestos do estudante explicando a colisão inelástica com o solo; a figura 60 mostra a simulação

Coleta de dados posterior	Gestos	Simulação
<p>P: Como ficaria o comportamento das duas energias, tanto a cinética quanto a potencial, nesta situação da colisão inelástica?</p> <p>A14: A cinética então ela vai, no momento da largada [11:00; #AO] ela é zero, vai estar parada, ela começa a ganhar velocidade [11:04; #OC] <u>começa aumentar a barrinha da energia cinética</u> [11:06; #BEV] e no momento da quicada [11:09; #OC], <u>aí até pela atividade que a gente fez utilizando o software de simulação para energias</u>, eu me lembro o que me ocorreu no momento da quicada, ela dissipa um pouco [11:21; #BEE] no momento do quique <u>ela reduziu um pouco o valor da energia</u>, que foi o que ela perdeu de energia naquele instante então ela, porque normalmente numa elástica ela é desse tamanho [11:35; #BEE], ela vai e fica fazendo isso [11:36; #BEV] no quique, e numa <u>inelástica</u> ela vem, quica, é o contrário para cinética, ela tá caindo, ela começa, sobe e desce a cada quicada e <u>no momento em que ela quicou aqui, ela vai ter uma queda no valor, daí ela não volta mais para aquele valor original</u>, aí a cada quicada, ela vai começar a perder até que vai sumir totalmente.[11:40; #BEV]</p>	<p>Figura 59 - Gestos realizados pelo estudante A14, enquanto explicava as barras de energia para colisão inelástica com o solo.</p>  <p>Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p>Figura 60 - Imagens da simulação para a colisão inelástica com o solo.</p>  <p>Fonte: Simulação, o autor (2015).</p>

O estudante A14, durante a sua entrevista da coleta de dados inicial, não respondeu sobre o comportamento das energias para a colisão inelástica com o solo, mas na coleta de

dados posterior responde de forma segura e detalha o comportamento das energias. Ao ser questionado sobre o comportamento das energias, ele utiliza o termo “barrinha” (“começa aumentar a barrinha da energia cinética”) para se referir às barras de energia. Pode-se afirmar que são imagens mentais obtidas pela mediação do mecanismo extracerebral da simulação. O estudante A14, ao mencionar: “a atividade que a gente fez utilizando o *software* de simulação para energias”, emprega o *driver* hipercultural obtido através da simulação, que são as barras de energia. A resposta do estudante está ligada, diretamente, à utilização deste mecanismo externo, que mesmo sem estar presente, ele ainda o emprega em suas explicações. Ao comparar com a coleta de dados inicial, onde não foi identificada a utilização de *drivers* relacionados com as energias para esta colisão, conclui-se que ele adquiriu os *drivers* das barrinhas de energia, relacionados com a simulação.

Com relação ao comportamento das energias para a colisão inelástica com o solo, o estudante A14 ancorou as relações das energias em seu *subsunçor*. Descreve o comportamento das energias detalhadamente, com o uso de gestos, conforme se verifica na figura 59, onde a mão direita indica o nível de energia inicial, que para esse caso seria máxima, na segunda imagem indica nível mínimo de energia, que nesse caso ele representa a energia cinética, seria no ponto mais alto da trajetória. Com a mão esquerda indica que o nível no momento da colisão sofrerá uma redução e perderá energia. Em comparação com a figura 60, há a situação inicial com energia total máxima; nas imagens dois e três nota-se que a energia diminui (nível de energia) a cada quique. Quando se relaciona os gestos realizados com as explicações fornecidas pelo estudante A14, conclui-se que a estrutura cognitiva foi modificada e tem aprendizagem significativa superordenada. Os conceitos relacionaram-se de forma mais abrangente com a sua estrutura cognitiva não-litera e não-arbitrariamente, ao mesmo tempo em que passou a utilizar *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação.

Análise das energias para colisão perfeitamente inelástica com o solo

Para a situação de uma colisão perfeitamente inelástica com o solo, um número significativo de estudantes não respondeu. Como consequência disso, não foi possível identificar estudantes que utilizaram diretamente *drivers* relacionados com a simulação, para a situação de colisão perfeitamente inelástica com o solo.

Análise das energias para colisão superelástica com o solo

As energias para a situação de colisão superelástica com o solo sofrerão um incremento após cada colisão. Todos os estudantes que responderam com relação ao comportamento das energias para a colisão superelástica com o solo utilizaram *drivers* hiperculturais e houve aprendizagem significativa deste conceito. Os estudantes A9, A12, A13 e A14, na coleta de dados inicial, não responderam quanto ao comportamento da energia para a colisão superelástica.

Para os estudantes A4 e A10 haverá perda de energia no momento da colisão, enquanto A7 e A14 consideram que manteria a mesma quantidade de energia inicial. Todos os estudantes citados anteriormente, na coleta de dados posterior, consideraram que haverá aumento de energia no momento da colisão com o solo de forma superelástica, com utilização de *drivers* hipercultural relacionado com a simulação.

Alguns estudantes utilizaram gestos para representar o ganho de energia, através das barras de energias. O estudante A7 realiza gestos para representar este incremento de energia. Na figura 61, ele indica que a mão direita representa a barra de energia referente à energia potencial, enquanto a mão esquerda representa a barra de energia para energia cinética.

Comparando a primeira e a terceira imagem da figura 61, nota-se que o braço esquerdo está mais alto em relação à primeira imagem. Neste momento, o estudante A7 indica aumento de energia cinética. Durante a coleta de dados inicial, o estudante A7 não realiza gestos que indiquem ganho de energia, apenas responde que haveria um ganho de energia, sem maiores explicações.

Figura 61 - Gestos realizados pelo estudante A7 na coleta de dados posterior, representando as barras de energia, para a situação da colisão elástica com o solo.



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

O estudante A7 modificou seus *drivers* para hipercultural com relação à colisão superelástica com o solo, e tem aprendizagem significativa combinatória, pois, mesmo ao considerar que haveria um ganho de energia na coleta de dados inicial, na coleta de dados

posterior descreve, detalhadamente, este ganho de energia após a colisão, e relaciona os conceitos já existentes na estrutura cognitiva.

7.2.2 Indícios de mudança para *driver* hipercultural com aprendizagem significativa

A seguir mostram-se os resultados encontrados de estudantes que apresentaram indícios que indicam a modificação dos seus *drivers* para hipercultural, modificando também a sua estrutura cognitiva, tendo aprendizagem significativa quando respondiam para a situação das energias potencial gravitacional, cinética e total, para diferentes tipos de colisões.

Análise das energias para colisão elástica com o solo

Os estudantes A1, A3 e A5 tiveram respostas semelhantes na coleta de dados inicial e na coleta de dados posterior. Todos apresentaram fortes indícios de que passaram a utilizar *drivers* hiperculturais, modificando a estrutura cognitiva quanto ao conceito de energias para colisão elástica com o solo.

Procede-se, então, à análise das respostas fornecidas pelo estudante A3, como exemplo de provável mudança de *driver* para hipercultural com aprendizagem significativa. A seguir, são apresentados trechos da entrevista do estudante A3 na coleta de dados inicial e na coleta de dados posterior, referentes à resposta das energias cinética e potencial gravitacional para o caso da colisão elástica com o solo. Logo em seguida, os gestos realizados pelo estudante A3 ao responder à questão na coleta de dados posterior, na Figura 62.

Quadro 15 - Transcrição da entrevista do estudante A3, na coleta inicial e posterior.

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>A3: Com a energia cinética. Eu descrevi aqui que <u>permanece a mesma</u>, na hora que eu respondi, agora eu não lembro exatamente qual foi o meu pensamento nesse momento, mas se eu não me engano foi por que eu pensei na forma elástica, ela continuaria a mesma. Porque variando a altura, mesmo assim, ela permaneceria. Foi o meu...</p> <p>P: Ela permaneceria o quê?</p>	<p>A3: A energia cinética se não me engano, ela é a que está associada com a velocidade. A energia cinética vai variar de acordo com a velocidade, que vai aumentar em quando a bola cai [2:53; #OC] e vai diminuir quando ela desce, vai variar do mesmo jeito que a velocidade.</p> <p>P: Tu crias alguma representação, alguma imagem mental para essa energia?</p> <p>A3: Não, eu <u>associei diretamente com a velocidade</u>.</p>

<p>A3: Permaneceria a mesma energia cinética do início da cena.</p> <p>P: Ah, certo, ok</p> <p>A3: A energia potencial gravitacional. Nessa daqui eu tive dois pensamentos bem rápidos. <u>No primeiro eu pensei que permaneceria a mesma,</u> porque a massa não varia a massa da bola, mas depois eu acabei lembrando, não sei se está certo ou não, <u>eu coloquei que diminui, porque a altura dela diminui.</u> Agora como eu <u>não lembro bem da equação da energia potencial gravitacional,</u> mas se eu não me engano tem alguma relação com a altura. <u>Como a altura iria diminuir, ela também iria diminuir.</u></p> <p>P: Tá e isso tu dizes durante o movimento? Ou é na situação que tu comparas com as alturas?</p> <p>A3: Eu já fui pela comparação que a gente estava <u>vendo uns exercícios também de pegar a primeira imagem e a última imagem.</u> A minha primeira imagem seria da pessoa soltando a bolinha [4:01; #AO] e a última imagem seria segundos antes dela quicar [4:04; #OCS]. A altura máxima [4:08; #IA] que ela alcançaria depois do primeiro quique. Mais ou menos essa cena que eu tinha na cabeça.</p> <p>P: Correto, Tá ok! Então?</p> <p>A3: Foi basicamente nisso que eu me baseei.</p> <p>P: <u>E essa imagem que tu tiraste de onde?</u> Que tu falaste de uma imagem inicial, tu lembraste de onde? De onde tu trouxeste essa imagem?</p> <p>A3: <u>Da minha imaginação mesmo,</u> eu imaginei uma pessoa, não sei, numa sala, em cima de um banco e soltando a bolinha [4:36; #AO]. Imaginei uma câmera filmando e daí ela assistindo a esse vídeo. Pegando a primeira e a última imagem.</p> <p>P: Uhum, tá bom. Próxima.</p> <p>A3: <u>A energia total.</u> Eu coloquei que ela diminui, porque a energia potencial gravitacional diminui conforme a altura, então, ao meu ver, <u>a energia total também diminui.</u></p> <p>P: Então tu relacionaste a energia total com?</p> <p>A3: Com a energia potencial gravitacional e a cinética. <u>Como a energia cinética eu comentei que permaneceu a mesma e a potencial diminuiu, logo a total também vai diminuir.</u></p>	<p>P: Tu associas diretamente com a velocidade?</p> <p>A3: Diretamente com a velocidade.</p> <p>P: Então, quando a velocidade aumenta, o que acontece com a energia cinética?</p> <p>A3: Aumenta.</p> <p>P: Aumenta.</p> <p>A3: E quando a velocidade diminui, a energia diminui.</p> <p>P: Tá, e o que acontece com a energia <u>potencial gravitacional?</u></p> <p>A3: Aqui eu coloquei que <u>ela é inversamente proporcional a energia cinética.</u> Porque se há uma conservação de energia, <u>enquanto uma sobe a outra desce</u> [3:36; #BEA], fica vice-versa, se a energia cinética aumento determinado valor [3:43; #BEE], a potencial gravitacional vai diminuir exatamente esse mesmo valor [3:47; #BEV], <u>permanece a mesma energia total.</u></p> <p>P: Faz uma relação entre as duas energias?</p> <p>A3: Faço uma relação.</p> <p>P: Quando tu indicas esse movimento das mãos de subir e descer, tu estás lembrando de alguma coisa?</p> <p>A3: Gráficos, de algum programa tipo Excel por exemplo.</p> <p>P: Gráficos de programas, tipo Excel?</p> <p>A3: Isso.</p> <p>P: Tá, daí tu indicas que esse comportamento, numa energia, qual seria energia cinética e potencial?</p> <p>A3: <u>Na minha cabeça a cinética sempre da esquerda.</u> [4:18; indica para esquerda]</p> <p>P: Sempre da esquerda.</p> <p>A3: Sempre da esquerda que vem primeiro.</p> <p>P: Vem primeira, depois a energia potencial gravitacional. Tá esses gráficos têm cor?</p> <p>A3: Agora eu imaginei azul e laranja. Azul para cinética e laranja para gravitacional.</p> <p>P: <u>E o que acontece com energia total?</u></p> <p>A3: <u>Ela vai permanecer a mesma.</u> No momento que uma diminui a outra aumenta [4:40; #BEA], acaba nivelando [4:45; #BEE] com a outra a energia total.</p> <p>P: Hum.</p> <p>A3: Se tem dez e dez [4:51; #BEA], se eu diminuir dois e aumentar dois, vai dar vinte no final igual.</p>
---	---

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Figura 62 - O estudante A3, na coleta de dados posterior, gesticula com as duas mãos, a fim de indicar a variação entre as energias cinética e potencial gravitacional. A última imagem quando fala que a energia total permanece a mesma, representando que ela não estaria variando.



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

O estudante A3, durante a coleta de dados inicial, considerou que a energia cinética seria constante durante todo o movimento. Não foram identificadas imagens mentais relacionadas com a energia cinética. A imagem mental utilizada pelo estudante foi adquirida por mecanismo de mediação externa cultural, quando menciona que viu em uns exercícios, mas não foi possível a identificação dos *drivers* utilizados. Nos *subsunçores*, estava ancorado inicialmente que a energia cinética permaneceria constante, sem relação com outras grandezas.

Em seu *subsunçor* possui a ideia de que a energia potencial está relacionada diretamente com a altura do corpo: “Como a altura iria diminuir, ela também iria diminuir”. Com relação à energia total, considera que essa vai diminuir, porque, apesar de a energia cinética permanecer constante, a energia potencial gravitacional diminuirá; logo, a energia total também será reduzida. Não foi identificado na coleta de dados inicial que o estudante realizasse gestos relacionados com qualquer forma de energia, apenas gestos que representam o movimento do corpo.

Na coleta de dados posterior, as respostas dadas pelo estudante A3, com relação às formas de energia durante a queda da bola, estão mais consistentes. Relaciona energia cinética com velocidade e afirma que a energia cinética variará da mesma forma que a velocidade, ou seja, se a velocidade aumentar, a energia cinética também aumentará, ou com a sua redução (velocidade) a energia cinética também sofrerá redução.

Verifica-se, portanto, que não relaciona diretamente energia potencial gravitacional com a altura, porém realiza uma relação bem interessante que manifesta que ela é inversamente proporcional à energia cinética, isto é, quando uma aumenta a outra sofre redução, relação que não havia durante a coleta de dados inicial, o que pode ser um indício de que os *drivers* de energia sofreram modificações, alterações devido à simulação, pois

considera que a mesma mostra exatamente esta relação inversa. Ele diz que utiliza gráficos *Excel*, porém as imagens que emprega são imagens dinâmicas. Os gestos não são estáticos; eles apresentam variação nas energias, semelhante ao que ocorre na simulação.

Dessa forma, o estudante A3 utiliza *drivers* adquiridos pela simulação, que indicam “barras de energia”. Conforme mencionado pelo estudante, cada uma das mãos representa energia cinética ou energia potencial gravitacional. A última imagem que aparece na figura 60 é quando o estudante A3 se refere à energia total do sistema, que permanece constante.

Considera-se que os indícios de que o estudante utiliza a simulação, principalmente quando comparadas as respostas da coleta de dados inicial com a coleta de dados posterior. Inicialmente não se conseguiu identificar os *drivers* que o estudante A3 utiliza, mas, pelas respostas, são de origem psicofísica ou hipercultural. Na coleta de dados posterior, o estudante A3 usa *drivers* de origem hipercultural para responder às questões.

Além desta identificação da mudança dos *drivers*, verifica-se que, na entrevista da coleta de dados posterior, responde através da consideração de uma relação inversa entre as energias cinética e potencial gravitacional e que a energia total se conserva. Esta resposta, comparada com a coleta de dados inicial, demonstra modificação nos *subsunçores* do estudante e faz relação com os conceitos já existentes na estrutura cognitiva, que tende para uma aprendizagem significativa combinatória.

Assim, o estudante A3 apresenta fortes indícios de que modificou seu *drivers* para hipercultural, ao mesmo tempo em que se identifica a ocorrência de aprendizagem significativa.

Análise das energias para colisão inelástica com o solo

Apenas o estudante A3 apresenta indícios da utilização da simulação, enquanto responde à questão referente à energia para a colisão inelástica com o solo. A seguir, parte da transcrição dos dois testes, relacionados com a colisão inelástica com o solo.

Quadro 16 - Transcrição de parte dos testes com o estudante A3, para colisão inelástica com o solo

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Na inelástica?</p> <p>A3: Na inelástica.</p> <p>P: E as energias, o que iria acontecer com elas?</p> <p>A3: A cinética eu não sei descrever. E a potencial gravitacional seria zero, porque não teria altura para poder relacionar.</p>	<p>P: E o que acontece com as energias?</p> <p>A3: A energia cinética vai variar do mesmo jeito. E a potencial também. Quando a bolinha estiver caindo [5:48; #OC] a energia cinética vai ser superior [5:52; #IA] à gravitacional e quando estiver subindo a gravitacional vai ser superior à cinética [5:55; #BEA]. E a energia total vai diminuir, porque tem uma perda de energia no choque. [6:00; #BEA]</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Na coleta de dados inicial não foram identificados *drivers* que estivessem relacionados com as energias. Ainda, o estudante A3 não consegue responder na coleta de dados inicial para energia cinética e considera que a energia potencial gravitacional seria zero, porque não teria altura de retorno. Na coleta de dados posterior, o estudante afirma que a relação entre as energias, há variação, enquanto uma aumenta a outra sofre redução, o que já demonstra uma evolução em relação à resposta apresentada pelo A3 na coleta inicial. Além disso, o estudante realiza gestos que indicam a variação das energias, gestos iguais à representação da figura 62, que são indícios da utilização da simulação, pois lembram as barras de energia. É importante ressaltar que em momento algum realizou gestos semelhantes na coleta de dados inicial.

Dessa forma, os *drivers* utilizados pelo estudante A3 são de origem hipercultural. A resposta que apresenta na coleta de dados posterior é diferente da resposta apresentada na coleta de dados inicial, em que se constata que houve modificação nos conceitos existentes no *subsunçores*, e tem aprendizagem significativa com provável utilização de *drivers* hiperculturais.

Análise das energias para colisão perfeitamente inelástica com o solo

Os estudantes A3, A7, A12 e A14 utilizam *drivers* hiperculturais tendo aprendizagem significativa, em relação aos conceitos das energias para colisão perfeitamente inelástica com o solo. A seguir, discutem-se os resultados apresentados pelo estudante A14, que são semelhantes às respostas apresentadas pelo estudante A7. Os dois estudantes não responderam às questões da coleta de dados inicial.

Então, apresenta-se a transcrição da coleta de dados posterior do estudante A14, com relação à energia para a colisão perfeitamente inelástica com o solo, e a Figura 63 indica os gestos realizados pelo estudante A14, enquanto explicava o comportamento das energias para a colisão perfeitamente inelástica.

Quadro 17 - Transcrição da coleta de dados posterior do estudante A14; a figura 63 traz os gestos feitos pelo estudante ao explicar a colisão perfeitamente inelástica

Coleta de dados posterior	
<p>P: Com as energias. (Colisão perfeitamente inelástica)</p> <p>A14: Se anulam, se anulam. Não se acumulam uma à outra [incompreensível].</p> <p>P: Todas?</p> <p>A14: Sim.</p> <p>P: Tu enxergas isso de que forma? Tu utilizas as barras ou tu utilizas a relação matemática?</p> <p>A14: Acho que um pouco de cada, primeiro para chegar à conclusão de que elas <u>vão zerar a fórmula</u>, que tu tem a cinética [15:29; #BEE], tu tem a cinética, tu largou ela, ela vem ganhando velocidade [15:33; #BEV], mas no momento que ela quicou ela caiu e toca o solo ela zera [15:38; #BEV, zero], a velocidade foi a zero, foi tudo dissipado. Ela zerou a barra fez isso daqui, a barra começo a cair, ficou no solo. [15:43; #BEV, sobe e desce rapidamente] P: Ficou parada?</p> <p>A14: E aí, gravitacional, potência gravitacional ela é alta porque tem altura, e à medida que ela cai ela zera, e fica estática. Essa imagem.</p>	<p>Figura 63 - Os gestos realizados pelo estudante A14, na entrevista da coleta de dados posterior, indicam as barras de nível de energia para colisão perfeitamente inelástica.</p>  <p>Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>

A partir da análise da resposta do estudante A14, identifica-se a existência de indícios de que ele esteja utilizando *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação, mas também *drivers* culturais. No momento em que o A14 faz referência à utilização das fórmulas, há o indicativo de que nas suas imagens mentais utiliza as fórmulas para responder à questão, *driver* adquirido através da interação com o professor, provavelmente.

A explicação associada com a realização de gestos, que indicam barras de energia, é forte indício de que a mudança de *driver* hipercultural tenha ocorrido.

A figura 63 apresenta os gestos realizados pelo estudante A14 enquanto explica o comportamento da energia cinética para colisão perfeitamente inelástica. A primeira imagem referente ao instante inicial, momento em que a bolinha seria abandonada, a energia cinética é zero. À medida que o objeto cai, a energia cinética vai aumentando até atingir o nível máximo de energia, indicado na Figura 63; na segunda imagem, a mão esquerda indica o máximo de energia e à direita a variação da energia na barra.

Quando o estudante A14 refere: “no momento que ela quica, ela caiu e toca o solo ela é zero” está se referindo à dissipação total de energia, e, instantaneamente, os dedos da mão direita que indicavam a energia, passam a indicar que não há mais energia, na terceira imagem. Com isso, consideram-se as barras de energias, inclusive com a realização de gestos, forte indício de que houve utilização de imagens mentais da simulação, enquanto explicava o comportamento de energias para colisão perfeitamente inelástica.

Além disso, considerando que esse estudante não respondeu com relação ao comportamento das energias para a colisão perfeitamente inelástica, pode-se concluir que esses conceitos ancoraram-se na estrutura cognitiva do estudante, modificando-a, e, assim, houve aprendizagem significativa superordenada.

7.2.3 Mudança para *driver* hipercultural sem aprendizagem significativa

A seguir apresentam-se os resultados encontrados de estudantes que modificaram os seus *drivers* para hipercultural, sem identificação de modificações na estrutura cognitiva, quando respondiam para a situação das energias, em diferentes tipos de colisão.

Análise das energias para colisão elástica com o solo

Para a situação da colisão elástica com o solo, verifica-se a ocorrência para dois estudantes que passam a utilizar *drivers* hipercultural, adquiridos com a simulação, porém não modificam os conceitos já existentes na estrutura cognitiva com relação à energia, os estudantes A7 e A13. As respostas apresentadas por ambos são muito semelhantes, inclusive realizam gestos que se assemelham. Admitem, na coleta de dados inicial e posterior, a relação

de que a energia cinética é inversamente proporcional à energia potencial gravitacional, e que a energia total do sistema permanece constante. Como imagem mental, utilizam na coleta de dados inicial “barras de energia”, que são mecanismos externos adquiridos pela mediação cultural com o professor. Quando questionados sobre a origem das barras, o estudante A7 diz: “foi da aula do professor”; enquanto o estudante A13, ao explicar a origem da ideia das barras, expõe: “Isso daqui a gente até usava na aula”.

Na coleta de dados posterior, ambos continuam utilizando as barras de energia, porém passam a considerar como mecanismo externo de mediação a simulação. O estudante A7, ao se referir sobre a origem das barras de energia que utiliza na coleta de dados posterior, diz: “Eu tirei esta barrinha da simulação”. O estudante A13, da mesma forma, faz menção à origem das barras de energia relacionada com a simulação: “consigo enxergar as barrinhas juntas, como até lá no *software* que as barrinhas” (sic).

Dessa forma, ambos os estudantes não mudaram conceitualmente as respostas que forneceram com relação às energias, porém, apesar de considerarem as barras de energia em suas respostas de coleta de dados inicial, modificaram os *drivers* de culturais para hiperculturais, sem modificação na sua estrutura cognitiva.

Análise das energias para colisão inelástica, perfeitamente inelástica e superelástica com o solo

Não foi identificado nenhum estudante que tenha utilizado *driver* hipercultural, sem a ocorrência de aprendizagem significativa, para a situação da colisão inelástica, perfeitamente inelástica e superelástica com o solo.

7.2.4 Não mudam o *drive* para hipercultural

Análise das energias para colisão elástica com o solo

Foram identificados três estudantes, A8, A15 e A16, que não modificaram os seus *drivers* para hiperculturais após a simulação, com relação à análise da energia cinética,

potencial gravitacional e total, para colisão elástica com o solo. De forma geral, as respostas apresentadas por estes estudantes não se modificaram entre os dois testes, e se caracterizam por não modificar seus *subsunçores*.

Análise das energias para colisão inelástica com o solo

Identificaram-se dois estudantes, A10 e A16, que não apresentam indícios de utilização dos *drivers* hiperculturais durante as respostas da coleta de dados inicial. O estudante A10 não apresenta aprendizagem significativa, tendo respostas iguais durante os dois testes, enquanto o estudante A16 apresentou uma evolução em sua resposta, já que na coleta de dados inicial não conseguiu responder e na coleta de dados posterior passa a considerar a dissipação de energia, mas em momento algum apresenta indícios de utilização da simulação em suas respostas.

Análise das energias para colisão perfeitamente inelástica com o solo

Os estudantes A5 e A16 não apresentam indícios de que tenham utilizado imagens mentais da simulação, *drivers* hiperculturais. Ambos não responderam durante a coleta de dados inicial, mas na coleta de dados posterior passaram a considerar basicamente que a energia seria dissipada totalmente, como por exemplo, a resposta do A5: “Energia cinética ela vai variar, vai se transformar, no caso, por exemplo, ela vai se esborrachar [8:45; mão colidindo com solo se esborrachando], vai se dissipar totalmente no chão.”

Pode-se considerar que ocorreu modificação nos *subsunçores* destes estudantes, pois passaram a responder corretamente à relação da energia para colisão perfeitamente inelástica.

Análise das energias para colisão superelástica com o solo

Não se identificou nenhum estudante que tenha utilizado *drivers* hipercultural, sem a ocorrência de aprendizagem significativa, para a situação da colisão superelástica, com o solo.

7.3 ANÁLISE COM RELAÇÃO À SEGUNDA SIMULAÇÃO

A seguir apresenta-se a análise para a segunda questão, em relação ao movimento para colisão elástica, comportamento das energias cinética e momento para colisão elástica. Em seguida, avaliam-se os principais desdobramentos para a colisões inelástica, perfeitamente inelástica e superelástica.

7.3.1 Análise com relação à colisão elástica na horizontal

Aos dois grupos de estudantes foi apresentada uma questão relacionada com colisão elástica, entre um móvel que estava em movimento com outro que estava em repouso, sendo a massa destes dois corpos iguais. Na coleta de dados inicial foi utilizada a situação da colisão entre duas esferas, enquanto que na coleta de dados posterior, a situação da colisão entre dois carros, conforme pode ser verificada nos Apêndices A e B.

No grupo A, três estudantes possuem características de utilização de *driver* hipercultural (A9, A10, A11) relacionado com a segunda simulação. Os três estudantes não tiveram aprendizagem significativa, pois respondiam conceitualmente corretas já na primeira entrevista, mantendo a mesma resposta na entrevista posterior. É importante destacar que o que muda para estes estudantes são as suas explicações, que passam a ser mais detalhadas. Como exemplo, traz-se a análise do estudante A11:

Quadro 18 - Análise da coleta de dados inicial e posterior do estudante A11

Análise de dados inicial	Análise de dados posterior
<p>P: Na situação ao lado, o alvo encontra-se em repouso, esfera B, e o projétil em movimento esfera A, ambos com massas iguais, e que após determinado tempo irão colidir. O que irá acontecer, após uma colisão elástica, com a velocidade das duas esferas?</p> <p>A11: <u>Eu botei que após a colisão, as velocidades se invertem.</u> [9:03; indica com a mão a ideia de inversão]</p>	<p>A11: O carro A encontra-se parado em um cruzamento, esperando a sinaleira abrir, quando o carro B, idêntico ao carro A, ambos com massa de 1000 kg, deslocando-se na mesma direção e sentido com velocidade de 20m/s, fica sem freio e colide com o carro A. Com relação à situação acima, determine o que irá acontecer após uma colisão elástica como: qual a velocidade dos dois carros?</p> <p>P: Tá, quando tu imaginaste essa situação da colisão, me descreve o que tu imaginaste, o que tu utilizaste para representar isso?</p> <p>A11: <u>É que o que eu imaginei para descrever foi tudo em</u></p>

<p>P: Quando imaginou este movimento, teve alguma imagem específica para esta figura?</p> <p>A11: <u>A própria deformação da bola</u>, [9:14; RO, deformando] no corpo parado.</p>	<p><u>cima do simulador</u>.</p> <p>P: Tudo em cima do simulador. Descreve tudo que tu estás vendo do simulador.</p> <p>A11: Do simulador, foi simulado, ao invés dos carros, as bolinhas (...)</p> <p>P: Aham.</p> <p>A11: Só substitui, em vez de ser os carros, são as bolinhas.</p> <p>P: E as bolinhas, qual é cor delas que tu imaginas?</p> <p>A11: Verde.</p> <p>P: Verde? Mesma do simulador. E aí, como é comportamento da velocidade dela para a primeira questão ali?</p> <p>A11: <u>Que a velocidade dos dois carros se inverte, o carro que estava parado, o carro que estava em movimento bater no que estava parado</u> [8:43; #MO], <u>vai empurrar o que estava parado</u> [8:47; #MO] <u>e ele vai ficar parado</u> [8:50; Indicação de parado] no local onde estava o carro que estava pressionando.</p>
--	--

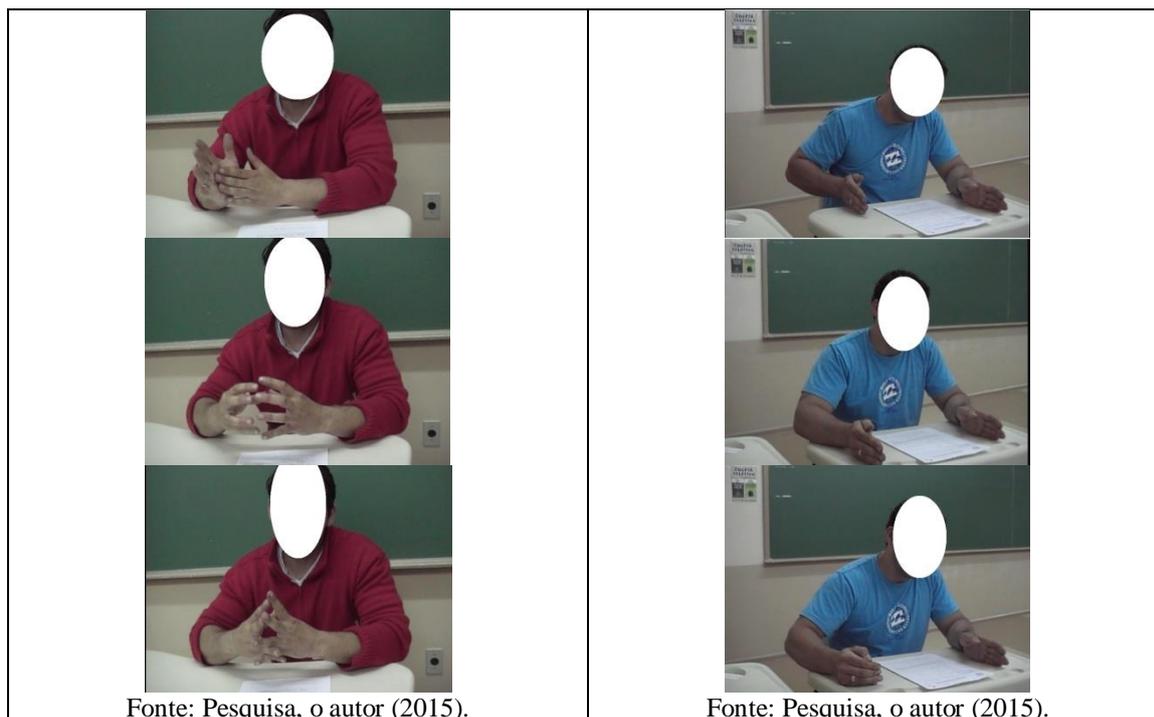
Fonte: Entrevista, o autor (2015).

A seguir, na Figura 64, imagens dos gestos realizados pelo estudante A11, enquanto explicava a colisão elástica entre duas esferas. Na primeira imagem, o estudante representa o momento da colisão, na segunda e terceira imagem a representação da deformação das esferas.

Na Figura 65, o estudante A11 representa o movimento dos dois carros: na primeira imagem representa o movimento do carro que inicialmente está em movimento; na segunda, indica que esse carro ficará em repouso; e, na última, representa a movimentação do carro que inicialmente estava em repouso.

Quadro 19 - Figuras 64 e 65 – gestos realizados pelo estudante A11, representando colisão elástica entre duas esferas e entre dois carros (coleta de dados inicial e posterior)

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
Figura 64 - Gestos realizados pelo estudante na primeira entrevista, enquanto explicava colisão elástica entre duas esferas.	Figura 65 - Gestos realizados pelo estudante A11 na segunda entrevista, enquanto explicava a colisão elástica entre dois carros.



Na primeira entrevista, o estudante A11 não enfatiza muito a situação do comportamento do movimento, mas na segunda passa a descrever o comportamento de forma detalhada, valendo-se inclusive de gestos para representar o movimento.

No caso do estudante A11, comparando as duas entrevistas, identificou-se a modificação dos *drivers* por ele utilizados. Na primeira entrevista, utiliza imagens mentais descrevendo a necessidade da deformação de uma bola, enquanto que na segunda entrevista descreve imagens mentais relacionadas com a simulação. Com a utilização das imagens mentais pelo estudante A11, relacionadas com a simulação, ele não utiliza imagem mental de carros colidindo, na segunda entrevista, conforme o enunciado da questão (Apêndice B), mas sim de bolinhas, o que é um indício de utilização de imagens mentais relacionadas com a simulação.

Conforme já mencionado, na entrevista posterior, o estudante descreve de forma bem mais detalhada a sua resposta. Identifica-se que os outros dois estudantes, que passaram a utilizar o *driver* hipercultural, tiveram respostas semelhantes às do estudante A11, modificando o *driver* psicofísico para hipercultural.

Os estudantes A2, A7, A8, A15 apresentam indícios de modificação na sua estrutura cognitiva, sendo que os estudantes A2 e A15 tiveram aprendizagem significativa, mas conceitualmente incorreta. A grande maioria dos estudantes não teve aprendizagem significativa (A1, A3, A4, A5, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A16) (11/15), onde os

estudantes A1, A4, A9, A10, A11 e A16 já respondiam corretamente na coleta de dados inicial e mantiveram suas respostas corretas. Os demais estudantes (A3, A5, A12, A13, A14) não responderam corretamente na coleta de dados inicial e mantiveram a mesma resposta na coleta de dados final.

A maioria dos estudantes continuou a utilizar *drivers* de origem psicofísica, onde na coleta de dados inicial utilizam imagens mentais relacionadas com jogo de bocha, bolinha de gude ou jogo de sinuca; passando para a coleta de dados posterior, a utilização de imagens mentais relacionadas com colisão de carros. Dessa forma, pode-se concluir que a maioria dos estudantes utilizou imagens diretamente relacionadas com as informações fornecidas nos questionários (Apêndices A e B), onde o primeiro relatava a colisão de duas esferas e o segundo a colisão de dois carros.

Na sequência, parte da transcrição do estudante A3 nas duas entrevistas, onde passa a descrever o comportamento do movimento dos corpos, principalmente após a colisão, em que se verifica que o estudante mantém a ideia nas duas entrevistas, sem maiores modificações, o que considera-se como um exemplo dos estudantes que responderam corretamente nas duas entrevistas.

Quadro 20 - Transcrição da entrevista do estudante A3, na coleta de dados inicial e posterior

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>A3: Na situação ao lado, algo encontra-se em repouso (esfera B) e um projétil em movimento (esfera A), ambos com massas iguais e que, após determinado tempo, irão colidir. O que irá acontecer após uma colisão elástica? a) com as velocidades das duas esferas.</p> <p>A3: Aqui eu coloquei que a velocidade da primeira <u>esfera</u> ela é passada, vamos dizer assim, para a segunda esfera [8:12; #IC, direita], que se encontra no repouso. A primeira vem com velocidade de 5m/s e a segunda se encontra em repouso. No meu pensamento, ela bateria [8:24; #IC, direita] a esfera B começaria a andar com velocidade de 5m/s [8:28; #IMH, direita] e a A ficaria em repouso.</p>	<p>A3: O carro A encontra-se parado em um cruzamento, esperando a sinaleira abrir, quando o carro B, idêntico ao carro A, ambos com massa de 1000 kg, deslocando-se na mesma direção e sentido com velocidade de 20m/s, fica sem freio e colide com o carro A. Com relação à situação acima, determine o que irá acontecer após uma colisão elástica: a) Com as velocidades dos dois carros.</p> <p>A3: <u>O carro A</u> está parado, e o carro B vem a 20m/s [10:25; #IC] e a colisão é elástica, eu imagino que a velocidade do carro A passa a ser de 20 m/s e o carro B fica zero. O carro B ficaria parado [10:37; IC] e toda energia do carro B passaria para o carro A.</p>

Fonte: Coleta de dados – pesquisa do autor (2015).

A seguir, a Figura 66 representa os gestos realizado pelo estudante A3, durante a primeira entrevista, para representar a colisão elástica entre dois corpos. Na primeira imagem (Figura 66), a mão esquerda (esfera em movimento) se deslocando em direção à mão direita, que representa a esfera em repouso; a segunda imagem traz o momento da colisão, indicado pela junção das duas mãos; e a terceira imagem após a colisão, a mão esquerda em repouso e a mão direita em movimento.

Na Figura 67, os gestos realizados pelo estudante A3 na segunda entrevista: na primeira figura, a mão direita representa o carro que inicialmente está em movimento, deslocando-se em direção à mão esquerda que representa o carro que inicialmente está em repouso; na segunda, a indicação do momento da colisão; enquanto que a terceira figura indica a mão esquerda se deslocando e a mão direita em repouso, ou seja, a troca de movimento entre os carros.

Quadro 21 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante A3; e figura 64 e 65 (gestos indicando a colisão elástica na primeira e segunda entrevista)

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p data-bbox="225 1167 780 1261">Figura 66 - Gestos realizados pelo estudante A3, indicando a colisão elástica na primeira entrevista.</p>  <p data-bbox="328 1989 675 2018">Fonte: Pesquisa, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="802 1167 1358 1261">Figura 67 - Gestos realizados pelo estudante A3, indicando a colisão elástica na segunda entrevista.</p>  <p data-bbox="906 1989 1252 2018">Fonte: Pesquisa, o autor (2015).</p>

Para os estudantes do grupo B, verifica-se que quatro estudantes (B2, B8, B9, B14) passaram a utilizar *drivers* hiperculturais. Todos estes estudantes tiveram aprendizagem significativa correta. No exemplo a seguir, o estudante B14 inicialmente responde com características mais psicofísicas (bolas de sinuca), mas conceitualmente incorretas.

Na segunda entrevista, utiliza *driver* com característica hipercultural, conceitualmente correto. No início da transcrição referente à coleta de dados posterior, o estudante começa modificando a sua resposta inicial, onde havia considerado a situação de uma colisão inelástica.

Quadro 22 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B14

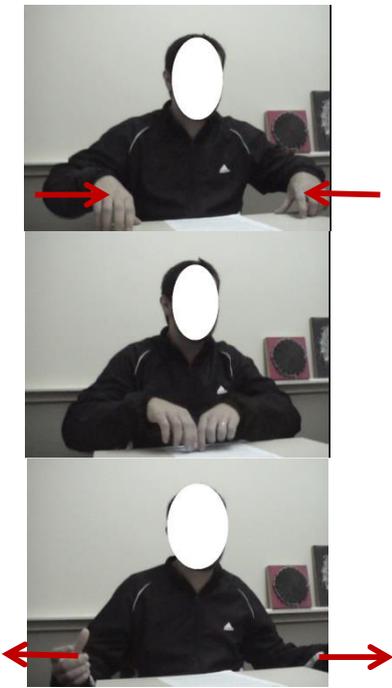
Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>B14: Na situação ao lado o alvo encontra-se em repouso a esfera B, e o projétil em movimento, esfera A, ambos com massas iguais e que após determinado tempo irão colidir. O que irá acontecer após uma colisão elástica com o movimento das esferas?</p> <p>P: Uhun.</p> <p>B14: <u>Terão sentido contrário ou a esfera A entra em repouso e a B em movimento.</u></p> <p>P: Quando tu pensaste nessa situação, as duas esferas colidindo, o que que tu pensaste?</p> <p>B14: No jogo, sabe quando tu joga sinuca, bilhar?</p> <p>P: Uhun.</p> <p>B14: Dependendo da velocidade que tu bate, do ângulo que tu bate na bola, uma se desloca e a outra fica em repouso.</p> <p>P: Perfeito.</p> <p>B14: E dependendo da maneira que tu bate nela, porque tu tá projetando ela, ela pega um movimento diferente e quando ela bate, ela volta. Vai uma pra cada lado e volta. Não sei se tu já viste, elas colidem e voltam.</p>	<p>P: Na elástica, então os carros ficam grudados?</p> <p>B14: Não, não ficam, não sei, porque eu coloquei isso.</p> <p>P: Como é que ficam então?</p> <p>B14: Na verdade eles ficam massa de 1000 kg. É que eu devo ter confundido com a inelástica, como é elástica <u>eles vão bater e o carro A deve ficar parado e o carro B seguir com a mesma velocidade.</u></p> <p>P: Tá! E de onde tu tens essa imagem, tu trazes para resolver, aí qual foi a imagem que tu utilizaste?</p> <p>B14: <u>Aquela primeira do modelo</u> lá, a primeira que as massas eram iguais de 3kg os dois, um bate e fica parado e o outro segue na mesma velocidade.</p> <p>P: Então tu estás respondendo a partir da simulação?</p> <p>B14: A partir da primeira.</p> <p>P: Está pensando na simulação agora?</p> <p>B14: Sim.</p>

Fonte: Pesquisa, o autor (2015).

Nas Figuras abaixo, os gestos realizados pelo estudante B14 nas duas entrevistas relacionados com a colisão elástica. Verifica-se que na Figura 68, os gestos realizados pelo estudante B14 durante a primeira entrevista: na primeira imagem representando as duas

esferas antes da colisão, na segunda imagem o momento da colisão, e na terceira imagem as esferas após a colisão se deslocando para lados opostos. Na Figura 69, a sequência de gestos realizados pelo estudante B14 enquanto explicava a colisão elástica entre dois carros, durante a segunda entrevista.

Quadro 23 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante B14; figuras 68 e 69 representando os gestos relativos à colisão elástica entre duas esferas e entre dois carros

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p data-bbox="256 703 815 801">Figura 68 - Gestos realizados pelo estudante B14 durante a entrevista anterior, com relação à colisão elástica entre duas esferas.</p>  <p data-bbox="355 1529 715 1559">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="834 703 1393 835">Figura 69 - Gestos realizados pelo estudante B14 enquanto respondia a entrevista posterior à simulação, com relação à colisão elástica entre dois carros.</p>  <p data-bbox="933 1561 1292 1590">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>

Comparando as duas transcrições do estudante B14, com relação à colisão elástica, juntamente com os gestos realizados, representados nas Figuras 68 e 69, constata-se que modifica conceitualmente, juntamente com alteração dos gestos realizados. Este estudante modifica seus *subsunçores* juntamente com o *driver*, passando este a ser hipercultural relacionado com a simulação. Os estudantes hiperculturais modificaram as suas imagens mentais apresentadas na entrevista inicial (B2 e B9 jogo de sinuca, B4 bolinha de gude), passando, na entrevista posterior, a utilizar imagens mentais relacionadas com a simulação.

Também se identificou que onze (11/14) tiveram aprendizagem significativa, sendo que, destes, quatro (B1, B3, B11, B13) responderam conceitualmente de forma incorreta, e o restante (B2, B4, B5, B8, B9, B10, B14), conceitualmente correto. A metade dos estudantes (B5, B6, B7, B10, B11, B12, B13) utilizou imagens mentais, psicofísicas, em que nos dados iniciais houve a utilização de bolitas, bolas de bocha ou do jogo de sinuca e na coleta de dados posterior, a utilização de imagem mental de carros reais colidindo.

Comparando os dois grupos, um número semelhante de estudantes passou a utilizar *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação (três do grupo A e quatro do B), porém a grande maioria dos estudantes continuou usando *drivers* psicofísicos. Com relação à aprendizagem significativa, verificou-se que o grupo B teve um número maior de estudantes que modificaram a sua estrutura cognitiva, porém nem todos passaram a utilizar conceitos corretos. Nos dois grupos os estudantes, que utilizaram *drivers* psicofísicos nas duas entrevistas, na primeira empregaram imagens mentais de bolas de sinuca, bocha ou similar, enquanto que na segunda associaram com colisões de carros, imagens estas que estão diretamente relacionadas com os enunciados dos questionários.

7.3.2 Análise da colisão elástica com relação à energia cinética

Em relação ao questionamento realizado sobre a colisão elástica entre dois corpos, nos dois questionários os estudantes deveriam responder com relação ao comportamento das energias cinéticas dos corpos antes e após a colisão.

Identificou-se que nove estudantes (A2, A4, A7, A9, A10, A11, A12, A13, A14) modificaram os seus *drivers*, passando a utilizar *drivers* com características hiperculturais, quando questionados com relação ao comportamento das energias cinéticas. Com relação à aprendizagem significativa, observou-se que os seguintes estudantes apresentaram modificação na sua estrutura cognitiva: A2, A4, A5, A8, A9, A10, A11, A13, A14, A15, A16, onde apenas dois (A8 e A15), na entrevista posterior, responderam conceitualmente de forma incorreta, enquanto que os demais estudantes passaram a responder de forma conceitualmente correta.

Ainda com relação aos estudantes identificados com alguma modificação na sua estrutura cognitiva, vale destacar que A5, A11 e A16, na primeira entrevista, não conseguiram

responder. Dos estudantes que modificaram seus *drivers* para hipercultural, apenas dois não tiveram aprendizagem significativa, A7 e A12, pois já respondiam corretamente na primeira entrevista, mantendo a mesma resposta na segunda entrevista.

Como exemplo, apresenta-se o estudante A11, em que na sua entrevista inicial não conseguiu responder, enquanto que na entrevista posterior, responde corretamente, utilizando imagens mentais relacionadas com a simulação, inclusive realizando gestos que indicam as barras de energia (Figura 70). A seguir, traz-se a transcrição da coleta de dados do estudante A11 nas duas entrevistas.

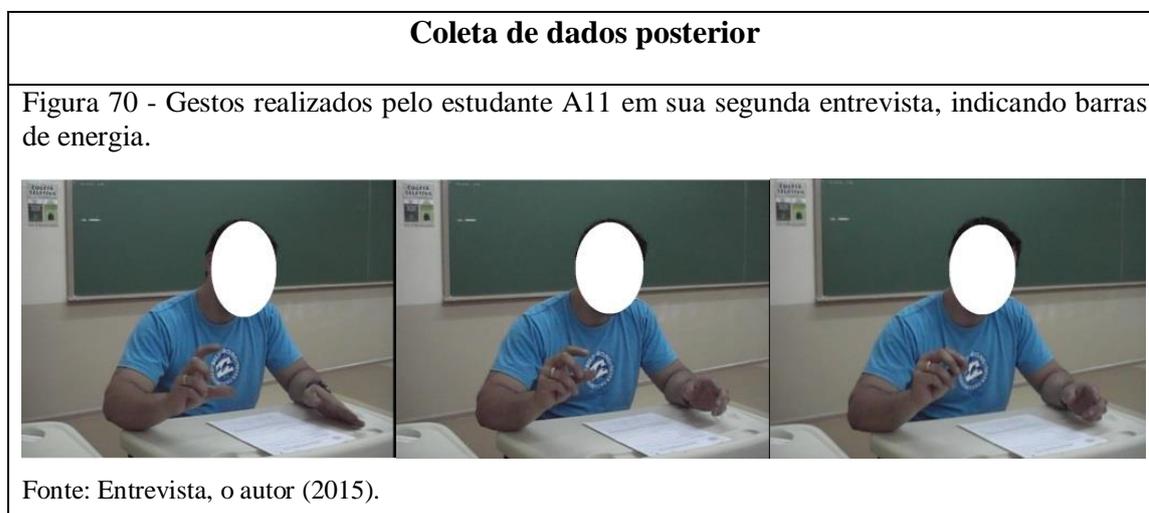
Quadro 24 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante A11

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: E o que acontece em relação às duas energias das duas esferas?</p> <p>A11: <u>Não sei te dizer.</u></p> <p>P: Não sabe?</p> <p>A11: Não.</p>	<p>P: E com relação à questão B, da energia de cada um dos carros e a energia total, energia cinética, o que tu imaginaste?</p> <p>A11: A energia do carro B, a cinética, fica zero e a do carro A fica no máximo.</p> <p>P: A do carro A é a máxima?</p> <p>A11: O carro A é que foi impulsionado pela colisão.</p> <p>P: Sim, sim.</p> <p>A11: Ele vai estar em movimento [9:36; #MO], a cinética aumentando vai chegar ao máximo [9:39; BEE] e o B vai ficar parado com zero de energia cinética.</p> <p>P: Sim, sim. Tá ok. E tu tens alguma representação para estas energias?</p> <p>A11: Para as energias, a representação que uso <u>é em cima do simulador</u>, que foi tentando lembrar, no momento em que a bolinha chocava a outra bolinha...</p> <p>P: Uhum.</p> <p>A11: <u>Acompanhando a barra de energia do simulador.</u> [10:03; BEE]</p> <p>P: Uhum.</p> <p>A11: O que acontecia após o choque.</p> <p>P: Uhum. E o que aconteceu com a barra de energia do carro A?</p> <p>A11: O carro A chegou ao máximo.</p> <p>P: E do carro B?</p> <p>A11: Ao mínimo.</p> <p>P: Ao mínimo. E a energia total, a barrinha da energia total?</p> <p>A11: A mesma.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Na Figura 70 há uma sequência de imagens indicando as barras de energia. Estas imagens são referentes à segunda entrevista, onde se pode identificar que com os dedos da mão direita indica a barra de energia sofrendo uma redução. Estes gestos foram realizados enquanto explicava o comportamento da energia cinética do carro B após a colisão. Não há figura referente à primeira entrevista com relação à energia, pois, conforme se constata na transcrição anterior, o estudante não possuía conceito referente à energia e, conseqüentemente, nem imagens mentais.

Quadro 25 - Figura 70 com gestos realizados pelo estudante A11, indicando as barras de energia na coleta de dados posterior



O estudante A1 tenta recordar as situações vistas no laboratório de informática, mas não consegue; dessa forma, não possui segurança ao responder o problema. Utiliza termos como “eu acho”, com isso, pode-se concluir que ele tenta busca imagens mentais relacionadas com a simulação, sente a necessidade de responder utilizando imagens mentais da simulação, mas acaba tendo dificuldade em resgatar estas imagens.

No que se refere aos estudantes que tiveram aprendizagem significativa, verifica-se que a maioria está relacionada com a mudança de *drivers*; dos onze estudantes que apresentaram modificação na sua estrutura cognitiva, sete foram com modificação dos *drivers* para hipercultural. Sendo que dos quatro estudantes que tiveram aprendizagem significativa, dois não responderam na primeira entrevista e os outros dois com respostas muito incompletas.

Com relação ao grupo B, verifica-se que quatro estudantes, B4, B5, B8 e B14, apresentam características que indicam a utilização de *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação na entrevista posterior; todos os quatro estudantes tiveram aprendizagem significativa. Mesmo os estudantes citados, que estariam utilizando imagens mentais relacionadas com a simulação, pode-se identificar que apenas o estudante B14 utiliza imagens mentais relacionadas às barras de energia. Os demais estudantes se valem, na realidade, de imagens do movimento das esferas, mas quando questionados com relação à existência de alguma imagem mental para energia, responderam de forma negativa, colocando a inexistência de imagem mental para a energia.

Como exemplo, traz-se parte da transcrição do estudante B8, das duas entrevistas relacionadas com energia cinética para a colisão elástica. Verifica-se que o estudante B8 possui uma resposta muito semelhante para descrever as energias, mas o que muda está associado com a ideia de transferência total de energia de um corpo para outro, pois na primeira entrevista menciona que haverá transferência de energia na colisão, mas não seria toda a energia que seria transferida, situação que é verificada na segunda entrevista. Importante observar que na primeira entrevista o estudante B8 não possuía imagem mental para energia, enquanto que na segunda utiliza imagens mentais relacionadas com figuras de um livro e imagens relacionadas com a simulação, no que se refere ao movimento dos corpos. O estudante B8 não realiza gestos durante a explicação da energia nas duas entrevistas.

Quadro 26 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante B8

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: O que acontece com a energia cinética de cada uma delas, que é a questão B?</p> <p>B8: A minha resposta foi que a mesma energia cinética, que elas a vão continuar com a mesma energia cinética total, ou seja, o sistema vai continuar com a mesma energia, a esfera A terá a energia diminuída e a esfera B aumentará a energia. No caso, a esfera B estava em repouso, ela vai entrar em movimento e vai ter a energia cinética, e a esfera A <u>vai transferir parte da energia cinética dela para esfera B.</u></p> <p>P: Uhum.</p> <p>B8: Foi o que eu coloquei.</p> <p>P: Muito bem. E tu tens alguma representação, falando em energia cinética,</p>	<p>P: E com relação ali à letra B, com relação à energia cinética de cada um dos carros a energia cinética total. O que tu colocaste?</p> <p>B8: <u>Eu coloquei que a energia cinética do carro A será completamente transferida e o carro B que estava em repouso, que passa a se movimentar com a energia do carro A.</u></p> <p>P: Uhum.</p> <p>B8: Onde ela é completamente transferida.</p> <p>P: E tu tens alguma imagem para essa energia?</p> <p>B8: Tenho imagens do livro e também a que nós vimos na <u>simulação.</u></p> <p>P: Tá! Qual das imagens tu utilizas mais, a do livro ou a da simulação?</p> <p>B8: Da simulação.</p>

<p><u>tu crias alguma imagem, alguma situação assim?</u></p> <p>B8: Não.</p> <p>P: Não?</p> <p>B8: Não, é só o movimento mesmo.</p>	<p>P: Tá.</p> <p>B8: Com certeza.</p> <p>P: Como é a imagem do livro?</p> <p>B8: É um desenho com duas esferas e o vetor apontando a direção.</p> <p>P: E qual é a imagem que tu utilizaste para responder, então?</p> <p>B8: A da simulação.</p> <p>P: Como é que é essa imagem?</p> <p>B8: A bola, a esfera choca-se com a esfera B, e a energia, tinha os dados todos, a energia é conservada, toda é transferida.</p> <p>P:Tá, onde que tu vês a conservação desta energia?</p> <p>B8: Tinha dados no..., que a energia inicial era tal e a energia cinética final continuava a mesma.</p> <p>P: Uhum.</p> <p>B8: Só que transferida pra outra esfera.</p>
---	--

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Com relação à aprendizagem significativa, os estudantes B4, B5, B8, B9, B10 e B14 apresentaram alguma modificação na sua estrutura cognitiva, que caracteriza-se como aprendizagem significativa, sendo que B10 conceitualmente incorreto. Apenas o estudante A9 modifica a sua estrutura cognitiva com resposta correta, sem apresentar indícios de utilização de *driver* hipercultural. Os demais estudantes mantiveram as mesmas respostas nas duas entrevistas, sendo que para B1 e B2 as respostas são conceitualmente corretas e B3, B6, B7, B11, B12 e B13 conceitualmente incorretas. A grande maioria dos estudantes não apresentava imagem mental específica relacionada com energia (B2, B3, B4, B5, B6, B8, B9, B10, B12), mas relacionada de forma geral com o movimento dos corpos.

No tocante aos dois grupos, com relação à energia cinética envolvida, verifica-se que a maioria dos estudantes do grupo A passa a ser hipercultural, utilizando como imagem mental as barras de energia relacionadas com a simulação, tendo aprendizagem significativa, ou apenas modificando o *drivers*, mas já respondendo corretamente; enquanto que no grupo B, um número reduzido de estudantes utiliza *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação, na tentativa de explicar as relações com as energias.

Acredita-se que a diferença entre as respostas apresentadas por estes dois grupos, em grande parte, deve-se à realização da primeira atividade experimental pelo grupo A, enquanto

que o grupo B apenas realizou a segunda simulação. Provavelmente, a primeira simulação contribui com o grupo A, na mudança de *drivers* relacionado para energia, e persistiu para a segunda simulação, principalmente na utilização das barras de energia para a representação das energias, situação esta não identificada no grupo B, exceto pelo estudante B14.

7.3.3 Análise com relação ao momento linear

Para o grupo A, para análise do momento linear da colisão elástica entre dois corpos, um em movimento outro em repouso, identifica-se que dois estudantes utilizam *drivers* com características hiperculturais após a utilização da simulação (A9, A10), sendo que apresentaram aprendizagem significativa. Apenas o estudante A10 utiliza imagem mental na entrevista posterior, relacionando momento com vetor; enquanto que o estudante A9 utiliza imagens mentais relacionadas com a simulação, lembrando-se das barras de energia, inclusive descrevendo todo o momento linear em termos das barras de energia. A seguir, transcrição do estudante A10 das entrevistas com relação ao momento linear, onde se pode verificar que modifica seu *driver*, passando a utilizar também a imagem mental dos vetores representando momento linear.

Quadro 27 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante A10

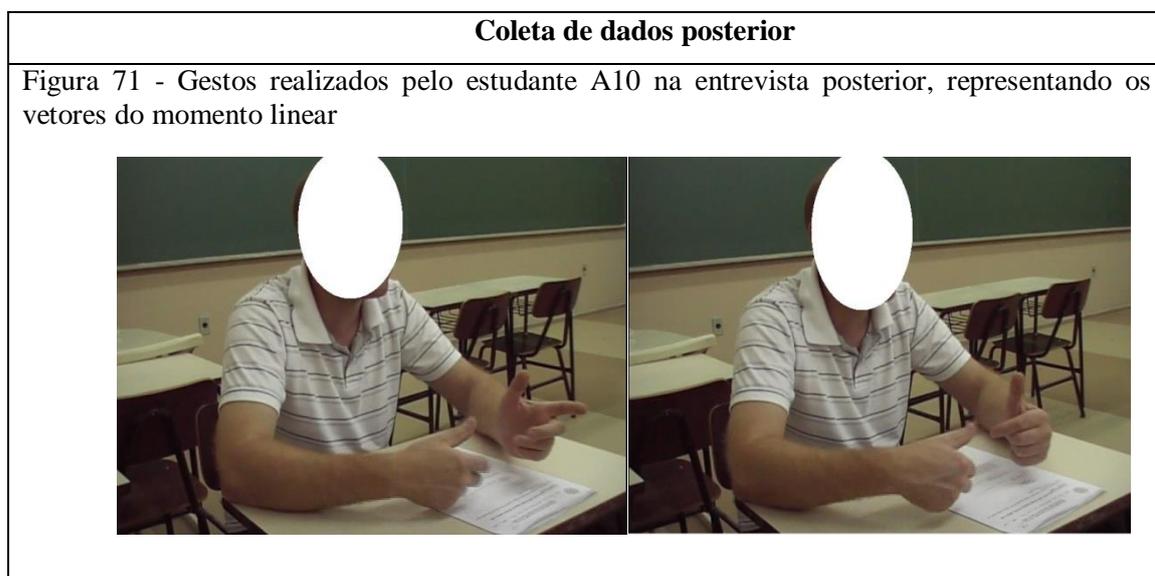
Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: E a conservação da quantidade de movimento de cada uma delas? Ao total, como que ficaria?</p> <p>A10: Se equilibram.</p> <p>P: Como assim elas se equilibram?</p> <p>A10: Na realidade eu não tinha muita ideia eu meio que chutei essa resposta, porque o que eu entendi que o movimento total, a quantidade de movimento total. Eu fiz uma média, peguei a média dos dois movimentos, como a de uma sessou e a outra andou, eu peguei uma média do movimento, foi o que eu entendi, eu não consegui fazer um discernimento</p>	<p>P: Tá ok. E para quantidade de movimento, o momento o que aconteceria nessa situação? De cada um e no total.</p> <p>A10: Então no momento linear aqui do veículo B, ele seria igual maior que zero, porque a bola não iria parar, só que ele seria menor do que ele vinha se deslocando. A do A também seria um momento maior que zero e o momento total aqui seria igual ao inicial, que no caso é do B. A soma dos dois, soma dos dois seria igual a inicial do B. Não, não, se manteria no caso.</p> <p>P: Tem alguma representação? Eu vejo que tu fizeste um desenho né.</p> <p>A10: Sim, sim, fiz um desenho para poder me situar na situação, ver qual carro está se deslocando e qual carro está parado, para imaginar o que aconteceria depois da colisão.</p> <p>P: Utilizas essa imagem?</p>

<p>desta questão. Foi mais um chute mesmo. Não consigo ter uma ideia prática desta situação aqui.</p>	<p>A10: Utilizei essa imagem, fiz aqui, coloquei aqui, para imaginar a situação e ver quem está se deslocando para poder entender o que está aconteceu com as energias ali.</p> <p>P: Quando eu te pergunto com relação à quantidade de movimento, momento, tu tens alguma representação para ele?</p> <p>A10: Aqui, aqui o que eu pensei foi em vetores, não sei se eu pensei, se eu raciocinei certo, pensei em vetores, no sentido de movimento foi o que me veio.</p> <p>P: Porque tu pensaste em vetores?</p> <p>A10: Porque eu botei a seta aqui, sentido de movimento [15:20; #MO], vetor... não sei, na realidade eu <u>fiz uma analogia também no laboratório que lá tinha questão de vetor</u>, o vetor mudava de, conforme a colisão ele mudava de sentido conforme a bolinha. [15:34; gesticula indicando mudança de sentido do vetor, (Figura 69)]</p>
---	---

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Na Figura 71 tem-se a representação dos gestos do estudante A10, enquanto explicava a inversão do vetor momento linear. Na primeira imagem da Figura 71, o dedo indicador da mão esquerda está apontando para a frente. Quando menciona que “mudava de sentido”, ele passa a apontar o dedo indicador para trás, conforme se pode verificar na segunda imagem. Durante a primeira entrevista, não foi identificado nenhum gesto que estivesse relacionado com momento linear.

Quadro 28 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante A10; a figura 71 traz os gestos realizados pelo estudante, representando os vetores do momento linear



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Com relação à aprendizagem significativa, os estudantes A2, A9, A10, A14 e A16, apresentaram alguma modificação na sua estrutura cognitiva, relativa ao momento linear, mas nenhum estudante responde de forma satisfatória com relação aos conceitos de conservação de momento linear. Cabe destacar que os estudantes A2 e A16 não respondem na primeira entrevista, mas na segunda entrevista apenas respondem: “A quantidade total se conserva: o carro A aumenta e o carro B diminui”, mas não apresentam indícios de que estejam utilizando alguma imagem mental relacionada para o momento linear.

Os estudantes A1, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A11, A12, A13 e A15 não modificaram a sua estrutura. Também identifica-se que alguns estudantes relacionam momento linear com energia, é o caso dos estudantes A3, A10 e A14 na entrevista anterior, e do estudante A13 na entrevista posterior. De forma geral, os estudantes possuem muita dificuldade em utilizar *drivers* e imagens mentais que estejam relacionadas com momento linear. Verifica-se que os estudantes A1, A2, A4, A8, A11, A12, A15, durante a segunda entrevista, não utilizaram imagens mentais para momento linear, enquanto outros relacionam com velocidade ou movimento (A3, A7 e A13). Conseguiu-se identificar apenas no estudante A14 uma descrição boa para o momento linear.

Referente ao grupo B, verifica-se que dois estudantes (B4 e B9) utilizam *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação, e um apresenta indícios de utilização da simulação (B14). Com relação à aprendizagem significativa, os estudantes B8 e B9, responderam conceitualmente correto, enquanto que os estudantes B1, B2, B3, B10, B13 apesar de identificarem aprendizagem significativa, conceitualmente foram incorretos e incompletos. Um número grande de estudantes não possui imagem mental relacionada com momento na entrevista anterior (B1, B2, B3, B5, B6, B7, B8, B10 e B12), e na entrevista posterior (B1, B2, B3, B5, B7, B8, B10, B11, B12).

Também identificou-se que cinco estudantes relacionam o conceito de momento linear com energia, chegando, em muitos momentos, a confundirem os dois conceitos. Apenas um estudante, B14, utiliza a imagem mental do vetor apresentado na simulação. Os estudantes possuem dificuldades de utilizar imagens mentais relacionadas com momento linear, mesmo após a utilização da simulação. De forma geral, conceitualmente, os estudantes não conseguiram ter uma aprendizagem significativa do conceito de momento linear.

7.3.4 Análise com relação à colisão inelástica

Para o questionamento do comportamento da colisão inelástica entre dois corpos, um em movimento outro em repouso, observa-se que no grupo A dois estudantes utilizam diretamente *drivers* hiperculturais (A12 e A13); e com indícios da utilização destes *drivers* os estudantes A14. Com relação à aprendizagem significativa verifica-se que os estudantes A1, A3, A4, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14 e A15, sendo que os estudantes A1, A3, A4, A8 e A9 apresentam aprendizagem significativa conceitualmente incorreta, e A10 conceitualmente incompleta. Então, dos estudantes que apresentaram aprendizagem significativa conceitualmente correta, há os estudantes A7, A11, A12, A13, A14 e A15. Os três estudantes que modificaram o *drivers* para hipercultural apresentam situações que apontam modificação na estrutura cognitiva, indicando aprendizagem significativa. Como exemplo destes estudantes que modificaram os seus *drivers*, cita-se o estudante A13, que apresenta resposta semelhante aos outros dois estudantes. A seguir, a transcrição das duas entrevistas para a resposta fornecida pelo estudante A13, para colisão inelástica entre dois carros iguais.

Quadro 29 - Coleta de dados inicial e posterior com o estudante A13

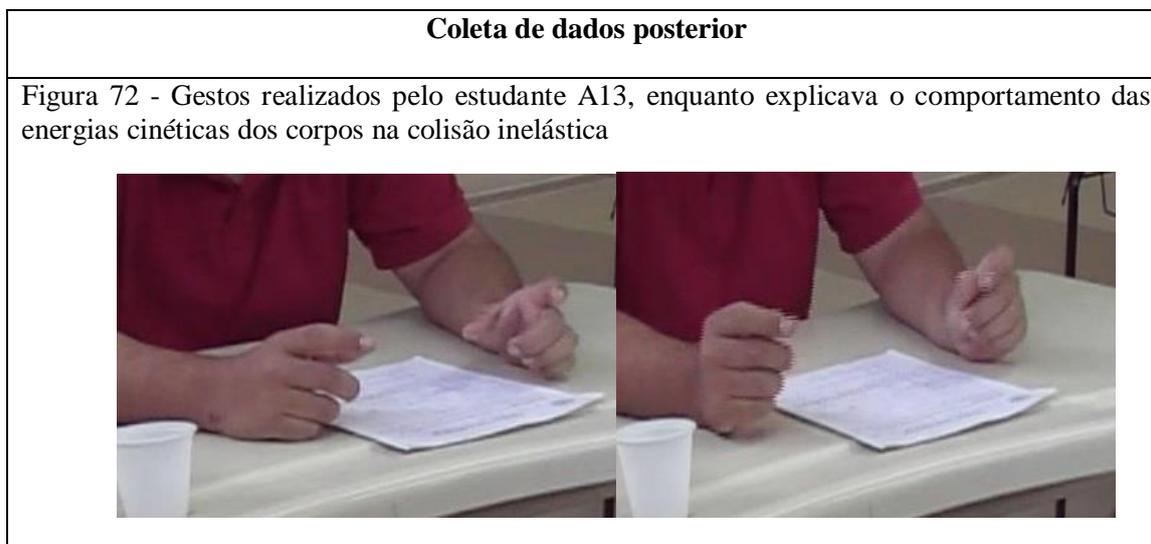
Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Nós consideramos nessa situação uma colisão elástica e se a colisão fosse inelástica, como é que seria o comportamento desta colisão, das duas bolinhas?</p> <p>A13: Inelástico, nesse caso eu penso que as <u>duas iam ficar paradas</u> [12:11; indicação em repouso], nenhuma movimentaria a outra.</p> <p>P: Após a colisão?</p> <p>A13: Isso.</p> <p>P: Me descreve desde o início, elas vêm e se colidem?</p> <p>A13: No caso, a outra vem e fica parada, as duas no caso.</p> <p>P: As duas?</p> <p>A13: É. Elas só batem e param.</p> <p>P: E o que acontece com as energias?</p> <p>A13: Bom, eu acho que as duas se anulam.</p> <p>P: Se anulam?</p> <p>A13: Eu acho.</p>	<p>P: Se a colisão fosse inelástica, como é que seria o comportamento?</p> <p>A13: Inelástica, <u>bom, inelástica não absorve toda a energia</u>, então ele bateria e avançaria, o de trás também, só que não com a mesma intensidade. Com a mesma velocidade, ele perderia e o outro a absorveria um pouco essa velocidade, mas eu acho que os dois estariam em movimento.</p> <p>P: Uhum, o que aconteceria com as energias cinéticas?</p> <p>A13: Eu acho que não retornaria, digamos após a colisão eu acho que elas perderiam velocidade, sei lá, trinta, quarenta, tem uma perda de energia cinética.</p> <p>P: Tu enxergas essa perda de energia cinética? Tu tens alguma imagem para isso?</p> <p>A13: Nas barrinhas.</p> <p>P: Nas barrinhas. E como é que seria essa</p>

	perda nas barrinhas? A13: Nas barrinhas, digamos, uma bem cheia [14:20; #BEE] e a outra bate e elas não retornam a cem, digamos assim. Uma absorve muito pouco e a outra perde, digamos assim. Não, não ficariam com totalidade.
--	---

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Na figura 72, os gestos realizados pelo estudante enquanto explicava o comportamento das energias, onde se pode verificar a mão esquerda na primeira imagem indicando a totalidade de energia, e na segunda imagem a redução da energia cinética dos corpos. Nas figuras, não se consegue visualizar, mas os dedos da mão direita também se afastam, indicando ganho de energia. Na coleta de dados anterior, não se identificou que o estudante A13 tenha realizado gestos enquanto explicava o comportamento das energias cinéticas.

Quadro 30 - Coleta de dados posterior com o estudante A13; a figura 72 traz os gestos realizados pelo estudante na entrevista



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

O estudante A13 adota *drivers* hiperculturais na sua resposta, para colisão inelástica, sendo que na primeira entrevista considera que após a colisão as esferas ficariam paradas, com perda das energias cinéticas. Na entrevista posterior passa a utilizar o *driver* hipercultural das barras de energia para descrever o comportamento das energias, além disso, considera que os corpos permaneceriam em movimento, citando que perderia trinta, quarenta por cento, ideia proveniente do fator de conservação de energia, apresentado na simulação.

Pela resposta identifica-se que o estudante A13 modifica a sua estrutura cognitiva, tendo uma aprendizagem significativa combinatória.

De forma geral, consegue-se identificar que a maioria dos estudantes possui aprendizagem significativa, porém sem a ocorrência de modificação dos *drivers*. Durante a primeira entrevista, observa-se a utilização de imagens mentais relacionadas com colisão de bolinha de gude, sinuca ou bocha, sendo que para a segunda entrevista adotam imagens mentais de colisões de carros.

No grupo B, constatou-se que os estudantes B1, B4, B9 e B14 modificaram seus *drivers*, passando para hiperculturais após a utilização da simulação. Os estudantes B1, B2, B4, B5, B6, B8, B9 e B14 tiveram aprendizagem significativa, sendo que B2, B6, B8 e B14 modificaram, tendo aprendizagem significativa conceitualmente errada, ou seja, apenas dois estudantes modificaram a sua estrutura cognitiva passando a utilizar conceitos corretos em termos de colisão inelástica. Verifica-se que todos os estudantes que mostraram mudança no seu *drivers* para hipercultural, tiveram aprendizagem significativa, mas conceitualmente incorreta.

Um ponto a ser discutido é que apenas o estudante B5 menciona que o momento seria igual; e o estudante A14 utiliza a representação vetorial apresentada na simulação. Pode-se concluir que a maioria dos estudantes não conseguiu ter uma aprendizagem significativa com relação aos conceitos de uma colisão inelástica, principalmente no que se refere ao momento linear. O estudante B2 adota a ideia do fator de conservação de energia, utilizando na simulação, mas no geral utiliza imagens mentais de *drivers* culturais, na segunda entrevista, relacionado com figura do livro. Dessa forma, não se pode considerar que o estudante B2 tenha modificado o seu *driver* para hipercultural.

Comparando os dois grupos, pode-se afirmar que a maioria dos estudantes não utiliza *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação, ao responderem com relação à colisão inelástica. E dos que modificaram o seu *driver*, apenas os estudantes do grupo A conseguiram ter uma aprendizagem significativa conceitualmente correta. Nos dois grupos continuam utilizando imagens mentais relacionados com esferas (bola de sinuca, bocha), na primeira entrevista, e de colisão de carros, na segunda entrevista.

7.3.5 Análise da colisão perfeitamente inelástica

Com relação à colisão perfeitamente inelástica entre dois corpos, um inicialmente em movimento e outro em repouso, verifica-se, no grupo A, que apenas o estudante A13 e A7 modificou seus *drivers* para hipercultural, tendo aprendizagem significativa e conceitualmente correta relacionada com a segunda simulação. Com relação à aprendizagem significativa identificam-se seis estudantes (A5, A7, A10, A12, A13, A14), sendo que dois (A10 e A12) têm aprendizagem significativa conceitualmente incorreta. Alguns estudantes (A1, A9, A11) não responderam que este conceito não foi aprendido, pois em suas respostas afirmavam que “não lembravam” ou “não sabiam”.

No grupo B, identificam-se três estudantes (B1, B5 e B9) que modificaram seus *drivers* para hipercultural, passando a utilizar imagens mentais relacionadas com a segunda simulação. Com relação à aprendizagem significativa, identificam-se que os estudantes B1, B4 B6, B8, B9, B12 e B13 apresentaram alguma modificação na sua estrutura cognitiva, sendo que B6, B12 e B13 tiveram aprendizagem significativa incorreta. Dois estudantes (B1, B9) modificaram *driver* para hipercultural e tiveram aprendizagem significativa, exceto o estudante B5, mantendo a mesma resposta, que conceitualmente é correta. Ainda, quatro estudantes não responderam, em geral alegando que não “lembravam”.

Comparando os dois grupos, verifica-se que no grupo B houve um número maior de estudantes que utilizou *drivers* relacionados com a simulação. Em termos de aprendizagem significativa, há praticamente o mesmo número de estudante nos dois grupos. Outro ponto em que os dois grupos têm resultados semelhantes é no número de estudantes que não responderam a questão, que, de forma geral, não possuíam em sua estrutura cognitiva conhecimento relacionado com colisões perfeitamente inelásticas.

Um ponto importante a ser considerado, com exceção do estudante B5, é que todos os demais que tiveram modificação em seus *drivers*, passando a utilizar *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação e também modificação na sua estrutura cognitiva, tendo aprendizagem significativa conceitualmente correta dos conceitos.

7.3.6 Análise com relação à colisão superelástica

Para a colisão superelástica entre dois corpos, sendo que um encontra-se inicialmente em movimento e outro em repouso, verifica-se que no grupo A apenas um estudante utilizou *drivers* hiperculturais relacionados com a segunda simulação, para responder quanto ao comportamento dos corpos em uma colisão superelástica. Este mesmo estudante também modificou a sua estrutura cognitiva, respondendo corretamente após a utilização da simulação. Um grande número de estudantes não respondeu, o que se acredita ter interferido na análise deste resultado. No grupo A, oito estudantes não responderam, o que representa mais de 50%; enquanto que no grupo B dez estudantes deixaram de responder ao questionamento, o que representa aproximadamente 71% dos estudantes. A grande maioria nos dois grupos diz não se lembrar dos conceitos de colisão superelástica.

Os resultados para a colisão superelástica ficaram prejudicados, pois alguns estudantes dos dois grupos, durante a segunda entrevista, não foram questionados com relação a este tipo de colisão, enquanto respondiam a segunda questão.

7.4 ANÁLISE DA TERCEIRA QUESTÃO – CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA

Nos dois questionários, os estudantes deveriam responder como explicariam a um colega o que é conservação de energia mecânica, conforme se verifica na terceira questão dos Apêndices A e B. No grupo A, observa-se que a maioria dos estudantes adotava *drivers* com origem hipercultural relacionados com a simulação.

No total, nove estudantes modificaram o *driver* (A2, A4, A5, A7, A9, A11, A13, A14, A15), sendo que apenas o estudante A7 não teve aprendizagem significativa, isso porque já respondia corretamente antes da utilização da simulação, mantendo a mesma resposta correta, modificando apenas o *driver*. Os demais estudantes que modificaram os *drivers*, passando para hipercultural, tiveram aprendizagem significativa.

Os estudantes do grupo A que modificaram os *drivers*, a maioria utilizou como imagem mental as barras de energia, adquiridas principalmente com a primeira simulação,

onde apenas o estudante A9, ao responder à questão conservação de energia, faz menção à segunda simulação.

Como exemplo, apresenta-se parte da transcrição do estudante A15, onde se pode observar que na primeira entrevista responde de forma incompleta, sem a utilização de representações para energia, enquanto que na segunda entrevista o estudante A15 passa a considerar a simulação, utilizando imagem mentais das barras de energia para explicar a conservação de energia.

Na sequência, a Figura 73 representa os gestos realizados pelo estudante A15 enquanto explica o comportamento das barras de energia. Durante a primeira entrevista, o estudante não realiza gestos enquanto explica a conservação de energia mecânica.

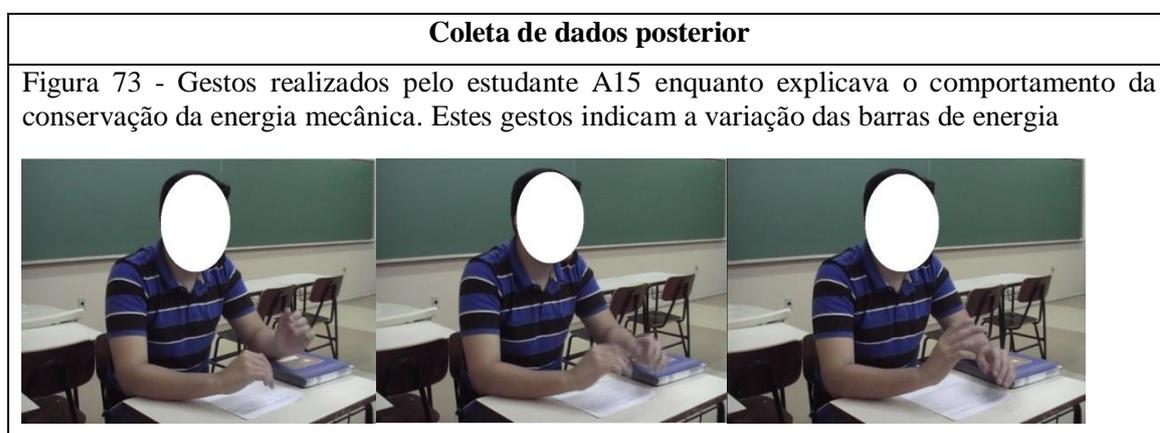
Quadro 31 - Coleta de dados anterior e posterior com o estudante A15

Coleta de dados anterior	Coleta de dados posterior
<p>P: Questão três então.</p> <p>A15: Diga, com as suas próprias palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é “Conservação da Energia Mecânica”. Para tanto, você poderá utilizar equações, tabelas, gráficos, desenhos e, é claro, texto escrito. Eu coloquei um texto bem resumido até porque eu estava... Coloquei aqui que energia soma a energia cinética soma da energia potencial... desculpa, é energia potencial e é o trabalho realizado pelas forças. No caso, a energia mecânica, conservação da energia mecânica seria a soma da energia potencial e cinética e é o trabalho realizado pelas forças.</p> <p>P: Uhum, uhum, tu tens alguma representação para este trabalho?</p> <p>A15: Não, não esta daqui eu fiquei meio...</p>	<p>P: Diga com suas próprias palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é conservação de energia mecânica, para que tu podes utilizar?</p> <p>A15: Eu coloquei que a conservação de energia vai ser a mesma inicial e final [15:11; indica início e final] ela vai se conservar, ela não vai ganhar nem perder</p> <p>P: Tu trarias alguma representação sobre isto?</p> <p>A15: Não, porque fui mais pela conservação de energia, ela tem um começo, mas vai ser o mesmo no final e também pela colisão elástica a força que atua nela vai ter conservação. A energia final e inicial vai ser a mesma.</p> <p>P: E essas tuas representações todas, tu trazes de onde?</p> <p>A15: Eu vejo mais pelo gráfico das 2 barras [16:06; aponta os dois dedos para cima] de energias a cinética e a gravitacional usando a barra da energia total, daí as duas ficam variando [16:19; #BEA]</p> <p>P: Onde tu viste esses gráficos?</p> <p>A15: Na simulação, 3 barras né, a cinética a gravitacional [16:37; indica as três barras de energia], se a total daí até lá no simulador tem as barrinhas, conforme o movimento da bola as energias cinética e gravitacional vão se variando [16:55; #BEV], mas a energia total se manteria [16:59; #BEE] pelo gráfico, não alterando o gráfico.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Na figura 73, apresentam-se os gestos realizados pelo estudante A15 enquanto explicava a conservação da energia mecânica. No momento em que afirma que a cinética e a gravitacional estão variando, ele realiza os gestos indicados na figura a seguir. Na primeira imagem, a mão esquerda está acima da mão direita, indicando que uma das barras está em nível maior; na segunda imagem, o momento em que as barras de energia possuem o mesmo nível de energia; e a terceira imagem, com a mão direita acima da mão esquerda, indica que o nível de energia é maior nesta barra de energia. Não se conseguiu identificar se as mãos representavam energias específicas, potencial gravitacional ou cinética.

Quadro 32 - Coleta de dados posterior com o estudante A15; figura 71 representando os gestos indicando a variação das barras de energia



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Pode-se constatar que o estudante A15 utiliza *drivers* relacionados com as barras de energias, realizando inclusive gestos, o que não ocorreu na primeira entrevista. Além disso, considera-se que o estudante passou a responder de forma mais completa, relacionando os conceitos de energia cinética e energia potencial gravitacional, o que caracteriza-se como uma aprendizagem significativa combinatória.

Dos estudantes que não utilizaram os *drivers* hiperculturais, verifica-se que, em geral, os que responderam corretamente, utilizaram respostas prontas, como: “A5: [...] conservação da energia mecânica é quando não há perda de energia [...]”; ou “A3: Energia mecânica no início é igual à do final”; em geral não descrevem imagens mentais para representar a conservação da energia mecânica. Assim, é possível considerar estes estudantes como apresentando uma aprendizagem que não se diferenciaria de uma aprendizagem mecânica, onde apenas a relação entre perda de energia e tipo de colisão é memorizada.

No grupo B, identificam-se três estudantes (B4, B9 e B14) que utilizam *drivers* hiperculturais para responder à questão de conservação de energia. O estudante B9 tenta explicar com o movimento das bolinhas, antes e após a colisão, utilizadas na segunda simulação; enquanto que os estudantes B4 e B14 utilizam a ideia das barras de energia. Os estudantes B9 e B14, além de utilizarem *drivers* hiperculturais, também tiveram aprendizagem significativa correta, enquanto que o estudante B4 mantém a mesma resposta correta nas duas entrevistas. A maioria dos estudantes (B1, B4, B5, B6, B7, B10, B11, B12 e B13) não teve aprendizagem significativa, mantiveram a sua resposta nas duas entrevistas, sendo que B10 e B12 deram a mesma resposta incorreta nas duas entrevistas. Os estudantes B1, B3, B7, B8, B11 e B13 mantiveram a mesma resposta correta nas duas entrevistas, muitos responderam semelhante ao B1: “quando a energia mecânica inicial é igual a energia mecânica final”, sem apresentação de imagens mentais, ou com imagens mentais relacionadas com movimento dos corpos.

Um estudante, em suas explicações, mesmo não tendo utilizado a primeira simulação, recorreu a imagens mentais de corpos caindo e retornando para a mesma altura, como exemplo de conservação de energia; situação semelhante havia sido explicada em sala de aula, o que demonstra que eles utilizaram *drivers* culturais. Além disso, os estudantes tiveram dificuldades em utilizar imagens mentais para representar a conservação da energia mecânica, empregando a imagem mental das próprias fórmulas (B1, B8, B13) de um pêndulo (B2), movimento em uma rampa (B7), segunda simulação (B9), barras de energia (B4, B9); contudo, não se conseguiu identificar imagem mental utilizada pelos estudantes B3, B5, B6, B10, B11 e B12.

Comparando os dois grupos, verificou-se que o grupo A tem um número maior de estudantes que usou *drivers* hiperculturais em comparação com grupo B, sendo que as explicações fornecidas pelos estudantes do grupo A, após a simulação, são mais ricas em detalhes. Atribui-se esta diferença de resultado à influência da primeira simulação realizada pelo grupo A e não realizada pelo grupo B. Ficou evidente que os estudantes utilizaram imagens mentais, como barras de energia ou movimento de colisão de uma bola com solo, relacionadas com a primeira simulação, enquanto que os estudantes do grupo B, quando conseguiam relatar as suas imagens mentais relacionadas com conservação de energia, estas possuíam em geral características psicofísicas.

7.5 ANÁLISE DA QUARTA QUESTÃO – CONSERVAÇÃO DO MOMENTO LINEAR

Com relação à discussão do conceito de conservação do momento linear, referente à quarta questão dos dois questionários, verifica-se que no grupo A apenas dois estudantes mencionam em suas respostas que estariam utilizando imagens mentais relacionadas com a simulação. Os dois estudantes (A4, A11) usam imagens mentais do movimento realizado pelas esferas da simulação em suas respostas, mas não foi identificada a utilização de imagens mentais relacionadas com vetores. Alguns estudantes (A4, A8, A11 e A13) apresentam modificações em suas estruturas cognitivas, comparando as duas entrevistas, mas de forma geral apresentam respostas como conservação do momento linear quando inicial é igual ao final. Mesmo estes estudantes, que de certa forma tiveram aprendizagem significativa, as imagens mentais estão diretamente relacionadas com o movimento. Na transcrição a seguir o estudante A11 responde à questão da conservação do momento linear.

Quadro 33 - Coleta de dados anterior e posterior com o estudante A11

Coleta de dados anterior	Coleta de dados posterior
<p>P: E a questão quatro, com relação à quantidade de movimento.</p> <p>A11: Quatro não cheguei a fazer...</p> <p>P: Tu não fizeste porque tu não conseguiste fazer?</p> <p>A11: <u>Não consegui fazer.</u></p> <p>P: Ou porque não conseguiu fazer, não lembra o que é quantidade de movimento, nem agora tu consegues lembrar, relacionar o que poderia ser quantidade de movimento? Quando fala em quantidade de movimento, o que te vem à mente, à cabeça?</p> <p>A11: Velocidade, distância.</p>	<p>A11: Diga, com as suas próprias palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é “Conservação da Quantidade de Movimento”. Para tanto, poderá utilizar equações, tabelas, gráficos, desenhos e, é claro, texto escrito.</p> <p>A11: <u>Eu coloquei que a quantidade de movimento só acontece com colisões elásticas</u>, eu dei o exemplo de um carro A chocar um carro B que está parado, e desloca o carro B mesma quantidade de movimento, o carro A deslocou até chegar no B, empurra o carro B para esta situação.</p> <p>P: Tu utilizaste...</p> <p>A11: O exemplo da questão dois.</p> <p>P: O exemplo da questão dois. E tu tens alguma representação para isso, para quantidade de movimento?</p> <p>A11: <u>Tudo em cima do simulador</u>, só que o simulador é as bolinhas, eu só troquei as bolinhas pelo carro.</p> <p>P: Pelo carro.</p> <p>A11: Que o movimento da bolinha que eu me recordo do simulador ela deslocou uma bolinha da outra, uns vinte metros e empurrou a bolinha que foi chocada uns vinte metros para frente. [17:58; #MO]</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Analisando as duas transcrições, verifica-se que o estudante descreve melhor ao utilizar o *driver* hipercultural relacionado com a simulação, mas conceitualmente o estudante tem dificuldade em descrever o que seria momento linear, relacionando apenas com a característica do movimento dos corpos. Também verifica-se que outros estudantes, que não foram hiperculturais, descrevem a conservação do momento linear como final igual à inicial, tendo como imagem mental a colisão, o movimento dos corpos, conforme se pode ver na transcrição abaixo, do estudante A13, mas sem uma imagem mental específica para o momento linear.

Quadro 34 – Análise anterior e posterior com o estudante A13

Análise Anterior	Análise posterior
<p>A13: Conservação da quantidade de movimento, essa daqui, eu botei dois carros de batendo.</p> <p>P: Certo.</p> <p>A13: Um que vinha da esquerda para direita vinha com velocidade maior e a partir do momento que ele bate [16:40; #IC] ele fica com a velocidade do que estava na frente dele, e o que tá na frente ganha impulso.</p>	<p>A13: Eu botei que a conservação da quantidade de movimento, que a quantidade de movimento inicial é igual à quantidade de movimento final.</p> <p>P: Uhum.</p> <p>A13: Que após a colisão, elas mantiveram a mesma quantidade de movimento, independente se uma estava parada ou estava vindo e elas se batem, elas mantêm a quantidade, podem se dividir, podem passar um pouco para outra, ficar igual à quantidade inicial.</p> <p>P: E tu tens alguma representação para isso daí?</p> <p>A13: Algum desenho, alguma coisa?</p> <p>P: É.</p> <p>A13: <u>Não</u>, conforme cada caso poderia ser da bolinha batendo uma na outra, o carro em outro, não tem específico.</p> <p>P: Específico não tem?</p> <p>A13: Não.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Os resultados do grupo B apresentam dois estudantes (B2 e B9) utilizando imagens mentais relacionadas com a simulação, ao responderem com relação à conservação do momento linear. De forma semelhante aos estudantes do grupo A, que apresentaram características hiperculturais com relação ao momento, em que as imagens mentais relacionadas com a simulação são do movimento dos corpos, colisão, mas sem uma imagem mental específica para o momento linear, conforme se pode ver na transcrição a seguir, do estudante B2.

Quadro 35 - Análise anterior e posterior com o estudante B2

Análise Anterior	Análise Posterior
<p>P: Como é que tu explicarias para outra pessoa qual é a conservação da quantidade de movimento, do momento.</p> <p>B2: Humm, fica igual né, o <u>inicial é igual ao final</u>, dependente do que acontece durante, durante um intervalo quando uma aumenta e outra diminui para que eles fiquem iguais.</p> <p>P: Tu tens alguma representação para momento?</p> <p>B2: Momento?</p> <p>P: É. Um desenho, uma imagem, alguma coisa que quando fale, tu lembres do que é?</p> <p>B2: Momento linear?</p> <p>P: Tá, mas o que tu lembras? O que é momento linear para ti?</p> <p>B2: <u>Muitas coisas, momento linear é ... nem me lembro.</u></p>	<p>B2: Eu botei que se aplica no sentido velocidade, antes e após a colisão elástica a quantidade de movimento se conserva.</p> <p>P: Tu tens alguma representação para essa quantidade de movimento, esse momento linear?</p> <p>B2: Ah, a mesma do modelo que a gente fez em aula, que bate e volta, fica igual do início ao fim.</p> <p>P: Esse modelo que tu falas em sala de aula, a que modelo que tu estás te referindo?</p> <p>B2: Ah, das duas esferas se colidindo.</p> <p>P: Da simulação?</p> <p>B2: Isso.</p> <p>P: Ah, tá, tá, tá. E o que tu lembras daquela simulação para responder este problema?</p> <p>B2: Eu me lembro da que tinha uma massa maior, colidindo com uma de massa menor, e vice-versa.</p> <p>P: Tá, mas o que isso te associa com momento?</p> <p>B2: Que é a questão três, quantidade de movimento.</p> <p>B2: Humm, que ela permanece igual.</p> <p>P: Que ela permanece igual, é o que tu lembras? <u>Tu não tens uma relação, uma imagem específica para o momento linear?</u></p> <p>B2: <u>Não.</u></p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

A maioria dos estudantes do grupo B não teve aprendizagem significativa, sendo que a metade respondeu conceitualmente correto, mas de uma forma muito superficial, considerando que seria o momento final igual ao momento inicial, conforme se pode apreender do exemplo da transcrição da segunda entrevista do estudante B8, semelhante às respostas dos estudantes B3, B5, B8, B12, B13 e B14.

Quadro 36 - Análise posterior com o estudante B8

Análise posterior
<p>P: Diga com suas próprias palavras, como se estivesse explicando novamente, o que é conservação da energia da quantidade de movimento, para tanto você poderá usar equações, tabelas, gráficos, desenhos e, é claro, texto escrito.</p> <p>B8: <u>Se dá quando a quantidade de movimento inicial é igual a final, ou seja, não há dissipação de movimento no sistema.</u></p>

P: Não há dissipação?

B8: Isso, não há perda.

P: Certo.

B8: Perda de movimento no sistema.

P: Tu tens uma imagem que representa, que represente isso?

B8: Não, acho que igualmente é a imagem mais das fórmulas, assim.

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Comparando os dois grupos, percebe-se que, de maneira geral, os estudantes não conseguem relacionar de forma adequada o conceito e momento linear com a sua estrutura cognitiva. Além disso, não conseguem utilizar imagens mentais específicas que represente o momento linear, apenas imagens relacionadas com movimento e velocidade. Alguns estudantes dos dois grupos relacionam momento linear com energia cinética: se há conservação de energia cinética, há conservação do momento.

7.6 COLISÃO ELÁSTICA COM O SOLO – GRUPO B

Ao final das entrevistas, os estudantes do grupo B foram questionados com relação à colisão elástica com solo, de um objeto abandonado de certa altura. O mesmo questionamento foi realizado nas duas entrevistas no grupo A, mas com a diferença de que o grupo B não realizou a primeira simulação.

Nesta análise, identificou-se que três estudantes (B1, B4 e B9) utilizaram imagens mentais, que de certa forma estão relacionadas com a segunda simulação. O estudante B1 utiliza o fator de conservação de energia, considerando que ele seria 100%, mas considera que a altura de retorno seria inferior em relação ao ponto onde foi abandonado; e os outros dois estudantes buscaram utilizar os *drivers* hiperculturais relacionados com a segunda simulação, para responder sobre a altura de retorno e as energias envolvidas no sistema.

Como exemplo tem-se a transcrição do estudante B9, que apresenta a aprendizagem significativa correta, e a Figura 74 representando os gestos realizados pelo estudante B9 nas duas entrevistas: na primeira imagem, o momento inicial em que o corpo é abandonado; na segunda imagem, o momento em que a esfera colide com o solo; e na terceira imagem, a

altura de retorno, que comparado com a primeira imagem, verifica-se que o gesto indica retorno inferior em relação ao inicial.

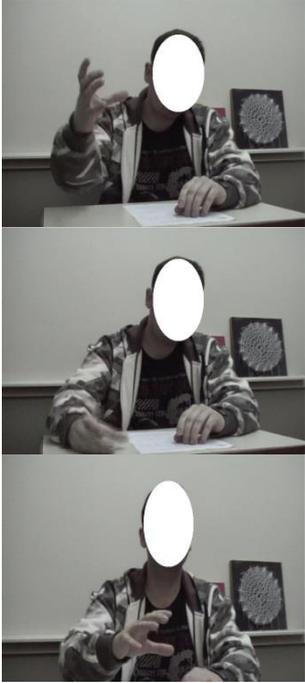
A Figura 75 traz os gestos realizados pelo estudante B9 durante a segunda entrevista, onde a primeira imagem mostra o momento em que foi abandonado o objeto; a segunda imagem, o momento em que ele colide com o solo; e a terceira imagem retornando na mesma altura em que foi abandonado.

Quadro 37 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B9

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Ainda dentro deste contexto tu imaginas a seguinte situação, tu tens um corpo agora de uma massa qualquer que tu largas de uma altura de dois metros, ele vai cair e colidir com o solo de forma elástica.</p> <p>B9: E vai voltar.</p> <p>P: E aí eu quero que tu me digas: ele vai voltar, o que vai acontecer, como vai ser esse comportamento, o que tu estás imaginando no momento em que eu descrevi essa situação.</p> <p>B9: <u>Se é um corpo que não se deforma aquela, a tendência é bater e voltar, mas não vai voltar muito.</u></p> <p>P: Uhum! Que não se deforma?</p> <p>B9: Sim.</p> <p>P: Me descreve a imagem que tu tiveste desta situação.</p> <p>B9: A imagem que eu tenho é de um, uma bocha mesmo caindo num piso, um piso duro, não vai se deformar nem a bocha vai se deformar, ela vai bater e vai quicar.</p> <p>P: Uhum. E a altura de retorno vai ser igual, menor?</p> <p>B9: Não, vai ser menor.</p> <p>P: Do que a altura que eu abandonei?</p> <p>B9: Sim.</p>	<p>P: E se agora nós imaginarmos uma situação que é o seguinte: pega um objeto a certa altura e tu abandonas este objeto a uns 2 metros de altura, ele colide com o solo de forma elástica, colide e depois como é que fica o movimento dele. Como é que tu caracterizas o movimento deste corpo?</p> <p>B9: O movimento deste corpo uma batida elástica, um momento elástico e ele vai retornar.</p> <p>P: <u>Retornar até onde?</u></p> <p>B9: <u>Até o ponto de onde ele partiu.</u></p> <p>P: <u>Porque tu afirmas isso?</u></p> <p>B9: <u>Porque a energia vai se manter.</u></p> <p>P: Uhum.</p> <p>B9: Quantidade de energia que ele obteve na queda ele vai voltar.</p> <p>P: E tu imagina, utilizou qual imagem para representar isso aí, tu pensaste no que e para qual situação?</p> <p>B9: <u>Eu pensei no laboratório</u> que a gente fez, no caso, uma situação elástica, uma colisão elástica e uma situação normal assim, de largar tipo uma bola só que uma colisão elástica ela retornaria na mesma altura, aí o ar não serviria como uma barreira para ela diminuir sua força.</p> <p>P: Tá.</p> <p>B9: Só a gravidade.</p> <p>P: Então, na realidade tu acabou, mesmo não tendo simulado na vertical, tu utilizaste as ideias?</p> <p>B9: As ideias da colisão elástica e inelástica.</p> <p>P: Mas as imagens que tu pensaste é a imagem do computador ou é uma imagem real?</p> <p>B9: <u>Não, pensei numa imagem real, tipo largando uma bola de basquete, só que utilizando os conceitos da...</u></p> <p>P: Da simulação?</p> <p>B9: <u>Da simulação para poder responder.</u></p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Quadro 38 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B9; as figuras 74 e 75 mostram os gestos realizados pelo estudante para explicar a colisão com o solo

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p data-bbox="236 394 794 488">Figura 74 - Gestos realizados pelo estudante B9, durante a primeira entrevista para colisão com solo.</p>  <p data-bbox="347 1216 707 1245">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="813 394 1372 488">Figura 75 - Gestos realizados pelo estudante B9, durante a segunda entrevista para a colisão com o solo.</p>  <p data-bbox="925 1216 1284 1245">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>

Comparando as duas entrevistas do estudante B9, constata-se que ele muda conceitualmente com relação à altura de retorno do corpo após a utilização da simulação. Durante a primeira entrevista, ele necessita empregar em suas explicações imagens mentais que estão diretamente relacionadas com *drivers* psicofísicos, como solo muito duro e deformação da esfera.

Na segunda entrevista, considera que vai retornar até a posição onde foi abandonado, porque conserva energia, além disso, descreve o movimento auxiliado pela utilização do *driver* hipercultural relacionado com a simulação. Os gestos realizados pelo estudante B9, assim como a mudança conceitual, foram semelhantes ao ocorrido com os estudantes do grupo A, conforme descrito na seção 7.1.1, porém, para este grupo, praticamente todos os estudantes tiveram aprendizagem significativa com modificação do *drivers* para hipercultural.

A maioria dos estudantes do grupo B não conseguiu identificar modificação na sua estrutura cognitiva (B3, B7, B8, B10, B11, B12, B13 e B14), sendo que a maioria destes

estudantes manteve a mesma resposta conceitualmente incorreta (B3, B7, B11, B10, B12, B13, B14). Apenas o B2 e o B8 responderam conceitualmente correto.

Alguns estudantes apresentaram alguma modificação na sua estrutura cognitiva, com relação à aprendizagem significativa: os estudantes B1, B2, B5, B6 e B9, sendo que conceitualmente corretos somente os estudantes B2 e B9.

A seguir cita-se exemplo do estudante B7 que, nas suas duas entrevistas, considera que a altura seria menor e teria perda de energia, conforme se verifica na transcrição a seguir.

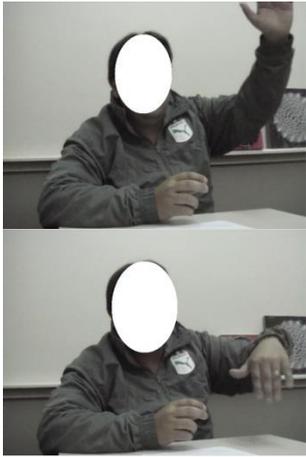
Quadro 39 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B7

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Tá! Muito bem, imagina que tu estás com um objeto, a 2 metros de altura, corpo, esse objeto cai e colide com o solo de forma <u>elástica</u>, como é o movimento? A colisão é elástica.</p> <p>B7: <u>Ele vai bater, vai deixar eu acho um pouco de energia no solo, mas ele vai ter um pouco de energia pra subir.</u></p> <p>P: Nessa situação, então, vai dissipar um pouco da energia?</p> <p>B7: Correto.</p> <p>P: Nessa situação tu imaginaste o que? Que corpo foi que tu imaginaste?</p> <p>B7: Imaginei uma bola.</p> <p>P: Uma bola, que bola?</p> <p>B7: Bola de futebol.</p> <p>P: Bola de futebol. Ela quicando, mas não retorna na mesma altura?</p> <p>B7: <u>Não, se ela partir em repouso, não torna a mesma altura.</u></p>	<p>P: B7 imagina uma situação agora, uma esfera, e eu abandono ela numa altura de dois metros, ela colide com o solo de forma <u>elástica</u>, como é o movimento dela?</p> <p>B7: Ela vai vir com certa energia, dependendo da massa e a tendência dela dependendo da massa, enfim, ela vai bater mas não voltar com a mesma velocidade que ela...</p> <p>P: Diminuiria?</p> <p>B7: Correto.</p> <p>P: <u>Porque que ela diminuiria?</u></p> <p>B7: <u>Porque ela deixaria uma parte de energia no solo, correto?</u></p> <p>Acho que ela dissiparia no momento que ela batesse, através do atrito, de bater no solo e voltar, pelo menos é o que eu penso.</p> <p>P: Tá! E tu, tens alguma imagem específica, que tu pensaste nesse problema, quando tu estavas respondendo agora?</p> <p>B7: Pensei numa bocha.</p> <p>P: Largando uma bocha?</p> <p>B7: <u>Dois metros de altura, ela vai bater, vai voltar, mas não vai atingir a mesma altura.</u></p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Na sequência, as Figuras 76 e 77, referentes aos gestos realizados pelo estudante B7, enquanto descrevia o movimento de queda e altura de retorno. Observa-se que, nas duas figuras, os gestos realizados pelo estudante B7 indicam que a altura de retorno será inferior em relação à altura em que foi abandonado o objeto.

Quadro 40 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B7; as figuras 76 e 77 mostram os gestos realizados pelo estudante para explicar a colisão elástica com o solo

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p data-bbox="256 398 813 524">Figura 76 - Gestos realizados pelo estudante B7 durante a primeira entrevista, com relação à altura de retorno de um corpo após a colisão elástica com o solo.</p>  <p data-bbox="363 1025 724 1055">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>	<p data-bbox="834 398 1391 524">Figura 77 - Gestos realizados pelo estudante B7 durante a segunda entrevista, com relação à altura de retorno de um corpo após a colisão elástica com o solo.</p>  <p data-bbox="858 1025 1219 1055">Fonte: Entrevista, o autor (2015).</p>

Os resultados indicam que a maioria dos estudantes não teve aprendizagem significativa com relação à questão da colisão elástica com o solo, mantendo a mesma resposta nas duas entrevistas, que em geral se caracterizou conceitualmente incorreta. Com esses resultados considera-se que a utilização da segunda simulação praticamente não contribuiu em nada na mudança conceitual com relação a esta questão. Claro, que deve-se considerar que esta segunda simulação, realizada pelo grupo B, não contemplava a situação de colisão com o solo, porém apresentava a discussão da colisão elástica entre dois corpos de massa diferentes, como é caso da colisão entre o corpo e a Terra.

7.7 RESULTADOS PARA A PRIMEIRA QUESTÃO

O primeiro resultado que merece destaque é o de que todos os estudantes (19) participantes das entrevistas da coleta de dados posterior, em algum momento, utilizaram *drivers* da simulação de colisões como mecanismo extracerebral. Além disso, para os dois

estudos apresentados, o comportamento da altura de retorno após a colisão com o solo e análise do comportamento das energias cinética, potencial gravitacional e total, todos os estudantes, em algum momento, apresentaram características de utilização de *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação, em cada um dos estudos.

Com relação à identificação de alguma evidência sobre as modificações na estrutura cognitiva dos estudantes, verificou-se que, para o primeiro estudo, apenas um deles em nenhum momento apresentou evidências de aprendizagem significativa. Os demais estudantes, em pelo menos uma das questões respondidas, demonstraram que houve alguma evolução em termos de conhecimento. Para o segundo estudo, verificou-se que dois estudantes não apresentaram nenhuma modificação em seus conhecimentos após a utilização da simulação, enquanto que os outros, em pelo menos uma das questões relacionadas com estudo de energia, demonstraram a ocorrência de aprendizagem significativa.

O resultado obtido nesta investigação busca responder à pergunta de pesquisa é de que a modificação de *drivers* psicofísico para hipercultural ocorre principalmente para colisões elástica e superelástica. Existem fortes indícios que indicam a modificação também nas estruturas cognitivas dos estudantes, o que faz com que tenham aprendizagem significativa subordinada, superordenada ou combinatória. A hipótese neste estudo é de que para estas duas situações, elástica e superelástica, as colisões estão distantes da realidade dos estudantes. Eles acabam por utilizar imagens da simulação para responder, uma vez que as imagens mentais existentes na estrutura cognitiva não são suficientes para resolver a situação. Na sequência, discutem-se os resultados que evidenciam esta possível conclusão.

Para a primeira questão, queda de corpo colidindo de forma elástica com solo, em relação à altura de retorno, verificou-se que apenas quatro estudantes não utilizaram *drivers* hiperculturais em suas respostas. Isso significa que aproximadamente 80% (12/15) dos estudantes passaram a utilizar *drivers* hiperculturais após a simulação. Ainda, em relação à esta mesma questão, observou-se que cinco estudantes não apresentaram características de aprendizagem significativa, ou seja, aproximadamente 67% (10/15) ancoraram algum conhecimento relacionado com a colisão elástica após a utilização da simulação.

Cabe destacar que dos cinco estudantes que não modificaram os seus *subsunçores* após utilização da simulação, apenas dois não usaram *drivers* hiperculturais. Os outros três foram hiperculturais, sendo que um já havia respondido corretamente na coleta de dados inicial, mantendo a sua resposta na coleta de dados posterior. Dois estudantes passaram a utilizar *drivers* hiperculturais e, mesmo assim, continuaram com respostas incorretas em

relação ao conceito da altura de retorno para a colisão elástica com o solo. Um estudante manteve a sua resposta, que já estava correta na coleta de dados inicial. Isso representa aproximadamente 20% (3/15) dos estudantes que passaram a utilizar *drivers* hiperculturais. Em termos gerais, 60% (9/15) modificaram os *drivers* para hipercultural, ao mesmo tempo em que tiveram aprendizagem significativa, sendo que 53% tiveram aprendizagem significativa respondendo conceitualmente correto.

Na figura 78, a apresentação dos resultados gerais para colisão elástica com o solo.

Figura 78 - Apresentação dos resultados com relação à altura de retorno para a colisão elástica com solo



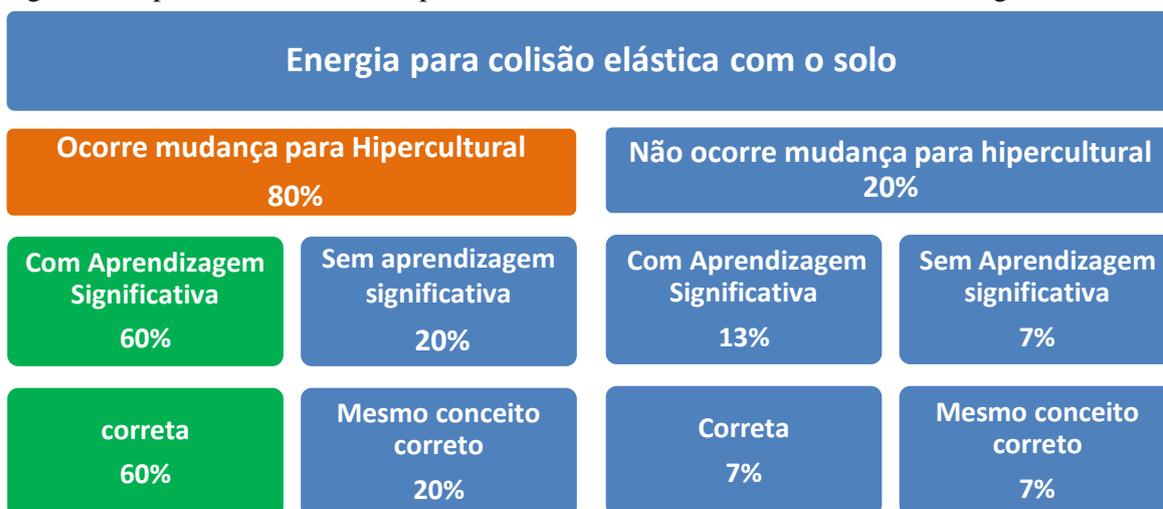
Fonte: O autor (2015)

A maioria dos estudantes respondeu sobre o comportamento das energias na colisão elástica com solo utilizando *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação. Esse número foi de aproximadamente 80% (12/15) dos estudantes.

Com relação à aprendizagem significativa, 73% (11/15) modificaram os *subsunçores* na entrevista da coleta de dados posterior. Estudantes que modificaram o *drivers* para hipercultural e também tiveram aprendizagem significativa foram 60% (9/15), sendo que todos responderam conceitualmente correto.

Na figura 79, são apresentadas as relações para a energia com relação à colisão elástica com o solo.

Figura 79: Apresenta os resultados para a colisão elástica com solo referente às energias



Fonte: O autor (2015)

Para análise do desempenho dos estudantes, para a colisão superelástica com o solo, com relação à altura de retorno, 67% (10/15) dois estudantes modificaram os *drivers* inicialmente utilizados, passando a usar *drivers* de origem hiper-cultural. E com relação à aprendizagem significativa, verificou-se que 60% dos estudantes modificaram a sua estrutura cognitiva após a simulação. Para 53% deles, com relação à colisão superelástica com o solo, para a análise da altura de retorno, verificou-se modificação de seus *drivers*, com aprendizagem significativa conceitualmente correta. Cabe ressaltar que aproximadamente 13% dos estudantes foi hiper-cultural, porém sem aprendizagem significativa, pois já na coleta de dados inicial eles respondiam corretamente, e mantinham a mesma resposta na coleta de dados posterior. Na figura 80, a apresentação dos principais resultados para colisão superelástica com o solo.

Figura 80: Resultados para a colisão superelástica com solo referente à altura de retorno

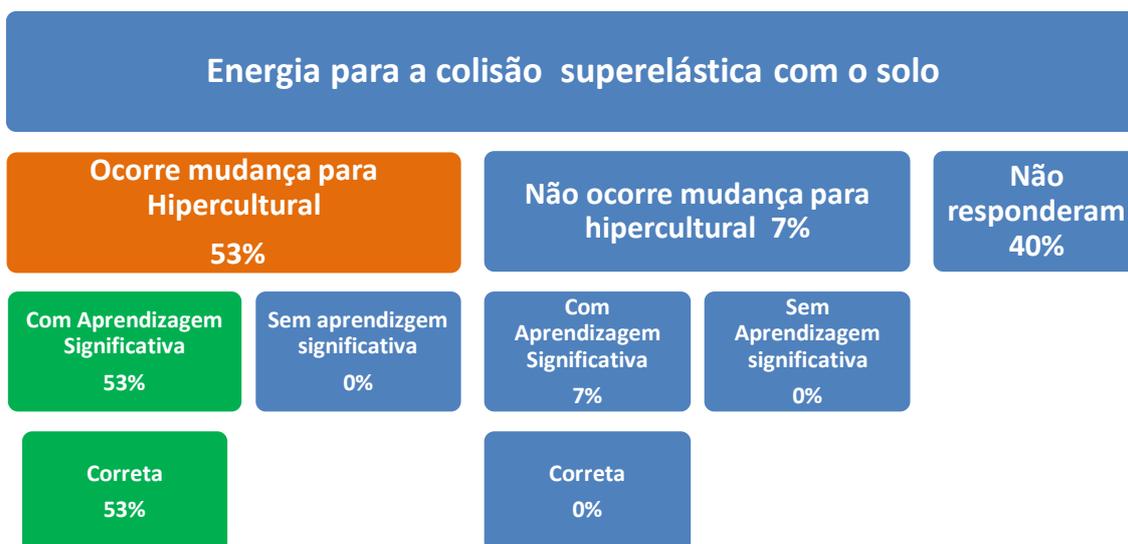


Fonte: O autor (2015)

Com relação às respostas fornecidas para as energias na colisão superelástica com o solo, aproximadamente a metade dos estudantes passou a utilizar *drivers* hiperculturais, 53% (8/15), e todos tiveram aprendizagem significativa conceitualmente correta.

Um número significativo de estudantes 40% (6/15) não respondeu quando questionado quanto ao comportamento das energias para a colisão superelástica. A Figura 81 apresenta os resultados para as energias com relação à colisão superelástica com o solo.

Figura 81 - Resultados das respostas dos estudantes sobre colisão superelástica com o solo



Fonte: O autor (2015)

Levando-se em consideração os resultados anteriores, em relação à altura de retorno após colisão com o solo, verificou-se que os estudantes que modificaram os seus *drivers* tendem a ter aprendizagem significativa conceitualmente correta, principalmente nas situações de colisão elástica e superelástica. Os estudantes que responderam com a utilização de *drivers* hiperculturais e valendo-se da aprendizagem significativa para colisão elástica, foram praticamente os mesmos para a superelástica.

Pode-se considerar que existe uma relação entre as respostas da colisão elástica, em termos de utilização de *drivers* com o solo em relação à altura de retorno, com a das respostas apresentadas para a colisão superelástica com o solo.

Para a colisão inelástica com o solo em relação à altura de retorno, verificou-se que aproximadamente 53% (8/15) dos estudantes utilizaram *drivers* com características hiperculturais, sendo que aproximadamente 47% (7/15) tiveram aprendizagem significativa conceitualmente correta. Porém, 26% (4/15) dos estudantes responderam usando *drivers* hiperculturais e tendo aprendizagem significativa.

Na Figura 82, a representação dos resultados gerais para a colisão inelástica com solo.

Figura 82 - Resultados para colisão inelástica com o solo, com relação à altura de retorno



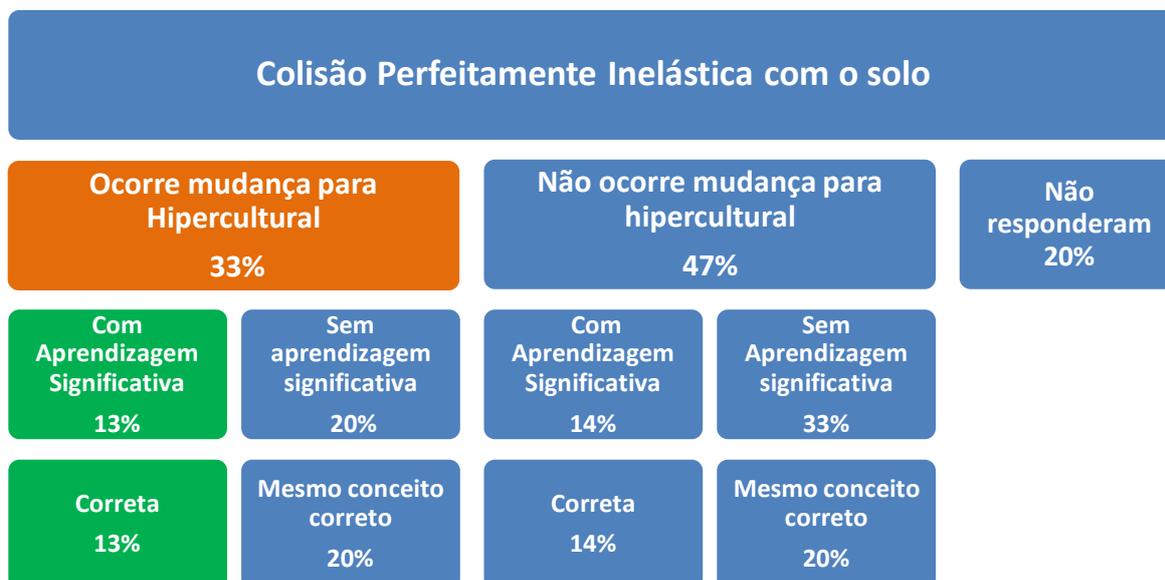
Fonte: O autor (2015)

O número de estudantes que utilizou *driver* hiper-cultural para colisão perfeitamente inelástica é ainda menor: cerca de 33% (5/15) dos estudantes; e 27% apresentaram aprendizagem significativa, sendo que apenas 13% (3/15) deles tiveram uma aprendizagem significativa com modificação dos *drivers* para hiper-cultural.

Cabe destacar que para a colisão perfeitamente inelástica dez estudantes na coleta de dados inicial deixaram de responder ou não foram questionados. Isso significa que, de um terço dos estudantes, não houve resposta na coleta de dados inicial e explica um número elevado de aprendizagem significativa, considerando todos os estudantes que não responderam na coleta de dados inicial e passaram a responder na coleta de dados posterior como tendo aprendizagem significativa conceitualmente correta.

A figura 83 apresenta os resultados para colisão perfeitamente inelástica, com relação à altura de retorno.

Figura 83 - Representação dos resultados para colisão perfeitamente inelástica com o solo, com relação à altura de retorno

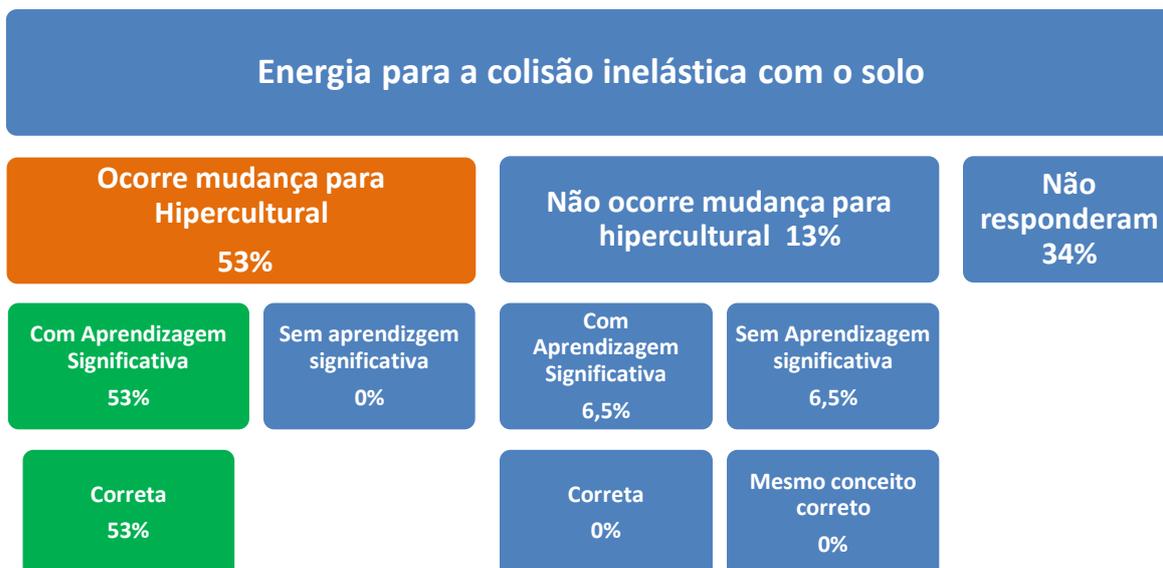


Fonte: O autor (2015)

Quanto à relação entre as respostas para as colisões inelástica e perfeitamente inelástica com o solo, com vistas à altura de retorno, verificou-se que todos os estudantes que não utilizaram *drivers* hiperculturais na colisão inelástica, mantiveram-se sem a necessidade de usar estes *drivers* para a colisão perfeitamente inelástica, o que demonstra uma forte relação entre as respostas.

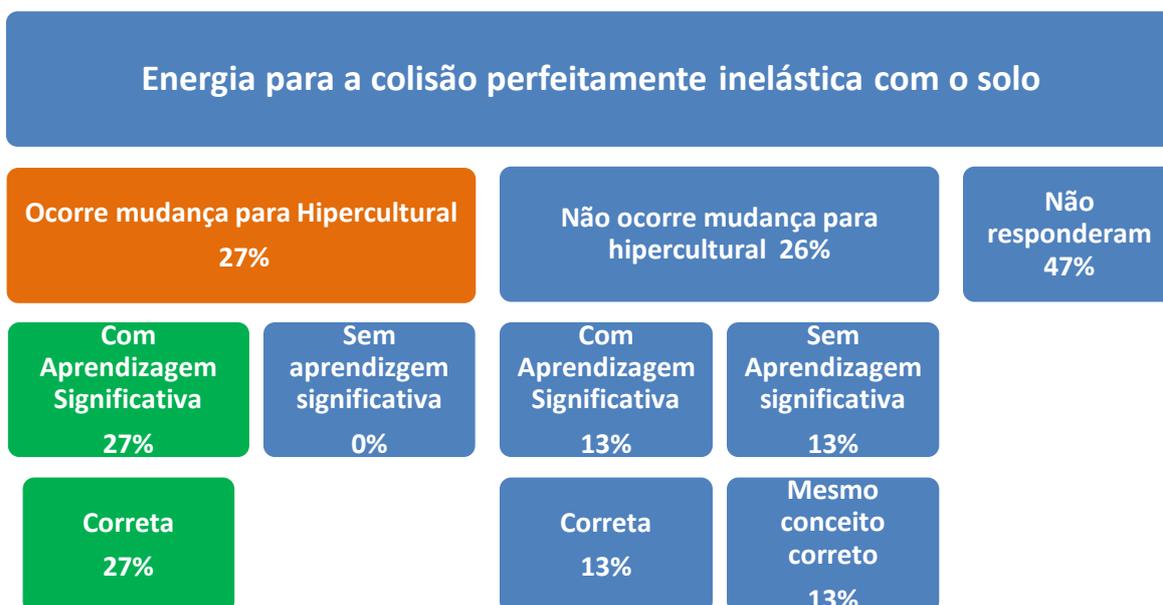
Na análise das energias, encontra-se um número inferior de estudantes que utiliza *drivers* hiperculturais para responder as questões relacionadas com energias para colisão inelástica e perfeitamente inelástica. Para a inelástica, 53% (8/15) dos estudantes modificaram seus *drivers* para hipercultural, sendo que todos também modificaram a sua estrutura cognitiva. Para a colisão perfeitamente inelástica, 27% (4/15) dos estudantes que utilizaram *drivers* hiperculturais para as respostas das energias, e que mudaram de *drivers*, também tiveram aprendizagem significativa. Nas Figuras 84 e 85, a representação dos principais resultados apresentados pelos estudantes com relação à energia para as colisões inelástica e perfeitamente inelástica.

Figura 84 – Resultados de energia para a colisão inelástica com o solo



Fonte: O autor (2015)

Figura 85 - Representação dos principais resultados com relação à energia para colisão perfeitamente inelástica com o solo



Fonte: O autor (2015)

Na comparação com as análises anteriores, pode-se considerar que, possivelmente, a utilização de *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação seja necessária para os tipos de colisões elástica e superelástica. Provavelmente, os *drivers* psicofísicos não conseguem contemplar estes dois tipos de colisão, com relação à altura de retorno após a colisão com o solo.

Por outro lado, há uma redução na utilização de *drivers* hiperculturais para as colisões inelástica e perfeitamente inelástica, talvez por estas colisões estarem mais próximas da realidade, sendo os *drivers* psicofísicos suficientes para responder. É possível que os estudantes tenham tido contado direto com um objeto que colide com solo e retorna a uma altura inferior (inelástica), em relação ao ponto onde foi abandonado, ou que colide com solo e fica parado (perfeitamente inelástica), e muito improvável que tenham tido contato com situações nas quais uma bola/esfera colide com solo e retorna na mesma altura (elástica) ou em uma altura superior ao ponto onde foi abandonado (superelástica).

7.8 RESULTADOS PARA A SEGUNDA QUESTÃO

De forma geral, verifica-se que o grupo A utiliza *drivers* hiperculturais, principalmente quando há questões relacionadas com energias, enquanto que o grupo B não apresenta evidências de que, para responder a algum conceito, passa a utilizar *drivers* hiperculturais, sendo um grupo predominantemente psicofísico. Na sequência, analisam-se os resultados da segunda, terceira e quarta questão dos dois questionários.

Para a segunda questão, colisão entre dois corpos de massas iguais de forma elástica, com relação ao comportamento do movimento dos corpos após a colisão, verificou-se que três estudantes do grupo A e quatro estudantes do grupo B apresentaram indícios de utilização de *drivers* hiperculturais, após a simulação, isso significa que apenas 20% (3/15) dos estudantes do grupo A e 29% (4/14) do grupo B modificaram os seus *drivers* para hipercultural, ou seja, a maioria dos estudantes não modificou os *drivers*, que inicialmente tinham características psicofísicas, principalmente, e alguns estudantes com *drivers* culturais.

Com relação à aprendizagem significativa, verificou-se que cinco estudantes do grupo A, aproximadamente 34% dos estudantes (5/15), modificaram a sua estrutura cognitiva após a utilização da simulação, sendo que dois estudantes tiveram aprendizagem significativa conceitualmente incorreta. Não foi identificado nenhum estudante que tenha usado *driver* hipercultural e aprendizagem significativa no grupo A. Os três estudantes que utilizaram *driver* hipercultural mantiveram respostas semelhantes nas duas entrevistas, conceitualmente corretas.

No grupo B dez estudantes tiveram aprendizagem significativa, o que representa aproximadamente 71% (10/14) dos estudantes que realizaram as duas entrevistas, sendo que quatro responderam conceitualmente incorretos, aproximadamente 29%, e seis conceitualmente corretos, aproximadamente 41%, sendo que quatro dos que responderam corretamente utilizaram *drivers* hiperculturais, ou seja, apenas dois estudantes modificaram a sua estrutura cognitiva após a simulação, conceitualmente corretos, sem a utilização de *drivers* hiperculturais.

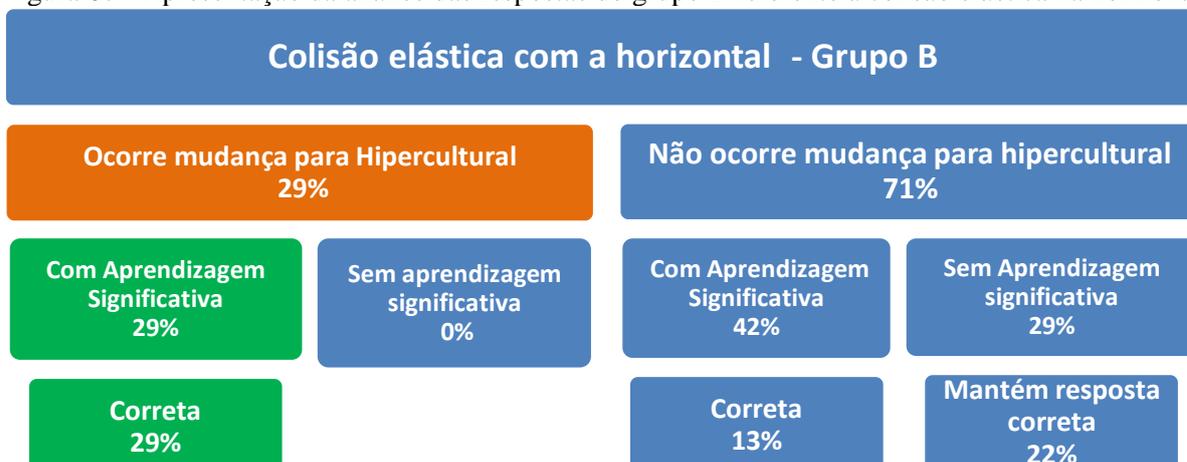
De forma resumida, apresentam-se as relações entre aprendizagem significativa para o grupo A, com relação à colisão elástica na horizontal, na Figura 86. No grupo B, dos estudantes que modificaram os seus *drivers* para hipercultural, apenas um estudante não teve aprendizagem significativa, pois respondeu corretamente nas duas entrevistas. Apresentam-se os resultados do grupo para a colisão elástica na horizontal na Figura 87.

Figura 86 - Apresentação da análise das respostas do grupo A referente à colisão elástica na horizontal



Fonte: O autor (2015)

Figura 87 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à colisão elástica na horizontal



Fonte: O autor (2015)

Comparando os resultados dos dois grupos, verifica-se que o número de estudantes que acabam modificando os seus *drivers*, passando para hipercultural, é bem reduzido. Nos dois grupos, os estudantes, mesmo após a simulação, continuam utilizando *drivers* com características psicofísicas. Na primeira entrevista usam bolas de sinuca, bocha ou similares, passando a adotar imagem mental de carros colidindo na segunda entrevista. Estas imagens mentais estão diretamente relacionadas com os enunciados das questões nos dois testes, conforme pode ser verificado no Apêndice A e B, questão dois.

A seguir apresenta-se parte da transcrição de um estudante do grupo A e outro do grupo B, com respostas muito semelhantes, que exemplifica esta situação da utilização de imagens mentais relacionadas com o enunciado dos testes.

Quadro 41 - Transcrição de parte da coleta de dados inicial e posterior, com os estudantes A5 e B7

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Quando tu imaginas essa situação tu lembras de alguma outra situação que tu relacionas com essa colisão?</p> <p>A5: <u>Lembrei de jogo de bocha.</u></p> <p>P: Jogo de bocha.</p>	<p>P: Quando tu imaginaste essa situação, qual foi a primeira imagem que te veio na mente?</p> <p>A5: <u>Eu imaginei dois carros realmente.</u></p> <p>P: Dois carros reais ou...</p> <p>A5: Dois carros reais mesmo, e tem vários fatores que o carro A tem que esta, não pode esta freada também, se tiver freado daí estaria numa outra situação, então eu realmente imaginei dois carros, e um carro transferindo [11:17; #CFS], depois do choque [11:20; #IC].</p>
Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: O que irá acontecer após uma colisão elástica, com o movimento das esferas?</p> <p>B7: E eu botei que a esfera A, no momento em que ela se chocasse com a esfera B, ela ficaria em repouso e a esfera B ia se deslocar. Respondi isso porque na minha mente, quando eu respondi, me veio como se fosse <u>um jogo de sinuca, uma bola batendo.</u></p> <p>P: Huum. Então tu pensaste num jogo de sinuca para responder isso aqui?</p> <p>B7: É, mais ou menos, associei né.</p>	<p>P: Certo, certo, quando tu pensaste nessa situação aí, qual é a imagem que tu utilizaste?</p> <p>B7: De um cruzamento.</p> <p>P: De um cruzamento, real?</p> <p>B7: Parado, numa sinaleira,</p> <p>P: Exatamente a mesma imagem que tem aí, a mesma situação que está descrita aí?</p> <p>B7: Correto.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Com os resultados apresentados acima, em dois grupos distintos de estudantes, mas com respostas semelhantes, e levando em conta o número de estudantes hiperculturais, considera-se que para a maioria a simulação não conseguiu se relacionar com a estrutura cognitiva dos mesmos. Mas, para os estudantes que modificaram os seus *drivers*, os resultados são bem interessantes quanto à aprendizagem significativa, pois, de forma geral, indicam que quando há uma modificação em seus *drivers*, passando utilizar imagens mentais relacionadas com a simulação, os estudantes tiveram aprendizagem significativa ou já respondiam corretamente em termos conceituais.

Na análise das respostas fornecidas pelos estudantes, quanto ao comportamento das energias cinéticas dos corpos envolvidos em uma colisão elástica na horizontal, verifica-se que no grupo A, nove estudantes, 60% (9/15) modificaram os *drivers* para hipercultural, enquanto que no grupo B quatro estudantes, aproximadamente 29% (4/14), passaram a utilizar *drivers* de origem hipercultural relacionados com a simulação, enquanto explicavam o comportamento das energias dos corpos envolvidos na colisão elástica.

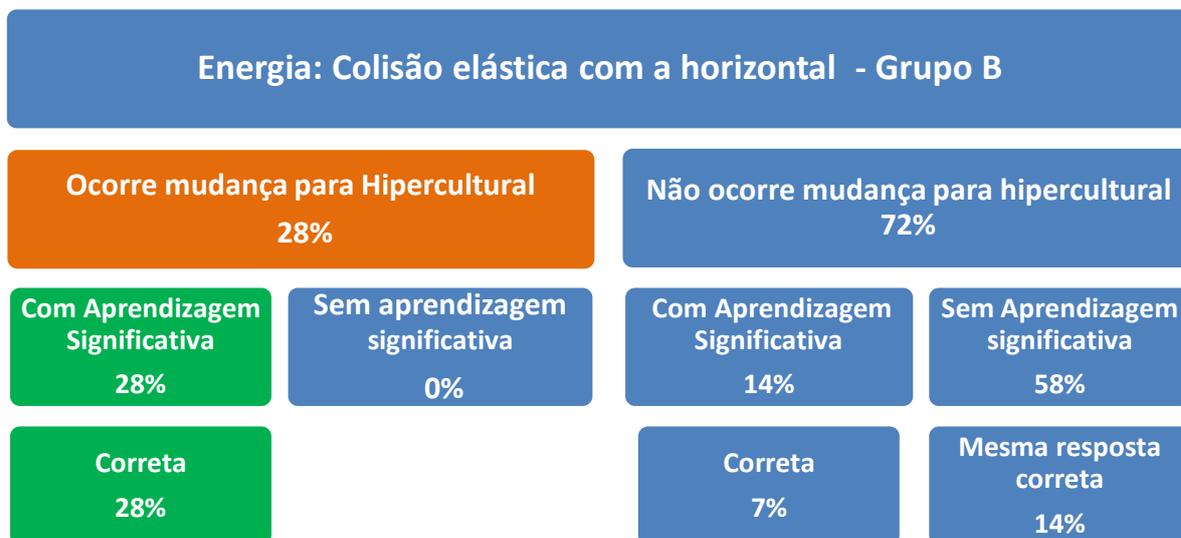
Para os estudantes do grupo A, que utilizaram *drivers* hiperculturais, sete estudantes tiveram aprendizagem significativa, o que representa aproximadamente 47%, enquanto que dois estudantes que responderam corretamente na primeira entrevista, mantiveram as suas respostas na entrevista posterior, e que estavam corretas conceitualmente. No grupo B, dos quatro estudantes (28%) que modificaram o seu *driver* para hipercultural, todos tiveram aprendizagem significativa. Na Figura 88, um quadro-resumo das respostas apresentadas pelos estudantes integrantes do grupo A, com relação à energia cinética dos corpos envolvidos em uma colisão elástica, e, na Figura 89, os resultados do grupo B para a mesma questão.

Figura 88 - Resultados das respostas dos estudantes do Grupo A em relação à energia cinética para a colisão elástica



Fonte: O autor (2015).

Figura 89 - Resultados das respostas dos estudantes do Grupo B em relação à energia cinética para a colisão elástica



Fonte: O autor (2015).

Comparando os resultados verificados nos dois grupos, observa-se que o grupo A possui características hiper-culturais relacionadas com as simulações, em que a maioria dos estudantes acabou modificando os seus *drivers*; enquanto que no grupo B, os resultados indicam que a maioria dos estudantes não utilizou *drivers* hiper-culturais. Provavelmente, esta diferença entre os dois grupos está na utilização ou não da primeira simulação.

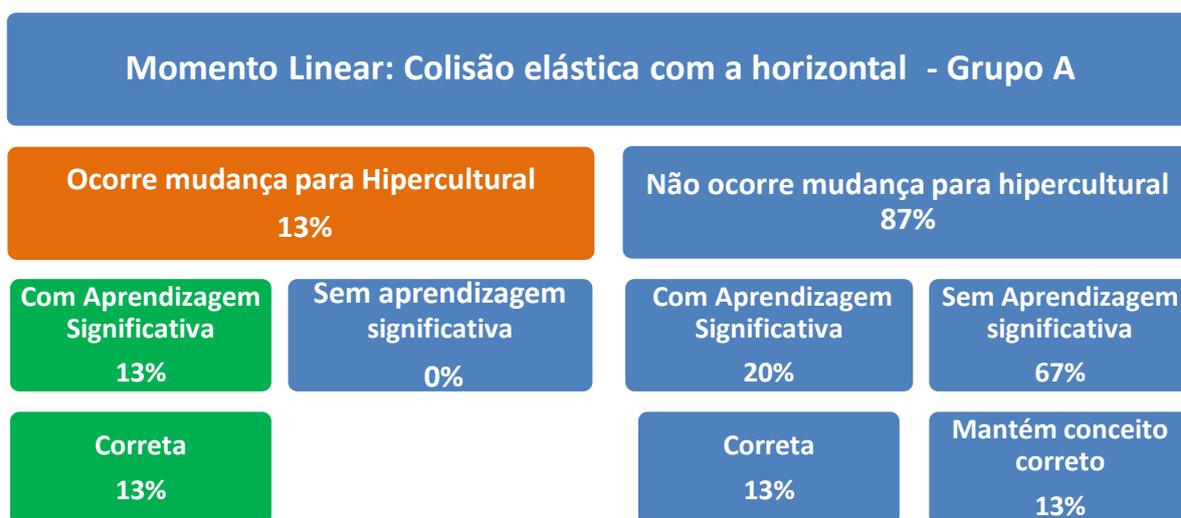
Como o primeiro grupo usou a primeira simulação, em que os resultados indicam que os estudantes haviam utilizado *drivers* hiper-culturais em suas respostas, relacionadas com a primeira simulação, estes persistiram para os estudantes do grupo, enquanto que os estudantes do grupo B, que não utilizaram a primeira simulação, não se apropriaram dos *drivers* hiper-culturais para energia.

Apesar do número de estudantes hiper-culturais para a questão de energia ser significativamente diferente nos dois grupos, identificaram-se, nos dois grupos, que os estudantes que foram hiper-culturais ou tiveram aprendizagem significativa ou já respondiam conceitualmente correto, mantiveram a mesma resposta na segunda entrevista.

Para análise do momento linear durante a colisão, verificou-se que dois estudantes do grupo A utilizam em alguns momentos *drivers* hiper-culturais relacionados com simulação, para responder sobre o momento linear. Para o grupo B também identificou-se que apenas dois estudantes utilizam *drivers* hiper-culturais relacionados com as simulações.

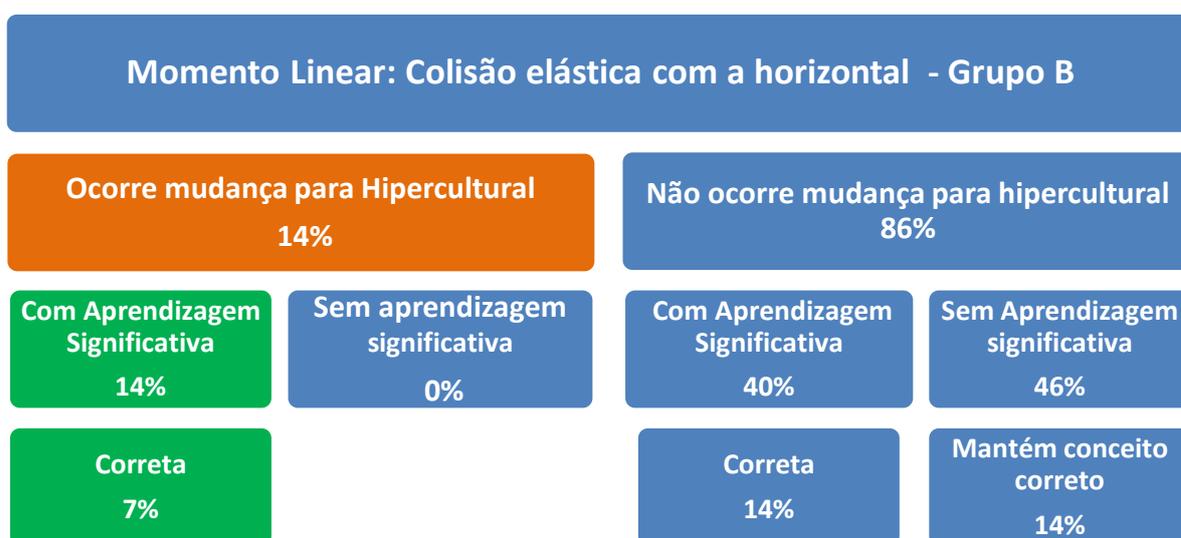
No grupo A, os dois estudantes hiperculturais também tiveram aprendizagem significativa correta, e no grupo B um estudante teve aprendizagem significativa correta e outro respondeu corretamente nas duas entrevistas. A seguir, apresentam-se os principais resultados dos dois grupos, nas Figuras 90 e 91.

Figura 90 - Resultados das respostas dos estudantes do Grupo A em relação ao momento linear para a colisão elástica



Fonte: O autor (2015).

Figura 91 - Resultados das respostas dos estudantes do Grupo B, em relação ao momento linear para a colisão elástica



Fonte: O autor (2015).

Comparando os resultados entre os dois grupos, verifica-se que a maioria dos estudantes não modificaram de *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação. O número de estudantes sem aprendizagem significativa, que permanecem respondendo de

forma incorreta é bem elevado, 54% para o grupo A e 42% para o grupo B. Além disso, os resultados indicam dificuldade dos estudantes em ter uma imagem mental relacionada com momento linear, conforme pode-se conferir na transcrição dos estudantes A5 do grupo A e B8 do grupo B.

Quadro 42 – Coleta de dados inicial e posterior do estudante A5

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: Uhum, e tu tens alguma imagem que tu relembrs isso?</p> <p>A5: Imagem sobre velocidade?</p> <p>P: Quantidade de movimento, velocidade...</p> <p>A5: <u>Imagem realmente dita não</u>, mas falando em velocidade meio que associo na mesma imagem.</p>	<p>P: Tu tens alguma imagem específica para quantidade de movimento?</p> <p>A5: Não.</p> <p>P: Não tem?</p> <p>A5: <u>Não tenho</u>.</p> <p>P: Conceito?</p> <p>A5: Não também.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Quadro 43 - Coleta de dados inicial e posterior do estudante B8

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: E quando tu falas em momento linear que é quantidade de movimento, a mesma coisa, tu tens alguma imagem para isso?</p> <p>B8: <u>Não, não</u>.</p>	<p>P: Para momento linear, <u>tu tens alguma imagem?</u></p> <p>B8: <u>Para momento linear, não, não assim...</u></p>

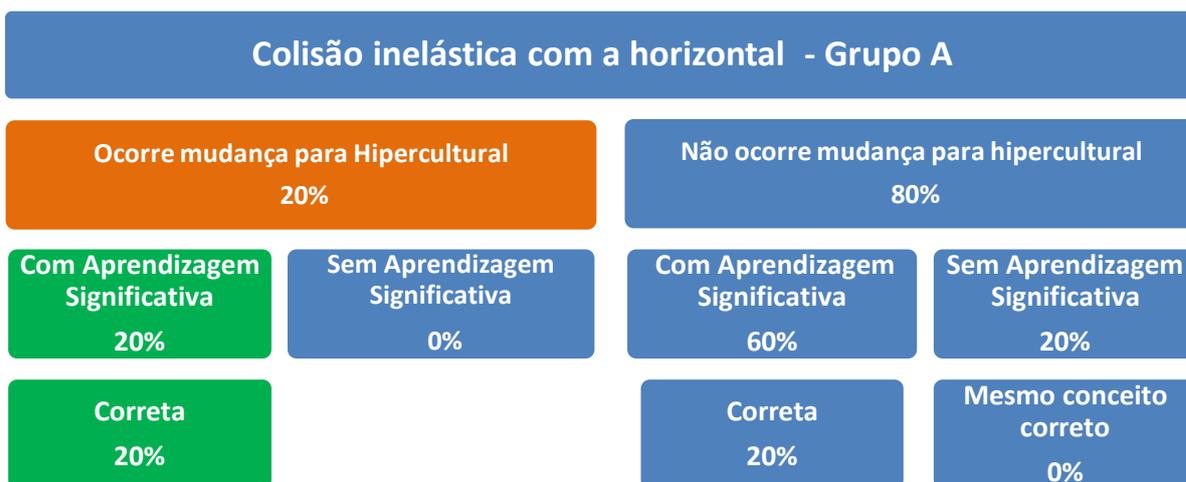
Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Analisando os resultados para estes dois grupos, observa-se que apenas dois estudantes utilizam imagem mental relacionada com vetores para o momento linear. Os resultados indicam que o uso da simulação não conseguiu criar ou modificar *drivers* hiperculturais, que favorecessem a aprendizagem significativa dos conceitos de momento linear.

Considerando a colisão inelástica entre dois corpos na horizontal, identifica-se que apenas um estudante teve modificação nos *drivers* após o uso da simulação, passando para hipercultural, e outros dois que apresentaram indícios de que utilizaram a simulação. Da análise com estes três estudantes, constata-se que 20% (3/15) passa a utilizar *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação em suas respostas, sendo que, destes, todos tiveram alguma mudança na sua estrutura cognitiva, o que representa uma aprendizagem significativa.

No grupo B, quatro estudantes utilizam *drivers* hiperculturais relacionados com a segunda simulação, aproximadamente 29%, sendo que todos apresentaram aprendizagem significativa, e um estudante conceitualmente incorreto. Nas figuras 92 e 93 uma visão geral das respostas fornecidas pelos dois grupos, com relação à colisão inelástica.

Figura 92 - Apresentação da análise das respostas do grupo A referente à colisão inelástica na horizontal



Fonte: O autor (2015).

Figura 93 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à colisão inelástica na horizontal



Fonte: O autor (2015).

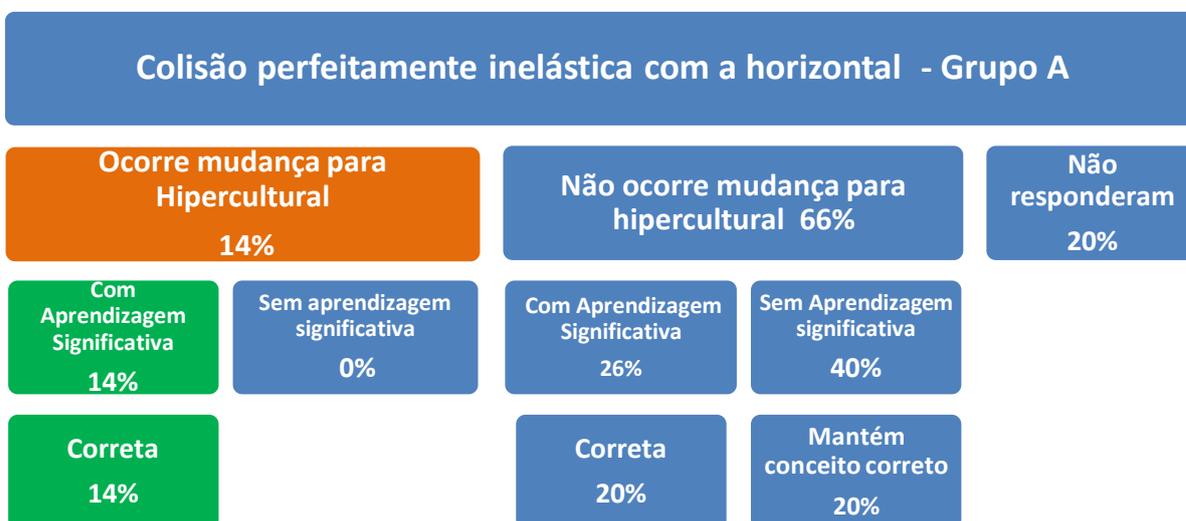
Apesar de no grupo A, 80% dos estudantes modificarem a sua estrutura cognitiva, apenas 40% dos conceitos apresentados em suas repostas após a simulação estavam incorretos, enquanto que 20% mantiveram resposta incorreta nas duas entrevistas. No grupo

B, metade dos estudantes apresentaram modificação na sua estrutura cognitiva, mas menos de 30% responderam corretamente.

Comparando os dois grupos verificou-se semelhança nos resultados, indicando o baixo índice de estudantes com características hiperculturais relacionadas com a simulação, porém, nos dois grupos, os estudantes que modificaram seus *drivers* praticamente todos tiveram aprendizagem significativa com relação à colisão inelástica entre dois corpos.

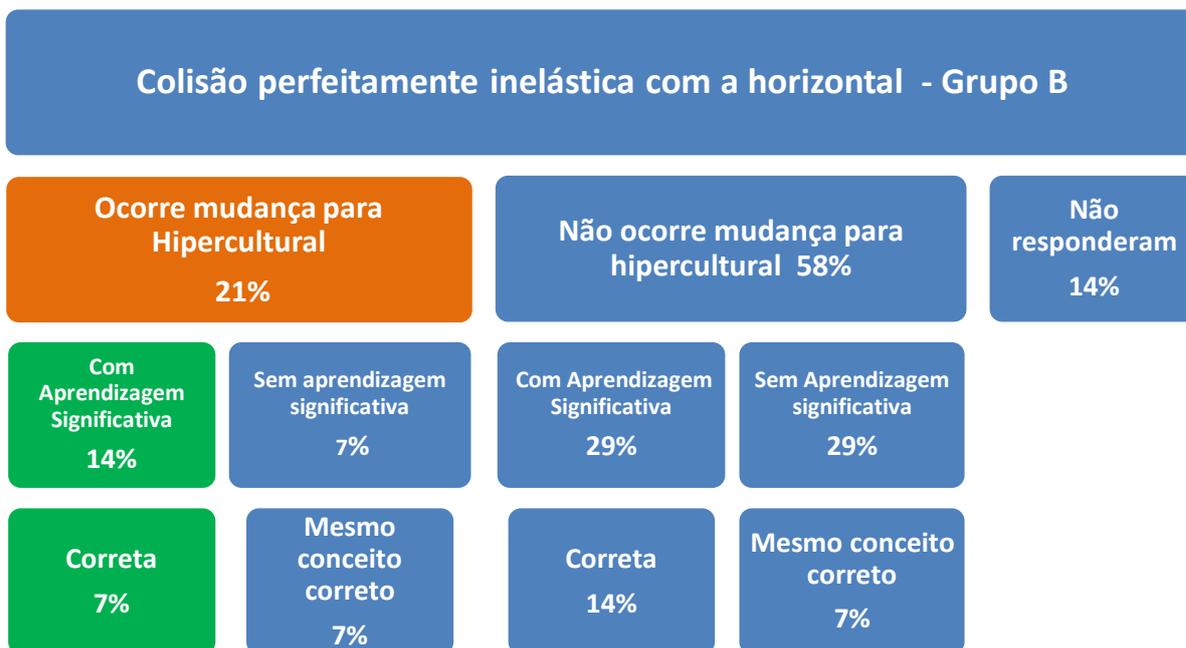
No estudo de colisão perfeitamente inelástica entre dois corpos na horizontal, conseguiu-se identificar que os estudantes A7 e A13 modificaram seus *drivers* passando a utilizar imagens mentais relacionadas com a segunda simulação. Já no grupo B, três estudantes utilizavam *drivers* hiperculturais, aproximadamente 21% dos estudantes, sendo que nos dois grupos todos os estudantes que tiveram a modificação nos *drivers* para hipercultural também tiveram aprendizagem significativa, conforme se vê nas Figuras 94 e 95, que representam, de forma geral, as repostas apresentadas pelos estudantes dos dois grupos com relação à colisão perfeitamente inelástica.

Figura 94 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à colisão perfeitamente inelástica na horizontal



Fonte: O autor (2015).

Figura 95 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à colisão perfeitamente inelástica na horizontal



Fonte: O autor (2015).

Novamente identifica-se um número baixo de estudantes que respondem utilizando *drivers* com características hiperculturais nos dois grupos. Mas nenhum dos estudantes hipercultural respondeu conceitualmente incorreto. Com os resultados apresentados pelos dois grupos, considera-se que a segunda simulação não contribuiu para a modificação dos *drivers*, as imagens mentais utilizadas pelos estudantes, após a simulação, permaneceram com características psicofísicas, usando imagens mentais relacionadas com o enunciado do problema, de carros colidindo. Quando o estudante passa a utilizar imagens mentais relacionadas com a simulação, ele pode acabar substituindo os carros pelas esferas, situação apresentada pelo estudante A8.

Quadro 44 - Coleta de dados posterior com o estudante B8

Coleta de dados posterior
<p>P: Então no movimento da perfeitamente inelástica, como é que seria o comportamento? B8: Juntas, grudadas, quando <u>a esfera A</u> se choca com <u>a esfera B</u> elas vão no mesmo sentido juntamente.</p> <p>P: <u>Nós estamos falando num problema que é a colisão de dois carros, mas tu respondes sempre em termos de esfera</u>, por quê? B8: Esferas.</p> <p>P: Tu tá pensando só na simulação? B8: Isso, exatamente.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Com relação à colisão superelástica, observa-se que a grande maioria nos dois grupos não respondeu, ou seja, um percentual de 71% (10/14) não respondeu sobre o comportamento dos corpos em uma colisão superelástica. Devido a esse número baixo de respostas, identifica-se apenas um estudante do grupo B que tenha utilizado imagens mentais relacionadas com simulação, enquanto respondia. Não se conseguiu identificar o motivo por que um número considerável de estudantes não respondeu com relação à colisão superelástica.

7.9 RESULTADOS PARA A TERCEIRA QUESTÃO

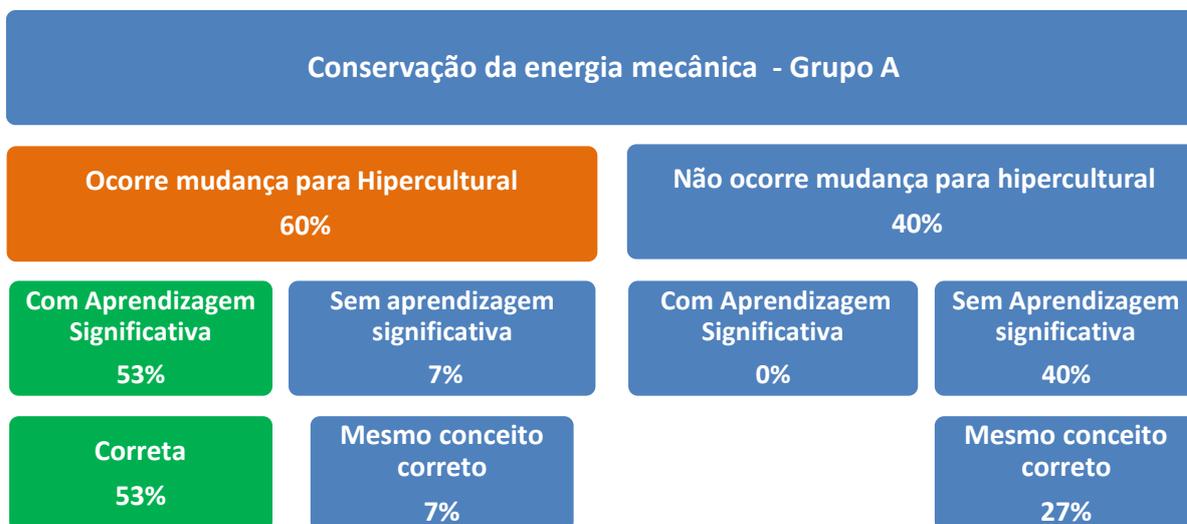
Em relação à questão da conservação de energia, onde o estudante deveria explicar o significado a outro colega, verificou-se que no grupo A 60% (9/15) utilizaram *drivers* hiperculturais relacionados principalmente com a primeira simulação. Enquanto que no grupo B, três estudantes, aproximadamente 21%.

No grupo A apenas um estudante que modificou seu *driver* não teve aprendizagem significativa, pois já respondia corretamente na primeira entrevista, os demais modificaram a sua estrutura cognitiva apresentando respostas conceitualmente corretas. Para o grupo A, o principal *driver* usado pelo grupo hipercultural foi o das barras de energia, enquanto que no grupo B dois estudantes utilizaram como imagem mental as barras de energia. Muitos estudantes do grupo B não demonstraram a utilização de imagens mentais para conservação de energia, cerca de 40% dos estudantes do grupo B.

Além disso, mesmo respondendo corretamente, cerca de 43% afirmam que conservação de energia é quando a quantidade de energia inicial é igual à quantidade de energia final, sem maiores explicações.

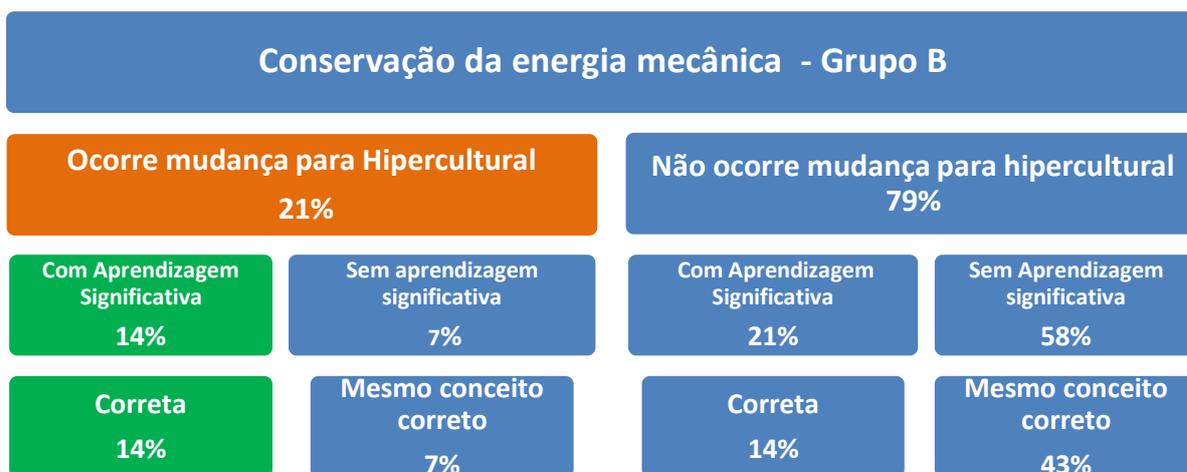
Nas Figuras 96 e 97 apresentam-se os principais resultados dos dois grupos, com relação à conservação da energia mecânica, a terceira questão dos dois questionários (Apêndice A e B).

Figura 96 - Apresentação da análise das respostas do grupo A referente à conservação da energia mecânica



Fonte: O autor (2015).

Figura 97 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à conservação da energia mecânica



Fonte: O autor (2015).

Na comparação dos dois grupos, há resultados interessantes. O grupo A pode ser caracterizado mais como hiper-cultural, enquanto que o grupo B não possui essa característica. Como hipótese, considera-se que esta diferença apresentada nos dois grupos deve-se à utilização da primeira simulação pelo grupo A, enquanto que o grupo B não utiliza. Isso é reforçado pelo fato de que, quando os estudantes do grupo A, ao descrevem suas respostas, apresentam imagens mentais relacionadas com energia cinética, potencial gravitacional e movimentação e corpos na vertical, como a resposta apresentada pelo estudante A15 na sua segunda entrevista.

Quadro 45 - Coleta de dados posterior do estudante A15

Coleta de dados posterior
<p>P: Onde tu viste esses gráficos?</p> <p>A15: Na simulação, 3 barras né, a cinética a gravitacional [16:37; indica as três barras de energia] se a total daí até lá no simulador tem as barrinhas, conforme o movimento da bola as energias cinética e gravitacional vão variando [16:55; #BEV], mas a energia total se manteria [16:59; #BEE] pelo gráfico, não alterando o gráfico.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Enquanto o grupo B não adquiriu os *drivers* hiperculturais relacionados com barras de energia, verifica-se, por outro lado, que o grupo A faz essa relação. De forma geral, os estudantes tentam relacionar conservação de energia com movimento dos corpos na horizontal, ou apenas recordam das fórmulas apresentadas, como é o caso dos estudantes B8 ou relacionado com o movimento, como é caso do estudante B12.

Quadro 46 - Coleta de dados posterior do estudante B8

Coleta de dados posterior – B8
<p>P: Tem imagem pra isso, tu pensa em algum exemplo, em alguma situação?</p> <p>B8: Prática não, teórica assim, mas a imagem das fórmulas.</p> <p>P: Uhum. Tu utilizas a imagem das fórmulas?</p> <p>B8: Isso.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Quadro 47 - Coleta de dados posterior do estudante B12

Coleta de dados posterior – B12
<p>B12: Conservação de energia mecânica é conservação de energia cinética gravitacional elástica em um determinado sistema.</p> <p>P: Determinado sistema... O que tu consideras como determinado sistema?</p> <p>B12: Uma colisão.</p> <p>P: Determinado sistema seria tudo que está ligado a uma colisão?</p> <p>B12: Isso.</p> <p>P: Tu tens alguma imagem para representar isso aí?</p> <p>B12: Imagem, os dois objetos colidindo, objetos colidindo, só isso.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

7.10 RESULTADOS DA QUARTA QUESTÃO

Com relação à última pergunta dos dois questionários, relacionada com conservação de momento linear, verifica-se que no grupo A apenas dois estudantes, aproximadamente 13%, utilizam *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação, e no grupo B também apenas dois estudantes, aproximadamente 14%, apresentam características hiperculturais. Os quatro estudantes dos dois grupos apresentaram modificação na sua estrutura cognitiva, mas conceitualmente incompleta.

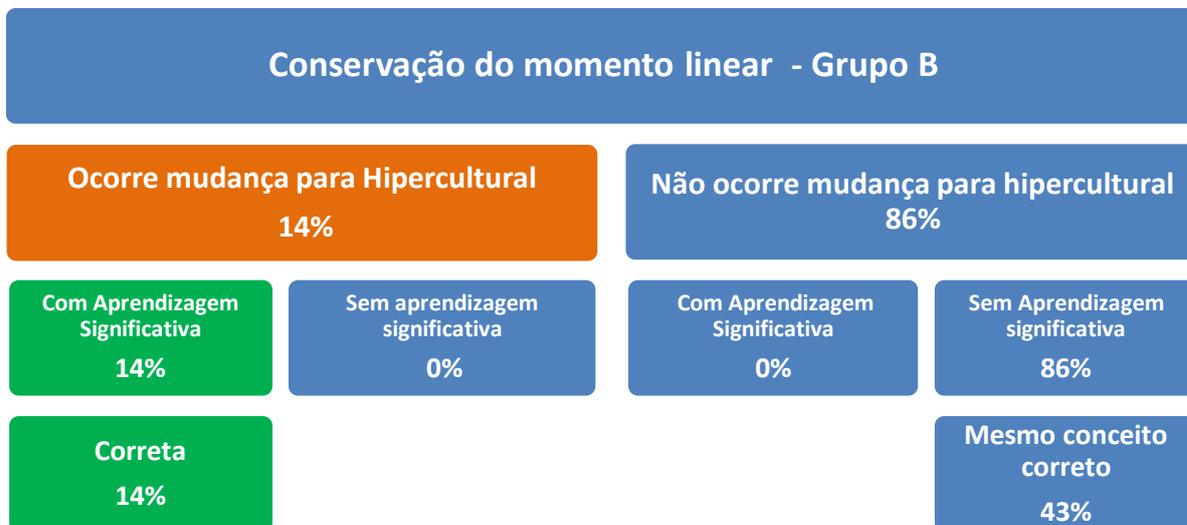
As figuras a seguir, 98 e 99, representam um resumo das respostas dos estudantes dos dois grupos com relação à questão da conservação do momento linear.

Figura 98 - Apresentação da análise das respostas do grupo A referente à conservação do momento linear



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Figura 99 - Apresentação da análise das respostas do grupo B referente à conservação do momento linear



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Os resultados indicam claramente que os estudantes nos dois grupos não conseguiram adquirir *drivers* relacionados com a representação do momento como grandeza vetorial, e, de forma geral, conforme já apresentado na sessão de análise, muitos estudantes apenas respondem que conservação do momento final é igual ao inicial. Os estudantes possuem dificuldades em apresentar imagens mentais para o momento, quando utilizam, relacionam com deslocamento, velocidade.

O grupo A realizou a primeira simulação e, durante as suas duas entrevistas, os estudantes deveriam responder com relação ao comportamento dos objetos que colidiam com solo, em diferentes situações. Para a colisão elástica com o solo, verifica-se que 80% dos estudantes do grupo A passaram a utilizar *drivers* hiperculturais, onde 60% tiveram aprendizagem significativa. Para o grupo B, conforme já mencionado, não foi realizada a primeira simulação, mas durante as duas entrevistas foram questionados com relação ao comportamento de um corpo abandonado de certa altura que colidira com o solo. Três estudantes recorrem à segunda simulação para responder à questão de colisão elástica com o solo, isso representa aproximadamente 21% dos estudantes do grupo B, sendo que dois têm aprendizagem significativa: um conceitualmente incorreto e outro mantém a mesma resposta correta.

7.11 SEIS MESES DEPOIS...

Seis meses após a realização das simulações pelo grupo A, contactou-se com alguns estudantes que haviam realizado as duas entrevistas, e que apresentaram em suas respostas características de utilização de imagens mentais relacionadas com a simulação. Conseguiu-se entrevistar três estudantes, A4, A7 e A14. As entrevistas realizadas seguiram os mesmos moldes das entrevistas anteriores. Assim, passa-se a discutir alguns pontos destas entrevistas, buscando relacionar com as entrevistas anteriores.

Observa-se que, de maneira geral, para a primeira questão e seus desdobramentos, os estudantes, ao responderem às questões relacionadas com movimento ou colisão dos corpos, na terceira entrevista, estão mais propensos a utilizar *drivers* com características psicofísicas, mantendo a mesma resposta da segunda entrevista, ou até respondendo de forma semelhante à primeira entrevista. Porém, ao descreverem o comportamento das energias, os três estudantes são mais propensos a utilizar *drivers* hiperculturais relacionados com as barras de energia, apresentando respostas, que, sob o ponto de vista conceitual, estão corretas.

Para as colisões inelástica e perfeitamente inelástica, observa-se que os estudantes utilizam *drivers* psicofísicos e que as respostas apresentadas nas três entrevistas são semelhantes. Mas, quando questionados sobre energias para estes dois tipos de colisão com solo, dois estudantes acabam utilizando as barras de energia. Com relação à colisão elástica, dois estudantes mantêm as respostas da segunda entrevista, apresentando indícios da utilização do coeficiente de energia.

Referente à segunda questão, que está relacionada com a segunda entrevista, para a colisão elástica entre dois corpos de massa igual, de forma geral, os três estudantes utilizam *drivers* psicofísico, com respostas incorretas, sendo que dois não tiveram aprendizagem significativa na segunda entrevista, mas respondiam corretamente. Com relação à energia, apenas um estudante apresenta indícios de utilização das barras de energia, porém, na segunda entrevista, todos os três estudantes utilizaram *drivers* hiperculturais relacionados com as barras de energia.

Para o momento linear, todos responderam na terceira entrevista de forma equivocada, apesar de um dos estudantes ter apresentado aprendizagem significativa na segunda entrevista. Para colisão inelástica e perfeitamente inelástica as respostas permaneceram semelhantes às das três entrevistas, com utilização de *drivers* psicofísicos, sem apresentar

indícios de aprendizagem significativa, em que, principalmente para colisão perfeitamente inelástica, responderam corretamente nas três entrevistas.

Com relação à quarta questão, conservação de energia mecânica, um estudante não respondeu, enquanto que os outros dois responderam a terceira entrevista utilizando as imagens mentais das barras de energia, com características hiperculturais, mantendo, geralmente, a mesma resposta nas duas últimas entrevistas, utilizando como exemplo a primeira simulação.

Para o momento linear, um estudante, na segunda entrevista, utilizou *drivers* hiperculturais, com aprendizagem significativa, passando a responder de forma equivocada na terceira entrevista. Dois estudantes mantêm as respostas corretas nas duas últimas entrevistas, mas sem utilização de *drivers* hiperculturais.

De forma geral e resumida, na terceira entrevista, os estudantes mantêm a utilização de *drivers* hiperculturais, principalmente para situações que envolvam estudo de energia na primeira simulação, enquanto que, para descreverem os movimentos dos corpos, acabam utilizando *drivers* com características mais psicofísicas. A seguir, apresentam-se alguns indícios que sustentam as colocações anteriores.

Trazendo uma visão geral, o estudante A4 com relação à primeira questão, na primeira entrevista, utilizou *driver* psicofísico; na segunda, em quase todas as situações, *drivers* de origem hipercultural; e na terceira entrevista, principalmente no que se refere aos *drivers* para o movimento, volta a ser psicofísico. Da primeira para a segunda entrevista, o estudante A4 além de modificar seus *drivers* para hipercultural, também apresentou aprendizagem significativa.

Na terceira entrevista, quando volta a utilizar *drivers* de origem psicofísica, que persistiram, responde conceitualmente incorreto com relação à altura de retorno. Porém, para a análise da energia, o estudante A4 usa *drivers* hiperculturais, relacionados com as barras de energia, os quais persistiram após seis meses da utilização da simulação. Quando questionado com relação à imagem mental que estava utilizando, verifica-se que o estudante A4 considera, na primeira entrevista, uma bolinha de tênis, mesma imagem mental utilizada na última entrevista.

Comparando as entrevistas do estudante A4, observa-se a utilização de *drivers* psicofísicos na terceira entrevista, muito semelhante ao apresentado na primeira entrevista. A imagem mental da bolinha de tênis parece persistir na estrutura cognitiva deste estudante após seis meses. A seguir, mostra-se parte da transcrição do estudante A4, em que na primeira

entrevista utiliza imagem mental de uma bolinha de tênis, na segunda, a representação gráfica apresentada na simulação, e na terceira entrevista volta a utilizar a imagem mental de uma bolinha de tênis.

Quadro 48 - Parte da transcrição das três entrevistas do estudante A4

Primeira entrevista – A4	Segunda entrevista – A4	Terceira entrevista – A4
A4: A eu imaginei acho que uma <u>bolinha de tênis</u> [1:52; #RO], mais ou menos.	A4: Só a representação <u>gráfica que nem do laboratório</u> que a gente viu. Que a bola fica subindo e descendo sem parar [2:18; #OCS]. Que a princípio mantém sempre a mesma distância do trajeto [2:22; #OCS].	A4: Uma bola qualquer [1:14; #RO], acho que <u>uma de tênis</u> , caindo [1:18; #OC].

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Com relação à altura de retorno, para a colisão elástica com o solo, o estudante A4, que na segunda entrevista utilizou *driver* hipercultural, respondendo corretamente, agora, nesta terceira entrevista, volta a usar *drivers* psicofísico, conforme apresentado anteriormente, considerando que a altura de retorno seria inferior à altura em que foi abandonado. Observa-se que a ideia de que a altura de retorno será inferior em relação à altura em que o corpo foi abandonado, parece estar relacionada com a estrutura cognitiva deste estudante.

O estudante A14, na sua terceira entrevista, apresenta indícios de que esteja utilizando *drivers* hiperculturais no momento em que menciona que: “ela tem um coeficiente de perda de energia”, que provavelmente está remetendo à ideia do fator de conservação de energia (f) que foi utilizado na simulação, mas sua resposta volta a ser semelhante à da primeira entrevista, em que considera que a altura de retorno seria inferior à altura em que o corpo foi abandonado.

Na terceira entrevista, o estudante A7 considera que a altura de retorno seria igual à altura em que corpo foi abandonado: “A7: Ia voltar para cima até a mesma altura que foi largada, se for elástica por exemplo. [2:10; #OS]”, utilizando gestos indicando que este retorno será igual. Nas duas entrevistas anteriores, este estudante considerava que a altura de retorno seria a mesma, sendo que na segunda entrevista ele já utilizava *drivers* hiperculturais, e agora, na terceira, não há indícios da utilização de *drivers* hiperculturais para esta questão.

Como resultado, tem-se que para a altura de retorno de uma colisão elástica com o solo, os três estudantes persistem com a mesma ideia que possuíam na primeira entrevista, seja ela correta ou não, sem a necessidade de utilizar *drivers* hiperculturais.

Com relação às energias para a colisão elástica com o solo, há indícios de que o estudante A4 utiliza imagens mentais relacionadas com a simulação. Comparando as três entrevistas, verifica-se que nas duas últimas (após o uso da simulação) ele utiliza imagens mentais conforme descrita pelo estudante como “gráficos”, que, ao analisar os gestos, são semelhantes às barras de energia. Ao ser questionado sobre a origem desse *driver*, ele responde “A4: No laboratório mesmo de informática ali, que a gente fez aquele tipo de situação”. Na segunda entrevista, o estudante A4 apresenta características de aprendizagem significativa, a qual persiste na terceira entrevista.

O estudante A7, na segunda entrevista, em comparação com a primeira, não apresenta aprendizagem significativa, mas se utiliza de *drivers* hiperculturais relacionados com as barras de energia. Na terceira entrevista, o estudante A7 continua a utilizar os *drivers* hiperculturais relacionados com as barras de energia, mantendo resposta semelhante à da segunda entrevista. O estudante A7, quando questionado sobre qual imagem mental ele utiliza para representar a energia, responde de imediato: “É as barrinhas verde”. Desde o início da sua resposta com relação à energia, o estudante A7 utiliza o *driver* hipercultural relacionado com as barras de energias, situação que já havia ocorrido na segunda entrevista, inclusive os gestos são muito semelhantes. A resposta fornecida pelo estudante A7, com relação ao comportamento das energias, está correta nas três entrevistas, o que modifica é o *driver* que ele utiliza, sendo nas duas últimas *drivers* de origem hipercultural. O estudante A14, também adota a ideia das barras de energia na terceira entrevista, utilizando o *driver* hipercultural relacionado com a simulação e com jogos de vídeo game. A forma como descreve o comportamento destas barras é semelhante à segunda descrita na segunda entrevista. O estudante A14 apresenta modificação na sua estrutura cognitiva, respondendo corretamente na segunda entrevista; este resíduo permanece na terceira entrevista, mantendo resposta semelhante.

Com relação às energias para a colisão elástica com o solo, observa-se que os estudantes tendem a continuar utilizando *drivers* hiperculturais relacionados com as barras de energia, mantendo resposta semelhante à apresentada na segunda entrevista, em que o resíduo da aprendizagem significativa permanece após seis meses.

Para a colisão inelástica com solo, na terceira entrevista, o estudante A4 usa *drivers* com características psicofísicas em sua resposta, modificando o tipo de bola que estava utilizando, que no início da terceira entrevista era de uma bolinha de tênis e passa a ser uma bola de chumbo, para descrever o problema, justificando a sua modificação de bolinha devido à deformação: “Porque a bolinha não iria se deformar, na elástica ela se deforma muito facilmente.” Comparando as respostas das três entrevistas, verifica-se que, na primeira, o estudante A4 considera que o corpo após uma colisão inelástica permaneceria parado no solo e, nas duas últimas entrevistas, considera que após a colisão retornaria até certa altura, que seria inferior à altura em que foi abandonado. É importante destacar que, na segunda entrevista, o estudante A4 utilizou *drivers* hiperculturais na sua resposta, conforme descreve-se na seção 7.1.1, o que não persistiu na terceira entrevista.

Considera-se que o estudante A4 mantém resíduo da aprendizagem significativa, sem a necessidade de manter o *drivers* hipercultural. O estudante A7, em termos conceituais, mantém a mesma resposta nas três entrevistas, considerando que a altura de retorno iria reduzindo após cada quique com o solo. A respeito dos *drivers* utilizados pelo estudante A7, ele mantém o hipercultural relacionado com a simulação, nas duas entrevistas posteriores. O estudante A14, nas duas entrevistas posteriores, utiliza ideia relacionada com fator de conservação de energia, o que é um indício de utilização de *drivers* relacionados com a simulação.

Na primeira entrevista, o estudante A14 considera que a altura de retorno seria nula, ficaria parado após a colisão inelástica com o solo, sendo que nas duas entrevistas posteriores passou a considerar que colidiria com o solo e teria uma altura de retorno inferior à altura em que corpo foi abandonado, caracterizando uma aprendizagem significativa.

Referente à colisão inelástica com o solo, os estudantes tendem a manter a resposta apresentada na segunda entrevista, o resíduo da aprendizagem significativa permanece, enquanto que os *drivers* parecem não ser necessários os hiperculturais, apesar de o estudante A7 utilizá-lo na terceira entrevista, mas de forma bem menor que na segunda.

Para a colisão perfeitamente inelástica, o estudante A4 mantém a mesma resposta nas três entrevistas, considerando que a altura de retorno seria zero, ficaria parado no solo, bem como a manutenção do *driver* com característica psicofísica nas três entrevistas. O estudante A7, comparando as três entrevistas, mantém a mesma resposta nas duas últimas, considerando que ficaria parado no solo, sendo que na primeira entrevista não respondeu, tendo, dessa forma uma aprendizagem significativa na qual se identifica a permanência do resíduo após

seis meses. Além disso, nas duas últimas entrevistas, utiliza *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação, utilizando as barras de energia para explicar o comportamento das energias do sistema. Neste exemplo da transcrição da terceira entrevista, o estudante A7 descreve a utilização das barras de energia para a colisão perfeitamente inelástica: “A7: Sim...não, a potencial, pois é, eu acho que as duas zeram. P: Ficam zero. E a representação para isso como é que ficaria? A7: Eu imaginei as barrinhas verdes, vazias, sem o verde”.

O estudante A14, com relação à colisão perfeitamente inelástica, considera, nas três entrevistas, que a bolinha colidiria com solo e permaneceria parada. Com relação aos *drivers*, na segunda entrevista, utiliza *drivers* hiperculturais enquanto que na terceira, o estudante descreve pouca coisa com relação à colisão perfeitamente inelástica com o solo; não foi possível identificar o *driver* que utilizou em sua resposta.

Comparando as três entrevistas, verifica-se que a tendência, para a colisão perfeitamente inelástica, é a manutenção da resposta; apenas o estudante A7 utiliza *drivers* hiperculturais. Contudo, para responder com relação ao comportamento da energia, fortalece a ideia de que os estudantes, quando respondem com relação à energia, tendem a utilizar *drivers* hiperculturais.

Com relação à colisão superelástica, o estudante A4 foi o único que modificou a sua resposta em relação à primeira entrevista, pois nas duas primeiras entrevistas considerou que o retorno da esfera após a colisão seria superior, enquanto que terceira considera que a altura seria inferior à que foi abandonado. Os estudantes A7 e A14 mostraram respostas semelhantes às apresentadas na segunda entrevista, afirmando que a altura de retorno seria superior à altura em que foi abandonado, considerando que teria ganho de energia após cada colisão com o solo. Inclusive os gestos realizados pelo estudante A7 são semelhantes aos apresentados na Figura 61, indicando o ganho de energia. O estudante A7 mantém a utilização do *driver* hipercultural, na terceira entrevista, e o estudante A14 apresenta indícios da sua utilização do *driver* hipercultural para movimento. Para comportamento das energias para colisão superelástica com o solo, os estudantes A7 e A14 utilizam *drivers* relacionados com as barras de energia nas duas últimas entrevistas, mantendo o uso deste *driver* após seis meses, com a mesma resposta correta. O estudante A4 não respondeu com relação à energia para a colisão superelástica com o solo. Mais uma vez fica evidente que quando os estudantes respondem com relação à energia, para um corpo que colide com o solo, utilizam *drivers* hiperculturais relacionados com a primeira simulação – das barras de energia.

Na segunda questão, com relação à colisão elástica entre dois corpos, verifica-se que sobre o comportamento do movimento dos corpos após a colisão, os três estudantes tiveram a mesma resposta na terceira entrevista, semelhante à resposta apresentada na segunda, onde o estudante A4 não responde corretamente, e os demais responderam corretamente, todos sem a utilização de *drivers* hiperculturais, o que já havia ocorrido na segunda entrevista. Referente à energia cinética dos corpos após a colisão, verifica-se que as respostas fornecidas pelos três estudantes são semelhantes nas três entrevistas. Respondem de forma incompleta na primeira entrevista, passando a utilização de *drivers* hiperculturais com resposta completa e correta na segunda, e na última, nenhum dos estudantes utilizou *drivers* hiperculturais, apesar de o estudante A14 utilizar as imagens mentais das barras de energia. Com relação ao momento linear, as respostas apresentadas, principalmente com relação à segunda e terceira entrevista, são semelhantes, sem a identificação de *drivers* hiperculturais, porém, o estudante A4, na segunda entrevista respondeu corretamente, na última, sua resposta estava errada. Na terceira entrevista, para o estudo da colisão elástica entre os corpos, não utilizam *drivers* hiperculturais, mas seguem com respostas semelhantes às apresentadas na segunda entrevista.

Para a colisão inelástica entre dois corpos de massas iguais, observa-se que o estudante A4 apresentou aprendizagem significativa, comparando a primeira e a segunda entrevista, sendo que não foi identificada a utilização de *drivers* hiperculturais. Na terceira entrevista, o estudante A4 responde equivocadamente, porém utiliza *drivers* hiperculturais: “É, eu estou imaginando as bolinhas do programa mesmo se batendo e andando junto. [16:30; #CFJ]”. O estudante A7, em nenhuma das entrevistas apresenta indícios de que tenha utilizado *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação e modifica um pouco sua resposta, comparando a segunda e a terceira entrevista, mas basicamente são semelhantes. E o estudante A14 mantém resposta semelhante nas duas últimas entrevistas, em que o resíduo da aprendizagem significativa permaneceu após seis meses.

Para a colisão perfeitamente inelástica entre dois corpos de massas iguais, o estudante A4 mantém respostas semelhantes nas duas últimas entrevistas, que conceitualmente está incorreta, sem a utilização de *driver* hipercultural. O estudante A7 apresenta modificação na sua estrutura cognitiva na segunda entrevista respondendo corretamente, situação que não se repete na terceira entrevista, pois considera que os corpos ficaram em repouso após a colisão. O A14 mantém resposta semelhante nas duas últimas entrevistas, considerando que os corpos passam a se deslocar juntos, com a mesma velocidade, sem a utilização de *drivers* hiperculturais.

Com relação à terceira questão, em que deveria explicar a um colega o que é conservação da energia mecânica, o estudante A4, na sua entrevista posterior à simulação, descreve de forma correta, utilizando como exemplo a primeira simulação e *drivers* com características hiperculturais, sendo que seis meses após a realização da simulação não consegue responder. Os estudantes A7 e A14, nas duas últimas entrevistas, utilizam a ideia das barras de energia para responder, tendo como exemplo a primeira simulação. A seguir, parte da transcrição do estudante A14, enquanto explica os gestos representando as barras de energia:

P: Quando tu fazes estes movimentos, estes gestos estão tentando indicar o quê?

A14: Justamente, sei lá, justamente a quantidade de energia, a quantidade de energia total mecânica do sistema, por exemplo, vamos dizer que tentar fazer alguma coisa assim, aqui eu tenho energia cinética e potencial a energia mecânica é isso aqui, portanto (ele mostra com os dedos) pode ser que a fotografia inicial, era essa condição para as duas energias, porém, vamos dizer que, no final esta aqui reduziu e esta aqui aumentou, mas o valor total do início pro final se manteve. Então, o somatório dessas duas que compõem sempre energia mecânica, conservação é do momento inicial do sistema para o momento final esse valor de energia mecânica se mantenha idêntico.

P: Ok, na realidade me deixa entender, tu estás tentando representar aí as barras de energia?

A14: Sim, sim.

O estudante A14 utiliza gestos para representar as barras de energia, conforme se verifica na Figura 100, onde, na primeira imagem as duas mãos indicam as barras de energia inicial e final, com a ideia de indicar que elas são iguais, enquanto que a segunda e a terceira imagem representam a variação das energias, oscila as mãos para cima e para baixo.

Figura 100 - Gestos realizados pelo estudante A14, enquanto explicava questão relacionada à conservação de energia





Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Com relação à última questão, relacionada com a explicação sobre o significado da conservação do momento linear, nenhum dos estudantes apresentou indícios de utilização de *drivers* hiperculturais nesta terceira entrevista. O estudante A4, que utilizou *driver* hipercultural na segunda entrevista, adota imagens mentais relacionadas com a simulação e descreve a conservação do momento usando como exemplo a colisão entre duas esferas, situação apresentada na simulação, descrevendo de maneira completamente equivocada a ideia de conservação de momento linear. O estudante A7 recorda de uma explicação apresentada pelo professor em relação a uma explosão, onde se conserva o momento. O estudante A14, na segunda entrevista, responde de forma detalhada e corretamente, mas responde de forma superficial na terceira entrevista, sem a utilização de *drivers* hiperculturais.

No geral, considera-se que os estudantes, após seis meses, utilizam *drivers* hiperculturais, principalmente para responder às questões relacionadas com energia. Utilizam *drivers* das barras de energia, relacionadas com a primeira simulação. Para descrever os movimentos dos corpos após a colisão, verifica-se que, em geral, utilizam *drivers* psicofísicos.

Acredita-se que a permanência dos *drivers* hiperculturais relacionados com as barras de energia, se deva, principalmente, pela inexistência de *drivers* que contemplem as energias, pois situações de mecanismos externos relacionados com colisões são mais comuns de serem encontradas pelos estudantes, ou seja, não ocorrem em situações corriqueiras do cotidiano, enquanto que situações envolvendo colisões estão mais presentes no cotidiano.

7.12 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste ponto, discutem-se as principais análises das simulações, buscando identificar os fatores que possam ter propiciado a construção de *drivers* hiperculturais e sua relação com aprendizagem significativa. A primeira questão das duas entrevistas, em que se analisa a colisão de corpo com o solo, está diretamente relacionada com os conceitos utilizados na elaboração da primeira simulação. A terceira questão, sobre conservação de energia mecânica, também está relacionada com a primeira simulação. As questões de número dois e quatro estão diretamente relacionadas com a segunda simulação, colisão entre dois corpos na horizontal.

Assim, há dois grupos de estudantes: o grupo A, que realizou duas simulações, e grupo B, que realizou apenas a segunda simulação.

A seguir, passa-se à discussão dos principais resultados que estão diretamente associados à utilização ou não da primeira simulação. Primeiramente, discutem-se os resultados da primeira questão, buscando interpretar as possíveis utilizações ou não de *drivers* hiperculturais; posteriormente, aborda-se a segunda e terceira questão e, finalmente, a questão quatro relacionada com a conservação do momento.

Resultados relacionados com a primeira simulação

Em termos de resultados encontrados, a primeira questão, que está relacionada diretamente com a primeira simulação, propiciou aos estudantes do grupo A a utilização de *drivers* hiperculturais, principalmente para situações de colisões elástica e superelástica com o solo.

A partir dos resultados encontrados na análise da primeira questão, pode-se considerar que, provavelmente, a utilização de *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação seja necessária para os tipos de colisões elástica e superelástica. Provavelmente, os *drivers* psicofísicos não conseguem contemplar esses dois tipos de colisão, com relação à altura de retorno após a colisão com o solo.

Por outro lado, há uma redução na utilização de *drivers* hiperculturais para as colisões inelástica e perfeitamente inelástica, provavelmente por estas colisões estarem mais próximas da realidade, sendo os *drivers* psicofísicos suficientes para responder. É possível que os estudantes tenham tido contado direto com um objeto que colide com solo e retorna a uma altura inferior (inelástica), em relação ao ponto onde foi abandonado ou que colide com solo e fica parado (perfeitamente inelástica), e muito improvável que tenham tido contato com situações nas quais uma bola/esfera colide com solo e retorna na mesma altura (elástica), ou em uma altura superior ao ponto onde foi abandonado (superelástica).

Com isso, quando os *drivers* psicofísicos são suficientes para explicar a queda da bola/esfera, a tendência é a de que os estudantes não troquem nem modifiquem os *drivers* e permaneçam utilizando os que já se adequavam corretamente. Este resultado está de acordo com o princípio da economia do cérebro (CALDAS, 2010). Porém, quando os *drivers* psicofísicos demonstram ser insuficientes para responder sobre a colisão de um corpo com o solo, a tendência é a de que eles passem a utilizar *drivers* com características hiperculturais ao terem uma mediação extracerebral, com uma simulação. A transcrição a seguir ilustra esta situação, onde o estudante A17 relata a diferença entre simulação com a vida real, conforme se pode verificar no exemplo para a colisão elástica:

A17: É, eu acho que enxergo sim a bola [4:15; #realiza movimentos em forma de arco]. É eu imagino uma bola picando na rua com arco, o outro arco, batendo no chão [4:20; movimento em arco]. Só que a minha bola na rua ela iria perder altura. [4:26; #movimento em arco perdendo altura]

P: Sim.

A17: Aí eu não consigo colocar ela na rua sem perder altura [4:33; #arco com perda de altura]. Ai eu tenho que colocar ela dentro do computador para ela não perder altura. [4:34; movimento em arco com a mesma altura]

P: Ah! Tu tens que colocar ela onde?

A17: No computador, no programinha, naquela simulação. Porque a minha bola, no meu mundo real, na rua [4:44; #RO], ela vai perder altura. [4:45; #MO perdendo altura]

P:Tá. Então para conseguir resolver ela, para não perder altura no mundo real.

A17: Eu tenho que imaginar ela na simulação.

O estudante A17 ao utilizar *drivers* psicofísicos, acaba considerando que após a colisão “perde altura”, mas para conseguir simular mentalmente a colisão elástica da bola

quicando e retornando na mesma altura, ele necessita utilizar o mecanismo extracerebral, a simulação, ou seja, um *driver* hipercultural. Assim como o estudante A17, identificam pelos menos mais quatro estudantes que, durante as suas respostas, mencionam a diferença entre simular com a situação cotidiana. É importante destacar que quando o estudante A17 vai responder sobre colisão inelástica não utiliza *drivers* hiperculturais, provavelmente por estar mais próximo da vida real, onde entende-se que “mundo real” como seu cotidiano, conforme pode-se verificar no seguinte trecho da transcrição:

A17: Inelástica. Não lembro das características de uma colisão inelástica. É aquela que quando bate, acho que quando bate diminuiria a altura seria mais para o mundo real. Eu acho que a inelástica é a que está mais para o mundo real, ela, aí eu consegui imaginar ela, uma bola caindo [12:57; #RO, #OC] de um prédio batendo, aí faz o arco [13:02; #Indicação do arco], mas aí quando ela faz o arco pela segunda vez ela perde altura [13:05 #faz o arco diversas vezes com alturas menores], perde altura, perde altura, até que ela vai rolar. Acredito que inelástica seja essa e aí eu consigo imaginar.

O resultado do estudante A17 exemplifica bem esta não utilização, ou seja, a necessidade de mudança de *driver* para colisões elástica e superelástica e a manutenção dos *drivers* psicofísicos para as colisões inelástica.

Com o intuito de relacionar as respostas dos estudantes para as questões da altura de retorno e das energias envolvidas no sistema para colisões com o solo, constatou-se que o seu comportamento na resposta da colisão elástica nas duas situações é muito semelhante. Para utilização ou não de *drivers* hiperculturais, observou-se que 80% (12/15) das respostas foram iguais, sendo que apenas em três estudantes foram divergentes. Em relação à ocorrência ou não de aprendizagem significativa, as respostas foram ainda mais semelhantes: 87% (13/15) mantiveram a mesma relação nas duas questões. No geral, comparando as duas respostas, percebeu-se que 67% (10/15) foram iguais.

Para a situação da colisão inelástica com o solo, verificou-se que 33% (5/15) tiveram respostas iguais para as duas questões, com relação à utilização ou não de *drivers* hiperculturais, enquanto que 47% das respostas nas duas questões foram coincidentes em relação à aprendizagem significativa, em que apenas 20% (3/15) dos estudantes mantiveram a mesma relação em termos de modificação ou não de *drivers* e aprendizagem significativa. Para a colisão perfeitamente inelástica, verificou-se que apenas 27% (4/15) responderam da mesma forma quanto à utilização ou não de *drivers* hiperculturais, enquanto que 33% (5/15)

deram respostas equivalentes quanto à obtenção ou não de aprendizagem significativa, e apenas 13% (2/15) responderam com equivalência nos dois testes: com ocorrência ou não de aprendizagem significativa e quanto à modificação dos *drivers*. E, finalmente, para a colisão superelástica com o solo, 53% (8/15) responderam de forma equivalente no que se refere à modificação ou não dos *drivers*, enquanto que 47% (7/15) denotaram respostas equivalentes com relação à aprendizagem significativa, e 33% (3/15) mostraram respostas equivalentes quanto à modificação dos *drivers* e aprendizagem significativa. A Figura 101 representa as relações evidenciadas para aprendizagem, conforme o tipo de colisão

Figura 101 - Representação da relação entre os tipos de colisão com *drivers* e aprendizagem significativa para a primeira questão



Fonte: O autor (2015).

Os *drivers*, geralmente identificados para representar a colisão com o solo e o movimento de retorno, provavelmente tiveram a sua origem através da mediação psicofísica e de modificações, passando a ter características hiperculturais.

O *driver* de origem psicofísica tinha como característica a sua descrição do movimento de subida e descida, em geral acompanhado pela movimentação de uma das mãos, o que representava o movimento. Alguns estudantes também necessitavam modificar o tipo de

material da bola/esfera, inclusive descrevendo e gesticulando a deformação da esfera durante a colisão para indicar a sua movimentação de subida. O estudante A12 descreve e realiza gestos para indicar a deformação e utiliza o *driver* psicofísico, conforme pode-se verificar na transcrição da sua entrevista da coleta de dados inicial: “A14: Borracha, daí ela começa a descer [1:19; #OC] vai acelerando e entra em contado com o solo, para alguns micros segundos [1:24; #RO, parado no solo] né ela deforma [1:26; #RO deformado] e depois retorna até ela parar no ar novamente”.

A seguir, a sequência de imagens da Figura 102 que representa a utilização do *driver*:

Figura 102 - Gestos indicando a deformação da bola e retorno de subida, realizada pelo estudante A12 em sua entrevista da coleta de dados inicial



Fonte: O autor (2015).

A representação que ele utiliza para esse problema considera uma bola de borracha, que se deforma ao colidir com o solo, realizando gestos para indicar a deformação da esfera, conforme sequência de imagens na Figura 102. Na primeira imagem, o estudante indica o movimento de queda da esfera, com início da deformação. Nas imagens duas e três, os gestos das duas mãos representam a deformação e o retorno ao estado normal da esfera, e na última imagem, ela subindo.

O *driver* descrito anteriormente modificou-se, pois as imagens mentais utilizadas pelos estudantes A14, enquanto simulavam mentalmente o problema na coleta de dados posterior, passaram a utilizar, como mecanismo extracerebral, a simulação. Isso foi identificado, conforme descrito anteriormente, para praticamente todos os estudantes, em especial para a colisão elástica com o solo. A identificação pela modificação do *driver* deu-se principalmente pela análise do discurso e dos gestos dos estudantes. Os gestos realizados para a indicação do movimento praticamente seriam os mesmos que o psicofísico, porém não necessita indicar deformação e, normalmente, a resposta passou a ser correta, o que não aconteceu na maioria dos casos das entrevistas da coleta de dados inicial.

A seguir, no quadro 49, apresenta-se, como exemplo, trecho da transcrição do estudante A4, dos dois testes em que ao serem comparados, é possível identificar a modificação do *driver* psicofísico para hipercultural.

Quadro 49 - Trecho da coleta de dados inicial e posterior do estudante A4

Coleta de dados inicial	Coleta de dados posterior
<p>P: A bola não tem tamanho, essa bolinha que está caindo.</p> <p>A4: A eu imaginei acho que uma bolinha de tênis [1:52; #RO], mais ou menos.</p> <p>P: Uma bola de tênis</p> <p>(...)</p> <p>A4: A eu imagino o movimento que a bolinha faz [3:32; #OCS] que ela tem o contato total e aí a bolinha recebendo esse contato [3:37; #OC]. Como eu posso dizer, o formato dela vai alterar, fica mais estreita [3:48; #RO], acho que é a forma certa de falar né, ela muda, ao invés de ficar redonda ela pega outra forma [5:51; #RO], aí depois ela sobe [3:55; #OS] e vai deformando, né.</p> <p>(...)</p> <p>A4: Uma <u>bolinha de chumbo</u> eu acho que não faria isso, né?! Uma bolinha [7:47; #OC] de chumbo ficaria.</p>	<p>P: Quero que tu descrevas o que tu pensaste quando respondeste essa questão aí. Antes até mesmo de analisar o que aconteceu com a velocidade, descreve para nós o que tu pensaste: A4: Eu vi que após <u>aquele laboratório</u> que a gente fez, ficou mais visível as situações assim. Eu vi como, eu analisei no laboratório mesmo, que eu me lembrei assim. Então, eu botei que a velocidade inicial vai ser constante, mas ela tem o aumento da velocidade quando está caindo, e quando sobe ela vai perdendo velocidade até parar [1;21; #OS] e cair [1:22; #OC]. Ela sempre mantém a mesma altura.</p> <p>(...)</p> <p>P: Quando tu movimentas a mão nesse sentido, tu estás lembrando...</p> <p>A4: Dos gráficos.</p> <p>P: E o que aconteceu com a altura da bola?</p> <p>A4: A altura permanece constante por não ter a perda de velocidade na colisão, então ela mantém a altura máxima [2:50; #IA] sempre a mesma.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

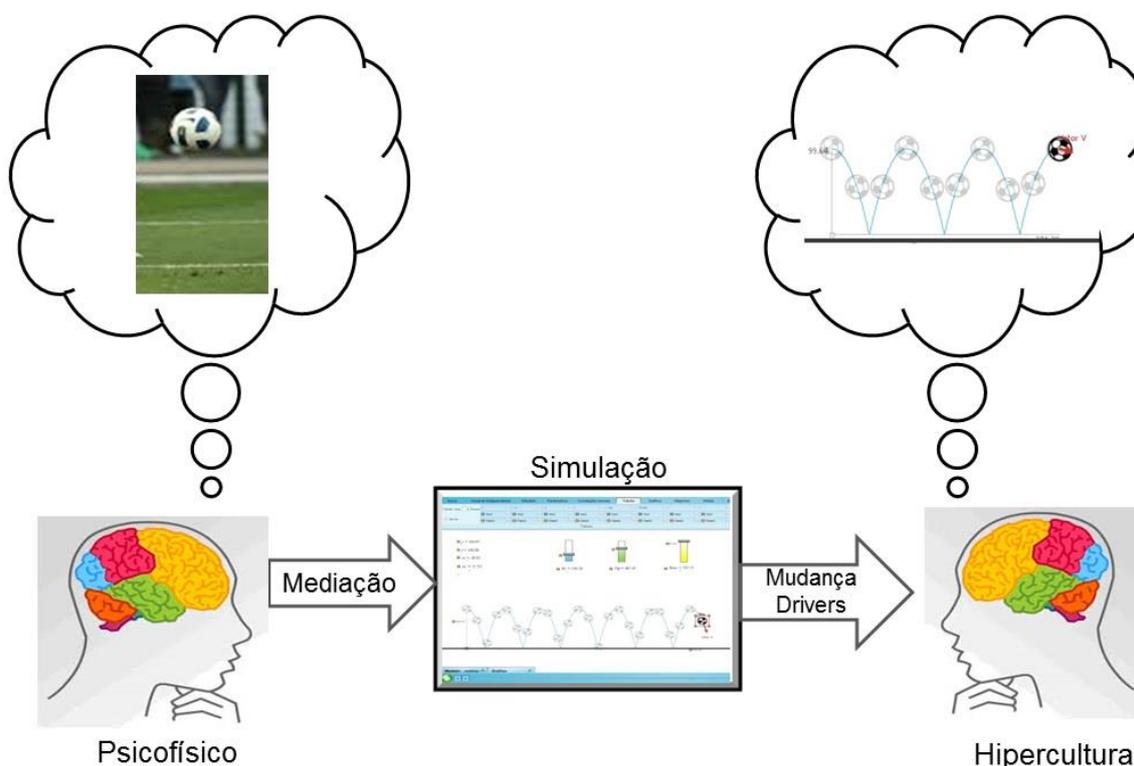
O estudante A4 inicia utilizando a imagem mental de uma bolinha de tênis para a colisão elástica; descreve o movimento com o auxílio de gestos que demonstram a deformação da bola, para indicar como seria o seu retorno. Quando questionado sobre colisão inelástica, modifica o tipo de material, para indicar que a bola ficaria parada no solo após a colisão e realiza gestos para indicar esse movimento.

As situações descritas anteriormente possuem características de *drivers* psicofísicos. Quando modifica os *drivers* e passa para hipercultural, não necessita mais da troca de material

da bola, nem da representação de deformação; apenas indica que utiliza a simulação e os gestos (movimentação do braço direito) que representam os “gráficos”, fazendo menção à simulação.

A Figura 103 é uma representação das imagens mentais que os estudantes do grupo A utilizam, conforme o tipo de *drivers*, para a colisão com o solo:

Figura 103 - Representação das imagens mentais utilizadas pelos estudantes, conforme o tipo de driver utilizado para a movimentação do objeto que cai em queda livre e colide com o solo



Fonte: O autor (2015).

O *driver* utilizado para a representação das energias pelos estudantes, ao responderem a primeira questão, basicamente é o mesmo - “barras de energia”. Na coleta de dados inicial, alguns estudantes usaram este *driver*, que teve a sua origem através da mediação cultural com o professor, pois durante as explicações em aula, ele realizava representações em forma de barras para indicar as quantidades de energia. Porém, a maioria dos estudantes não utilizou nenhuma representação para as energias na coleta de dados inicial; não possuíam imagens mentais para a energia.

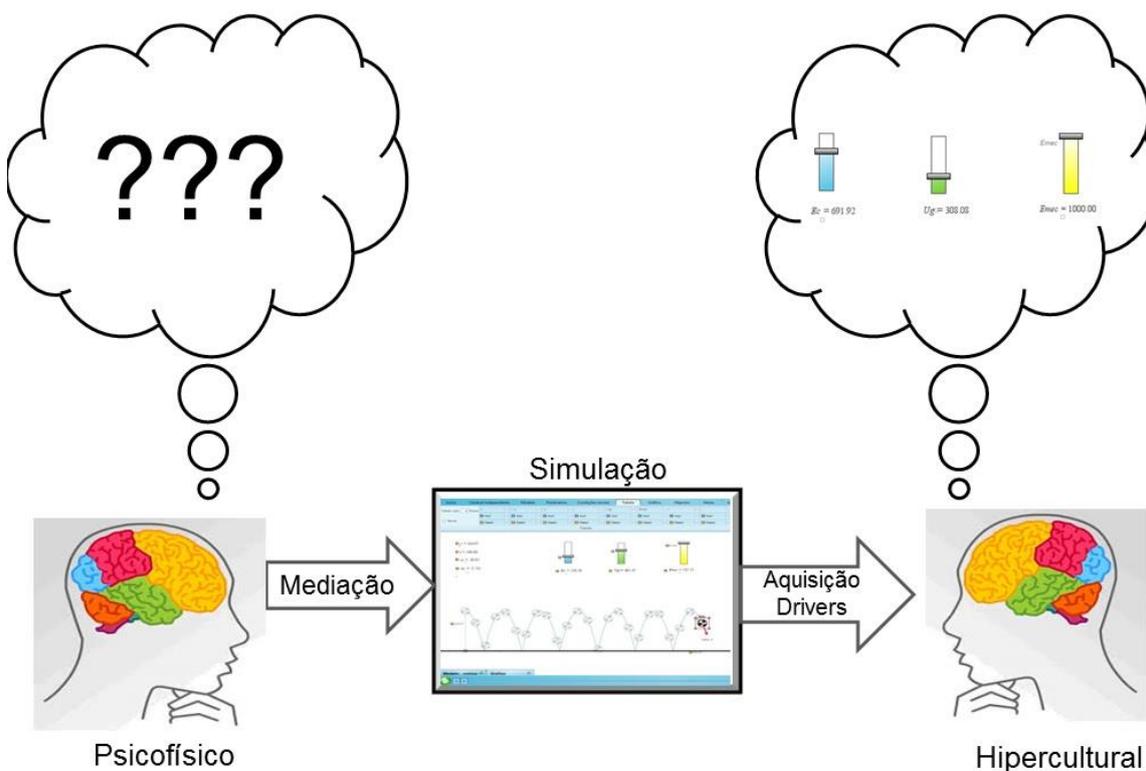
Na coleta de dados posterior, alguns estudantes modificaram e a grande maioria criou *driver* referente às “barras de energia”, que passaram a ser mecanismos extracerebrais

relativos às simulações. As imagens mentais que passaram a utilizar são das barras de energia da simulação. A identificação deste *driver* ocorreu pela descrição, por parte do estudante, das barras de energia e pela realização de gestos, principalmente pela movimentação das duas mãos oscilando entre si, conforme apresentado na Figura 61.

Quando o estudante utilizou o *driver* das barras de energia na coleta de dados inicial, seus gestos eram estáticos, indicativo de que ele estava utilizando imagens mentais estáticas, enquanto que nas representações na coleta de dados posterior, os estudantes oscilavam as mãos, indício da variação entre as energias, com a utilização de imagens mentais dinâmicas. O estudante A7 é um exemplo de que modificou o *driver* cultural para hipercultural e o estudante A10 é um exemplo de que cria o *driver* hipercultural para a energia.

A figura 104 é uma representação das imagens mentais que a maioria dos estudantes utilizou ao responder a entrevista coleta de dados inicial e a entrevista da coleta de dados posterior, ao responder a primeira questão.

Figura 104 - Representa, inicialmente, a inexistência de imagens mentais com relação às barras de energias em que, após a simulação, passa a considerar as mesmas utilizadas na simulação



Fonte: O autor (2015).

Com relação às respostas anteriores, para a primeira questão, referentes aos *drivers*, considera-se que, de forma geral, as imagens mentais utilizadas pelos estudantes, bem como as simulações mentais, estão diretamente relacionadas com a origem dos *drivers*. Além disso, os gestos realizados, que buscam representar as imagens mentais que estão sendo utilizadas, acompanham a modificação dos *drivers*. Isso foi evidenciado em todas as situações de colisão, conforme descrito no item 6.1 e 6.2, em que o gesto acompanhou a modificação do *driver*.

Para a primeira situação, os estudantes já possuíam conhecimentos prévios, relacionados com *drivers* psicofísicos que, em geral, consideravam que a altura de retorno seria inferior em relação ao ponto de onde foi abandonado ou ficaria parado no solo. Este conceito faz parte da estrutura cognitiva dos estudantes, pois, provavelmente, a sua aprendizagem significativa foi descoberta. O conceito de que a altura de retorno varia conforme o tipo de colisão ancorou a estrutura cognitiva destes estudantes, modificando-as. Os estudantes, de certa forma, já possuíam conceitos mais abrangentes, como o de que um objeto, ao ser abandonado, cairia, colidiria com o solo e retornaria até certa altura. Porém, os estudantes passam a considerar que a altura de retorno dependeria do tipo de colisão e de conservação de energia, modificando a estrutura cognitiva, caracterizando-se como uma aprendizagem significativa subordinada, porque o conhecimento potencialmente significativo se ancora aos *subsunçores*, que são conceitos mais gerais e inclusivos. A aprendizagem significativa subordinada foi evidenciada em todos os tipos de colisão, mas principalmente na colisão elástica e superelástica com o solo, conforme dados apresentados anteriormente nesta seção.

Referente ao estudo de energias na primeira questão, pode-se identificar dois tipos de ocorrência de aprendizagem significativa: superordenada e combinatória. A superordenada ocorreu para aquelas situações em que os estudantes, durante a coleta de dados inicial, não respondem ao questionamento das energias, ao que se considerou não possuírem relações com estes conceitos. Porém, na coleta de dados posterior, ao utilizar mecanismo extracerebral relacionado com a simulação, passam a responder aos questionamentos de energia, pois o novo conhecimento tornou-se potencialmente significativo pela utilização da simulação e sua relação mais hierárquica é mais inclusiva do que os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva.

O exemplo de aprendizagem significativa superordenada pode ser verificado no item “Altura de retorno para colisão inelástica com o solo” do subcapítulo 7.2.1. Outros estudantes

apresentaram aprendizagem significativa combinatória com relação aos conceitos de energias, como por exemplo, item “Altura de retorno para colisão elástica com o solo” do subcapítulo 7.2.1. Inicialmente, apresentam os conceitos de energia sem estar relacionados, mesmo que de forma incorreta, ancorados aos *subsunçores*, mas, após a utilização e simulação, os conceitos (que estavam presentes, inicialmente, na estrutura cognitiva do estudante) são combinados, modificando o *subsunçor*. O conteúdo de energias em colisões, com a simulação, torna-se potencialmente significativo e relaciona-se com os conhecimentos mais amplos da estrutura cognitiva.

Resultados relacionados com a segunda simulação

Ao analisar as respostas fornecidas pelos dois grupos para a segunda questão, com relação ao movimento dos corpos, evidencia-se um número muito pequeno de estudantes que utilizaram as *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação em suas respostas. Em mais de 70% dos casos, os estudantes continuaram a utilizar *drivers* de origem psicofísica. Na primeira entrevista, o enunciado da segunda questão descrevia a colisão de duas esferas, em que, de forma geral, a maioria dos estudantes dos dois grupos, aproximadamente 67%, utilizou imagens mentais de bolinha de gude, jogo de bocha ou jogo de sinuca. Na segunda entrevista, também a maioria dos estudantes, cerca 60%, utilizou como imagem mental a colisão entre carros, situação descrita no enunciado da segunda questão (Apêndice B).

Com relação à energia para colisão elástica, verifica-se que as repostas fornecidas nos dois grupos de estudante apresentam resultados com diferença significativa entre os dois grupos, onde o grupo A apresenta características hiperculturais, enquanto que o grupo B mantém-se sem apresentar modificações nos *drivers* para hiperculturais.

Acredita-se que o baixo índice de modificação de *drivers* psicofísicos para *drivers* hipercultural deve-se, pelo menos, a dois fatores:

Primeiro, os *drivers* existentes na estrutura cognitiva dos estudantes nos dois grupos, relacionados à colisão na horizontal entre dois corpos de massa igual, são suficientes para descrever o movimento dos corpos. Note-se que no grupo A, por exemplo, 40% dos estudantes mantiveram a mesma resposta correta nas duas entrevistas e não modificaram os seus *drivers*. Conforme já mencionado, isso provavelmente se deve ao fato de que os *drivers*

existentes são suficientes para explicar o comportamento da colisão, e, sendo eles suficientes, os estudantes acabam não modificando.

Segundo, o problema pode estar na segunda simulação. Isso pode ser analisado a partir do percentual de estudantes hiperculturais do grupo A, em que as questões mais relacionadas com a primeira simulação apresentam um alto índice de utilização de *drivers* hiperculturais, enquanto que questões que dependiam exclusivamente da segunda simulação, os estudantes do grupo A tiveram uma redução significativa na utilização de *drivers* hiperculturais. No Gráfico 2, há a representação do percentual de estudantes hiperculturais em cada uma das questões, onde as barras em vermelho destacam as questões que dependiam exclusivamente da segunda simulação.

As questões analisadas foram as seguintes:

Q1 – Movimento de um corpo abandonado de certa altura, que colide com o solo de forma elástica;

Q2 – Movimento de um corpo abandonado de certa altura, que colide com o solo de forma inelástica;

Q3 – Movimento de um corpo abandonado de certa altura, que colide com o solo de forma perfeitamente inelástica;

Q4 – Movimento de um corpo abandonado de certa altura, que colide com o solo de forma superelástica;

Q5 – Comportamento das energias potencial gravitacional, energia cinética e energia mecânica em uma colisão elástica com o solo;

Q6 – Comportamento das energias potencial gravitacional, energia cinética e energia mecânica em uma colisão inelástica com o solo;

Q7 – Comportamento das energias potencial gravitacional, energia cinética e energia mecânica em uma colisão perfeitamente inelástica com o solo;

Q8 – Comportamento das energias potencial gravitacional, energia cinética e energia mecânica em uma colisão superelástica com o solo;

Q9 – Movimento em uma colisão elástica na horizontal;

Q10 – Energia em uma colisão elástica na horizontal;

Q11 – Momento linear em uma colisão elástica na horizontal;

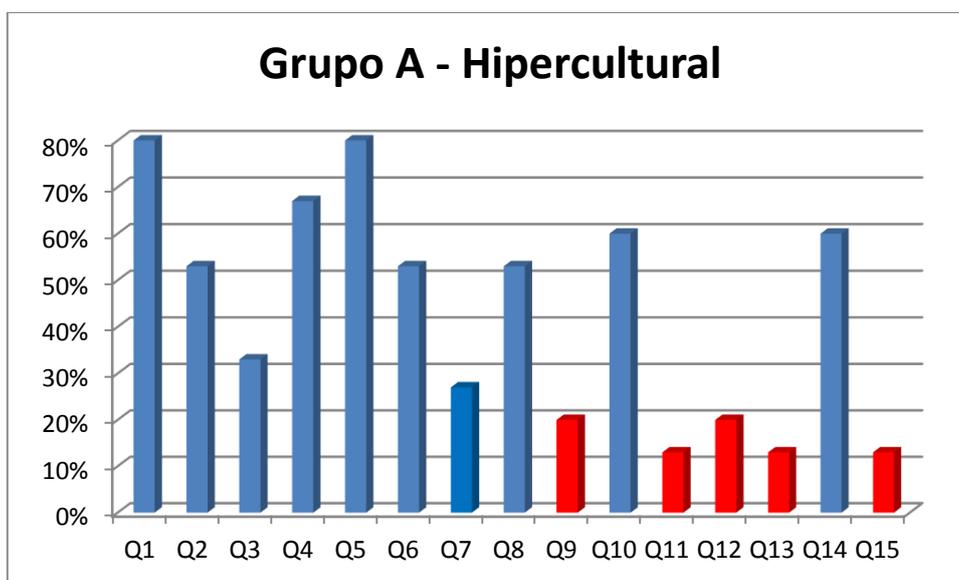
Q12 – Movimento em uma colisão inelástica na horizontal;

Q13 – Movimento em uma colisão perfeitamente inelástica na horizontal;

Q14 - Conservação da energia mecânica;

Q15 – Conservação do momento linear.

Gráfico 2 – Percentual de estudantes hiperculturais do grupo A em cada uma das questões abordadas durante as entrevistas

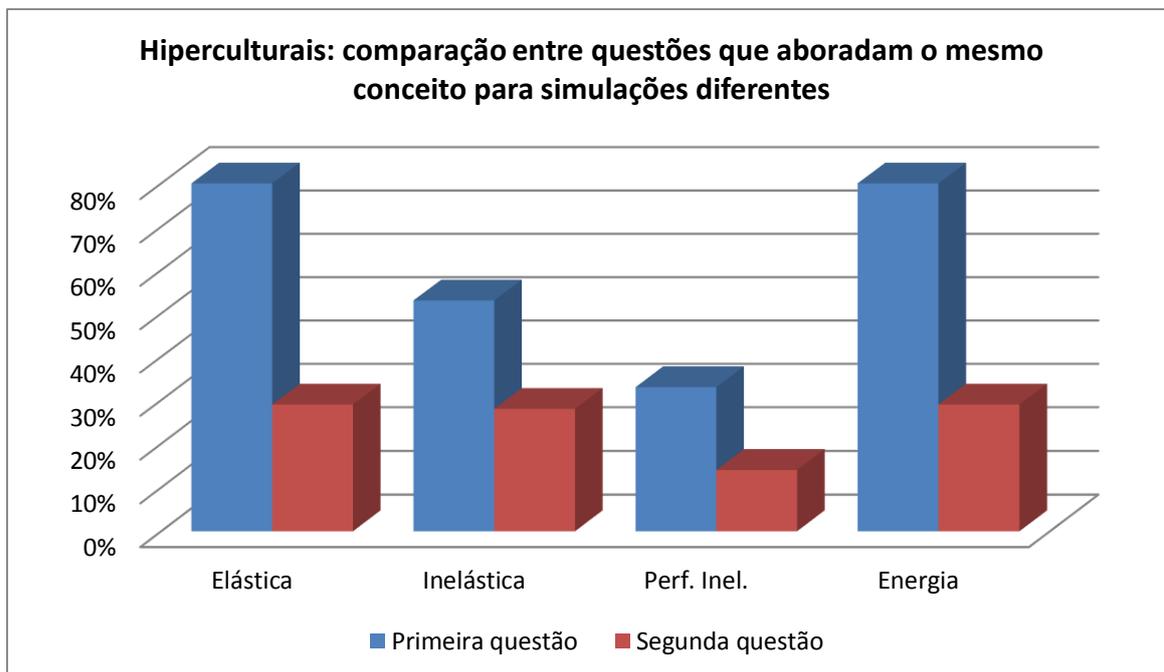


Fonte: Entrevista grupo A, o autor (2015).

Analisando o Gráfico 2, verifica-se que os percentuais de estudantes hiperculturais relacionados diretamente com a segunda questão, que são as questões, Q9, Q11, Q12, Q13 e Q15, são os que apresentam os piores valores. Comparando a Q3 questão relacionada com a altura de retorno em uma colisão perfeitamente inelástica, que é o pior percentual de utilização de *drivers* hiperculturais relacionados com a primeira simulação, é superior ao melhor índice das questões que dependiam apenas da segunda simulação, que no caso foi o Q9, referente à colisão elástica entre os corpos.

Mesmo sabendo que são comportamentos diferentes, criou-se o Gráfico 3, onde se comparam as respostas fornecidas na primeira questão com as da segunda questão, de forma correspondente, ou seja, colocando lado a lado as respostas para as colisões elástica, inelástica, perfeitamente inelástica e a energia para a colisão elástica.

Gráfico 3 - Comparação entre as questões que abordam o mesmo conceito, mas que utilizam simulações diferentes, para os estudantes do grupo A



Fonte: Entrevistas do grupo A, o autor (2015).

Analisando o gráfico 3, observa-se que mesmo sendo questão que aborde o mesmo conceito, a primeira questão tem um índice superior com relação à modificação do *driver* hipercultural do que a segunda simulação.

Os Gráficos 2 e 3 são referentes aos percentuais de estudantes hiperculturais dos estudantes do grupo A. Mas, ao realizar comparação entre os percentuais de estudantes hiperculturais dos dois grupos, nota-se um reforço sobre a tendência da primeira simulação em favorecer a aquisição de *drivers* hiperculturais, enquanto que a segunda simulação possui uma tendência ao não favorecimento na modificação do *driver* para hipercultural.

O Gráfico 4 busca apresentar a relação entre as respostas apresentadas com relação à utilização de *drivers* hiperculturais dos dois grupos, para as questões dois, três e quatro. Em amarelo, a representação dos estudantes do grupo A; em cinza os do grupo B, que responderam utilizando *drivers* hiperculturais na segunda entrevista. As respostas foram analisadas com relação à utilização de *drivers* hiperculturais, considerando:

D1 – Utilização de *drivers* hiperculturais para explicar o movimento em uma colisão elástica na horizontal de dois corpos de massas iguais;

D2 – Utilização de *drivers* hiperculturais para explicar as energias cinéticas em uma colisão elástica na horizontal de dois corpos de massas iguais;

D3 – Utilização de *drivers* hiperculturais para explicar os momentos lineares em uma colisão elástica na horizontal de dois corpos de massas iguais;

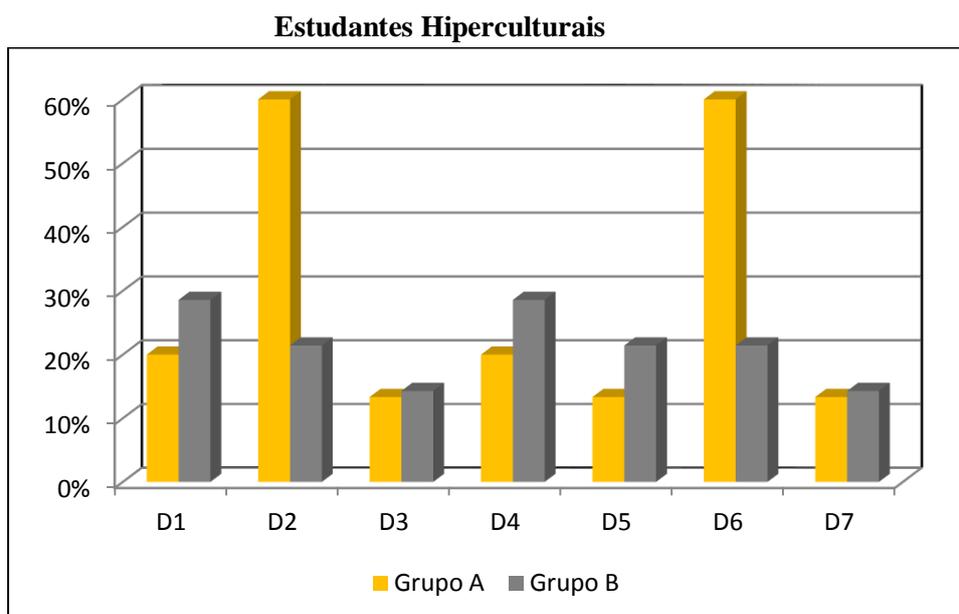
D4 – Utilização de *drivers* hiperculturais para explicar uma colisão inelástica na horizontal de dois corpos de massas iguais;

D5 – Utilização de *drivers* hiperculturais para explicar uma colisão perfeitamente inelástica na horizontal de dois corpos de massas iguais;

D6 – Utilização de *drivers* hiperculturais para explicar a conservação de energia na terceira questão;

D7 – Utilização de *drivers* hiperculturais para explicar a conservação do momento linear, na quarta questão.

Gráfico 4 - Estudantes com utilização de drivers hiperculturais nas questões dois, três e quatro dos dois grupos de estudantes



Fonte: O autor (2015).

Com os resultados apresentados no Gráfico 4, pode-se verificar que, em termos relativos, os estudantes, de forma geral, tiveram um baixo índice de utilização de *drivers* hiperculturais, onde observa-se que os resultados são praticamente iguais em D3 e D4, (13% grupo A e 14% grupo), e semelhantes em D1 e D4 (20% grupo A e 27% grupo B), e D5 (13% grupo A e 21% grupo B). Em nenhuma das questões relacionadas com o movimento, houve 30% dos estudantes de qualquer um dos grupos utilizando *drivers* hiperculturais, ou seja, mesmo após a utilização da simulação, basicamente para as situações de movimento dos

corpos ou da conservação do momento, mais de 70% dos estudantes mantiveram-se com *drivers* basicamente de origem psicofísica.

Porém, há um resultado no mínimo interessante para D2 e D6. Em primeiro lugar, os dois relacionam-se com análise do comportamento de energia; segundo, o grupo A apresenta características de utilização de *drivers* hiperculturais, em que em ambas as questões 60% dos estudantes utilizam este tipo de *driver*. Comparando com média das outras questões para o grupo A, em que atingiu 16% de utilização de *drivers* hiperculturais, houve um salto; terceiro lugar, o grupo B mantém-se na média com relação à utilização de *drivers* hiperculturais com relação à D2 e D6 (21%). A média para no grupo B nas demais questões foi de 21%.

Cruzando as informações, verifica-se que, para as questões relacionadas com movimento ou momento linear, o comportamento quanto à utilização de *driver* hipercultural nas respostas fornecidas acabaram sendo semelhantes, mantendo a mesma tendência nos dois grupos, de baixa utilização de *drivers* hiperculturais. Porém, quando as questões foram relacionadas com energia, identificou-se um salto no número de estudantes que utilizam *drivers* hiperculturais no grupo A, que não foi acompanhado pelo grupo B, que manteve-se na mesma média das demais questões.

Passou-se, assim, a procurar respostas para a diferença de resultado nos dois grupos, para as questões relacionadas com energia. A diferença mais evidente, e o ponto de partida na procura de resposta, estava na utilização ou não da primeira simulação. Apenas o grupo A realizou a primeira simulação. Estabelece-se, então, como hipótese que a utilização da primeira simulação poderia estar interferindo no tipo de *driver* empregado ao responder questões relacionadas com energia e com a segunda simulação.

Passou-se a relacionar as respostas fornecidas pelos estudantes do grupo A na primeira questão, da colisão de um corpo com o solo. Lembrando que na primeira simulação, os estudantes simulavam a colisão de um corpo que colidia com o solo, fornecendo o comportamento das energias.

Comparando os estudantes do grupo A, que utilizaram *drivers* hiperculturais relacionado com primeira simulação para as energias, ao responderem a primeira questão, com os estudantes que utilizaram *drivers* hiperculturais ao responder a segunda ou a terceira questão, há uma concordância que chega a 90% dos estudantes, ou seja, a probabilidade de que um estudante que utilizou *drivers* hiperculturais para primeira questão, em que envolvia energia cinética, energia potencial gravitacional e energia mecânica, ao responder a segunda

ou terceira questão, também usar estes *drivers*, relacionados com energia, chega a 90%. Além disso, com relação aos estudantes do grupo A, que utilizam *drivers* hiperculturais para energia, aproximadamente 80% com *drivers* hiperculturais na segunda questão, utilizaram também *drivers* hiperculturais na terceira questão, relacionados com as barras de energias.

Com esses resultados, pode-se considerar que a utilização de *driver* hipercultural para energia, em especial as barras de energia, quando adquiridos com a primeira simulação, favoreceu a sua utilização em questões posteriores relacionadas com a segunda simulação.

Outro ponto que fortalece a hipótese da aquisição de *drivers* hiperculturais, relacionados com a primeira simulação, está nos resultados apresentados pelos três estudantes que realizaram as entrevistas seis meses após a realização da simulação. Todos os três estudantes, na segunda entrevista, utilizavam os *drivers* hiperculturais relacionados com as barras de energia, os quais permaneceram na estrutura cognitiva dos três estudantes que os utilizaram novamente ao responder a primeira e a terceira questão.

Comparando os resultados dos três estudantes que realizaram a entrevista seis meses após a simulação, verifica-se que o *driver* hipercultural relacionado com a simulação que permaneceu mais forte foram as barras de energia adquiridas na primeira simulação, pois, na segunda questão, que está diretamente relacionada com a segunda simulação, nenhum dos três estudantes utilizou o *driver* hipercultural das barras de energia. Porém, ao responderem a terceira questão, após seis meses, dois estudantes utilizam novamente a ideia das barras de energia, adquiridas na primeira simulação, pois, ao descreverem, citam situações relacionadas com esta simulação.

Com os resultados discutidos até momento, considera-se que os *drivers* hiperculturais, relacionados com as barras de energia, foram adquiridos principalmente devido à utilização da primeira simulação. Mas, pode-se questionar quais fatores favoreceram a mediação do mecanismo extracerebral, que se relacionou com estrutura cognitiva dos estudantes da primeira simulação, principalmente em comparação com a segunda simulação.

Um provável fator que contribui para mediação dos *drivers* relacionados com as barras de energia está no fato de que, durante a execução da primeira simulação, o fenômeno da colisão ocorria diversas vezes, o que poderia estar fortalecendo a cada colisão a imagem mental do que estava ocorrendo, com o movimento da esfera e com as barras de energias. Enquanto que durante a execução da segunda simulação, o fenômeno da colisão poderia ser observado uma única vez. A Figura 105 apresenta três imagens: a primeira, no início da

simulação da colisão elástica com o solo; outra, na metade da simulação; e a última, após ter transcorrido praticamente toda a simulação.

Figura 105 - Imagens da primeira simulação para uma colisão elástica com o solo



Fonte: Primeira simulação, o autor (2015).

Na Figura 106, são representados três instantes da segunda simulação elástica entre dois corpos de massas iguais, sendo a primeira imagem no início, a segunda, no momento da colisão e a última, após ter transcorrido praticamente toda a simulação.

Figura 106 - Imagens da segunda simulação para colisão elástica



Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

Comparando as duas Figuras, verifica-se que enquanto na primeira simulação o estudante consegue perceber até nove colisões com o solo, na segunda, percebe a ocorrência de uma única colisão no mesmo período. Acredita-se que a cada colisão haverá um reforço do comportamento do movimento da esfera e das barras de energia, enquanto que, no mesmo período na segunda simulação, há apenas uma única colisão. Pode-se dizer que, para que o estudante consiga analisar o comportamento da segunda simulação, tendo o mesmo número de reforços das imagens mentais, seria necessário a repetição de nove vezes da segunda simulação, o que também representaria a necessidade de nove vezes mais tempo de simulação.

Outro ponto que pode ter contribuído para maior facilidade da aquisição de *drivers* hiperulturais, relacionados com as barras de energia da primeira simulação, é o fato de que as barras de energia ficavam oscilando entre si enquanto a simulação transcorria. Como no caso da terceira imagem da Figura 105, que demonstra a ocorrência de nove colisões com o solo,

as duas barras (energia cinética e energia potencial) realizaram movimento indicando enchimento ou esvaziamento da barra nove vezes. Acredita-se que isso contribua para aquisição do *driver* hipercultural, pois, durante toda a simulação, em algum momento, o estudante acaba por perceber a variação entre as barras de energia.

Porém, para a segunda simulação, considera-se que a aquisição de imagens mentais e, conseqüentemente, de *drivers* relacionados com as barras de energia ficou prejudicado por três motivos: primeiro porque durante uma simulação haveria apenas um reforço de imagem, ou seja, uma única colisão; segundo, a mudança das barras de energias são instantâneas, diferentemente da forma como ocorre na primeira simulação em que o estudante pode perceber esta movimentação a qualquer tempo, na segunda simulação a modificação das barras de energia ocorre no momento da colisão, em um momento específico; terceira situação é de que provavelmente o estudante, ao simular, coloque a sua atenção no movimento das esferas e, por conseguinte, na colisão entre elas, tendo, dessa forma, o foco na colisão e não no que estaria ocorrendo com as barras de energia.

Isso pode ser verificado na Figura 105, em que nas três imagens as barras de energia estão em posições diferentes, enquanto que na Figura 106, nas duas primeiras imagens, as barras estão na mesma posição, verde cheia e vermelha vazia, enquanto que na terceira imagem a verde está vazia e a vermelha está cheia.

Dessa forma, considera-se que a primeira simulação apresenta ao estudante a conservação de energia como um processo, mais lento e perceptível, enquanto que na segunda simulação este processo de conservação de energia por ocorrer praticamente de forma instantânea, e acaba passando despercebido pelo estudante.

Aqui é importante ressaltar que analisam-se os fatores que tenham contribuído para a aquisição dos *drivers* na primeira simulação, e que possam ter dificultado na segunda simulação para energia, pois sabe-se que a variação das barras na primeira simulação deve-se ao movimento de queda e subida do corpo, e que, devido à colisão, as alterações nas barras de energia também são instantâneas.

Este fato da mudança de energia em uma simulação representa ser instantânea e em outra como um processo, o que foi verificado nas respostas dos estudantes. Retoma-se que o grupo B realizou apenas a segunda simulação, apresentando baixos índices de utilização de *drivers* hiperculturais para a energia, sendo que um único estudante utilizou *drivers* relacionados com as barras de energias.

Passa-se a estudar a resposta apresentada por este estudante, onde identificam-se pelo menos dois pontos que devem ser levados em consideração nesta análise. O primeiro está relacionado com os gestos realizados pelo estudante B14, o qual indica a mudança na barra de energia de forma praticamente instantânea. O segundo, o estudante B14, mencionou durante a sua entrevista, a utilização da simulação em outros momentos, além da aula, o que acredita-se que durante a realização das diversas vezes em que utilizou a simulação, acabou percebendo a variação da barra de energia.

Como evidências do primeiro ponto apresentado anteriormente, em que os gestos realizados pelo estudante B14 indicam a utilização de *drivers* hiperculturais relacionados com a segunda simulação, pode-se compará-lo com outro estudante do grupo A (A14), que provavelmente utiliza *drivers* das barras de energia relacionados com a primeira simulação. O estudante A14, ao explicar na segunda entrevista o comportamento das energias na segunda questão, colisão entre dois carros, utiliza imagens mentais relacionadas com *drivers* hiperculturais das barras de energia.

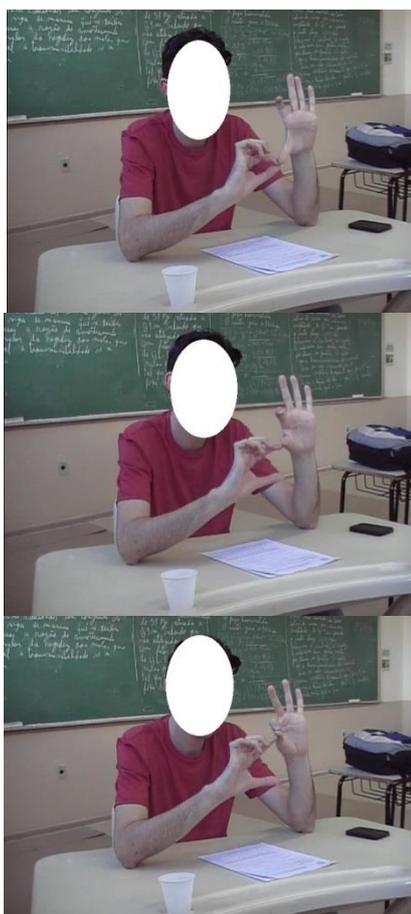
Assim como a maioria dos estudantes do grupo A, que, ao responderem a questão do comportamento das energias para a segunda questão, realizam gestos que indicam que a transferência de energia não ocorre de forma instantânea, e sim existe um processo de transferência da energia de um carro/esfera para outro. No estudante A14, identifica-se pelos gestos realizado este comportamento de transferência que ocorre de forma não instantânea, onde o processo de transferência indicado pelos gestos levou aproximadamente 4s.

Na Figura 107, há a representação dos gestos realizados pelo estudante A14, enquanto explica a transferência de energia. Na primeira imagem, indica com a mão esquerda, com o dedo polegar e o indicador afastados, o nível máximo de energia do carro B, onde a energia do carro A é mostrada pelos dedos da mão direita, que estão juntos sinalizando que o nível de energia do carro A é zero. Na segunda imagem da Figura 107, os dedos da mão esquerda começam se fechar, assinalando redução de energia, enquanto que os dedos da mão direita começam a se abrir, indicando ganho de energia pelo carro A. Na última imagem da Figura 107, o estudante A14 fecha os dedos da mão esquerda e abre completamente a mão direita, mostrando que o carro A está no nível máximo de energia e o carro B no nível zero de energia. Esse processo, conforme já foi comentado anteriormente, não ocorreu de forma instantânea, levou quase 4s.

Na Figura 108, os gestos realizados pelo estudante B14, na segunda entrevista, enquanto explicava o comportamento das energias dos carros durante a colisão. Na primeira imagem da Figura 108 o estudante indica o nível inicial de energia do carro A, que seria zero. Na segunda imagem, o momento em que o estudante B14 está indicando que o nível de energia do carro A está aumentado, onde se pode perceber, pelo gesto realizado, que a imagem não ficou nítida, devido à rapidez que ele eleva a mão. Na última imagem, após ter transcorrido menos de um segundo, a indicação de nível máximo de energia para o carro A.

Quadro 50 - A figura 107 traz os gestos realizados pelo estudante A14 e a figura 108 os gestos do estudante B14, explicando a transferência de energia em uma colisão horizontal

Figura 107 - Gesto realizado pelo estudante A14 na segunda entrevista, enquanto explicava a transferência de energia em uma colisão horizontal



Fonte: Entrevista do grupo A, o autor (2015).

Figura 108 - Gesto realizado pelo estudante B14 na segunda entrevista, enquanto explicava a transferência de energia em uma colisão horizontal



Fonte: Entrevista do grupo B, o autor (2015).

Os gestos apresentados na Figura 175, realizados pelo estudante A14 na sua segunda entrevista, são semelhantes aos gestos realizados enquanto explicava o comportamento da energia na primeira questão, na Figura 63.

Comparando os gestos realizados pelos dois estudantes, considera-se que o estudante A14 provavelmente esteja utilizando *drivers* relacionados com a primeira simulação, enquanto que o segundo estudante utiliza *drivers* relacionados com a segunda simulação. Este resultado reforça a hipótese de que os *drivers* das barras de energia, adquiridos durante a primeira simulação, permanecem na estrutura cognitiva do estudante, contribuindo para compreensão do comportamento da energia na segunda simulação.

Estabelece-se, também, como hipótese, que a segunda simulação, por ocorrer uma única vez, não contribui para aquisição dos *drivers* hiperculturais das barras de energias. Pelos fatores descritos anteriormente, verifica-se que praticamente todos os estudantes do grupo B não utilizam este *driver*, exceto um estudante. Mas porque apenas um estudante do grupo B passa a utilizar *drivers* das barras de energia? A resposta pode estar exatamente no que ocorre na primeira simulação: reforço das imagens de colisão.

Durante a segunda entrevista, o estudante B14 menciona que utiliza a simulação em outros momentos além das atividades realizadas em aula, o que reforçou a sua percepção do fenômeno e, conseqüentemente, as imagens mentais. A seguir, apresenta-se parte da transcrição do estudante B14, relatando a utilização da simulação em outros momentos posteriores à aula.

B14: Até utilizo, para ver quando nos exercícios de aula assim, quando não estou me clareando para estudar, tento lembrar, se eu tiver perto entro no *Software* que é o mais próximo que eu tenho daquilo ali.

P: Uhum.

B14: Inclusive já usei para várias coisas, assim para clarear.

P: Tu usaste ele depois da aula?

B14: Sim, e ia fazer um teste de colisão para ver como ficaria.

Com as análises realizadas anteriormente, considera-se que a primeira simulação favorece a aquisição de *drivers* hiperculturais relacionados com as barras de energia, que permanecem e contribuem no entendimento da segunda simulação, com relação às energias envolvidas no sistema.

Resultados com relação ao momento linear

Na segunda questão, os estudantes deveriam responder sobre o que aconteceria com o momento linear após a colisão entre dois corpos; na quarta questão, sobre o conceito de

conservação do momento linear. Nesta questão, os estudantes deveriam responder como se estivessem explicando a outro colega o significado da conservação do momento.

De forma geral, os resultados vão no mesmo sentido dos resultados apontados por Grimellini-Tomasini et al (1993), que indicam a dificuldade dos estudantes em compreender o conceito de momento linear, interpretação como uma grandeza vetorial e conservação do momento linear em colisões. Os resultados encontrados neste trabalho não se distanciam dos resultados de Grimellini-Tomasini et al (1993).

Na segunda questão, para colisão entre dois corpos de mesma massa, verifica-se que os resultados nos dois grupos são muito semelhantes. Um número pequeno de estudantes passa a utilizar *drivers* hiperculturais, cerca de 13% (dois estudantes em cada grupo). Considerando as respostas corretas, no geral, constata-se que pouco mais de 30% dos estudantes respondem de forma correta.

Na quarta questão, o índice se mantém inalterado, em torno de 13% dos estudantes nos dois grupos utiliza *drivers* hiperculturais em suas respostas, respondendo corretamente. Porém, há um resultado, também semelhante nos dois grupos, que indica que aproximadamente 40% dos estudantes não foram hiperculturais, mantiveram a mesma resposta semelhantes nas duas entrevistas, consideradas corretas. Mas estas respostas, em muitos casos, basicamente era de que momento inicial era igual ao momento final, sem maiores explicações. Como exemplo, o estudante A13, na segunda entrevista, apenas considera que seria basicamente inicial igual ao final, sem identificação de imagens mentais relacionadas com o momento.

P: Diga, com as suas próprias palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é “Conservação da Quantidade de Movimento”. Para tanto, você poderá utilizar equações, tabelas, gráficos, desenhos e, é claro, texto escrito.

A13: Eu botei que a conservação da quantidade de movimento, que a quantidade de movimento inicial é igual à quantidade de movimento final.

P: Uhum.

A13: Que após a colisão elas mantiveram a mesma quantidade de movimento independente de uma estar parada ou estar vindo, e elas se batem, elas mantêm a quantidade, podem se dividir, podem passar um pouco para outra, fica igual à quantidade inicial.

P: E tu tens alguma representação para isso daí?

A13: Algum desenho, alguma coisa?

P: É.

A13: Não, conforme cada caso poderia ser da bolinha batendo uma na outra, o carro em outro, não tem específico.

Resposta semelhante à apresentada pelo estudante A13, ao responder com relação à conservação do momento, foi apresentada por aproximadamente 40% dos estudantes nas duas entrevistas, mantendo, dessa forma, a mesma resposta, sem características de modificação na sua estrutura cognitiva, sem a ocorrência de aprendizagem significativa.

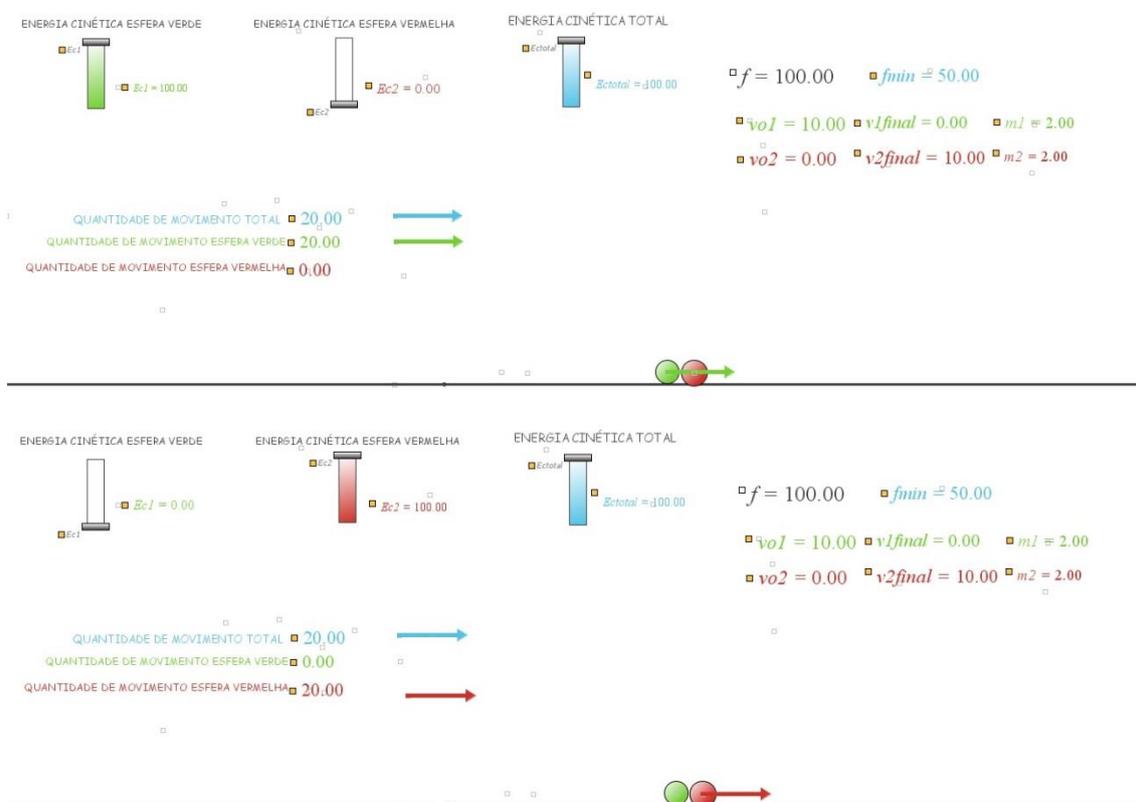
Na realidade, analisando a partir da resposta do estudante B3, onde explica o conceito de conservação, tanto para energia como para quantidade de movimento, sua resposta está diretamente associada à seguinte afirmação: “B3: Com relação à conservação é da própria aula com explicação e de imaginar, possivelmente, conservação tanto em energia, o próprio nome pelo que já diz conservação de energia e de quantidade de movimento, eu vejo pelo próprio nome e tiro ideia por ele mesmo”.

Para a situação anterior, talvez se pudesse caracterizar como uma aprendizagem mecânica, onde claramente o conceito de conservação não se relaciona com a estrutura cognitiva, utilizando apenas a ideia de manter, de ter a mesma quantidade. Não há evidências que confirmem, mas também não há evidências que desconfirmem a hipótese de que, para a maioria dos estudantes as suas respostas são apenas a ideia de quantidade inicial deverá ser igual à quantidade final, seja qual for a quantidade, o que poderia ser característico de aprendizagem mecânica.

O estudo do momento linear foi considerado apenas na segunda simulação. Talvez a abordagem apresentada nesta simulação não tenha contribuído para a criação de imagens mentais relacionadas com o momento linear. Percebe-se, pelo número reduzido de estudantes com *drivers* de origem hipercultural para o momento, que apenas dois estudantes utilizam imagem mental relacionada com vetores. Acredita-se que situação semelhante à ocorrida com a ideia das barras de energia, também tenha acontecido com as representações vetoriais na simulação.

Na simulação, o momento é modificado de forma instantânea, no momento da colisão, o que pode passar despercebido pelo estudante. Na Figura 109, há duas imagens indicando a colisão. Analisando de forma mais atenta, na primeira imagem há a representação do momento da esfera verde, enquanto que o momento da esfera vermelha é nulo; na segunda imagem, a representação do instante em que mudam os vetores, o vetor vermelho passa a aparecer na tela e o vetor verde desaparece.

Figura 109 - Indicação do momento da colisão, no instante em que mudam os momentos lineares



Fonte: Segunda simulação, o autor (2015).

Além da modificação instantânea dos vetores, analisando a figura 109, também se verifica a modificação brusca das barras de energias, onde na primeira imagem a barra verde está completamente cheia e a vermelha vazia, enquanto que na segunda imagem ocorre a inversão das barras de energia, a azul ficando vazia e a verde completamente cheia.

Então, o estudante no mesmo instante teria que perceber três modificações que ocorrem de forma instantânea: colisão, momento linear pelos vetores e energias cinéticas pelas barras de energia. Como hipótese, acredita-se que os estudantes ao simular focavam principalmente na movimentação das esferas antes e após a colisão, e principalmente no momento da colisão, o que acabou por atrapalhar na análise do que estava ocorrendo com os vetores no momento linear e com as barras de energia.

Alguns estudantes, principalmente do grupo A, quando questionados sobre o comportamento do momento linear dos corpos em uma colisão ou sobre a conservação do momento linear, relacionavam diretamente com energia, desconsiderando, dessa forma, a noção da dimensão vetorial do momento linear.

Pode-se verificar que o estudante A13 relaciona diretamente momento linear com energia: “Quantidade de movimento de cada um dos carros e a total, eu botei que ela acompanha a energia cinética, a quantidade de movimento. A cinética está zerada uma vem e bate e zera e assim mesmo a quantidade de movimento”.

Mas, além disso, identifica-se em pelos menos três estudantes do grupo A a utilização das ideias das barras de energia para representar o momento linear, o que demonstra que este *driver* hipercultural está sendo utilizado em outras situações. Observa-se que o estudante A9 recorre à representação das barras para explicar o momento linear, utilizando inclusive gestos:

P: E com relação à quantidade de movimento?

A9: Eu botei que se mantém, e apenas troca a energia.

P: Tu tens alguma representação pra quantidade e movimento?

A9: Não, só me baseei pelas barras da colisão [10:45; #BEE].

Outro resultado que colabora para a não aquisição dos *drivers* hiperculturais, em especial os vetores, está no aluno A7, onde, na primeira entrevista, cita o uso de vetores para representar o momento linear, os quais identifica-se que foram adquiridos através de uma simulação que o estudante havia procurado na Internet e estava utilizando para estudar o momento linear. Nesta simulação, era possível simular apenas o momento linear durante uma colisão.

Durante a entrevista, não havia ficado clara a origem da utilização do vetor momento, mas após a conclusão da entrevista, em conversa com o estudante, ele relatou que estava utilizando simulações que tinha pesquisado, entre elas uma relacionada com colisões. A seguir, parte da transcrição do estudante A7, em seu pré-teste, enquanto respondia com relação ao momento linear.

Quadro 51 – Coleta de dados anterior com o estudante A7

Coleta de dados anterior – Estudante A7
<p>P: Tu não associas nada na quantidade de movimento, falar em quantidade de movimento te vem o que à mente.</p> <p>A7: Ah, pela aula que eu tive eu associo que é quando e como ocorrem as colisões, só que eu não sei, uma ideia tão, por enquanto não achei tão necessária.</p> <p>P: Não tem uma ideia formada.</p> <p>A7: É praticamente para ver a magnitude da colisão, pela massa e a velocidade, mas tá ótimo, <u>para ver como é vetorial tu sabes a direção.</u></p> <p>P: A tá, ela é vetorial e como tu imaginas algum vetor.</p> <p>A7: Imagino.</p> <p>P: Como é esta imagem?</p> <p>A7: <u>Às vezes uma flechinha</u> [12:29; Com o dedo indicador, apontando para a esquerda, representando o vetor] junto, para onde está apontando, junto com o objeto, ou verde ou vermelho.</p> <p>P: Verde ou vermelho.</p> <p>A7: É.</p> <p>P: Neste caso, na colisão, tu enxergas elas junto com as bolinhas ou não.</p> <p>A7: Sim, <u>é pequenininho o vetor</u> [12:43; Indicador como vetor] como se fosse uma, na superfície quando tu aprendes o eletromagnetismo, <u>coloca um vetor paralelo</u> à superfície, eu imagino.</p> <p>P: Tá e a bolinha está se deslocando e o vetor está junto com ela.</p> <p>A7: Sim, está na frente dela.</p>

Fonte: Entrevista, o autor (2015).

A Figura 110 é referente ao gesto realizado pelo estudante A7, no momento em que o estudante fala “vetor paralelo”, apresentando um os vetores com as duas mãos.

Figura 110 - Gestos realizados pelo estudante A7 na coleta de dados anterior indicando os vetores



Fonte: Entrevista, o autor (2015).

Após a realização da primeira entrevista, o estudante A7 relatou que havia pesquisado no *software* que representa situações que ele não conseguira compreender. Entre os conceitos pesquisados, o estudante A7 passa a relatar a utilização de *drivers* hiperculturais relacionados à simulação por ele pesquisada. No dia seguinte, considerou-se que seria pertinente entrevistar novamente o estudante A7, a fim de que ele relatasse sobre a utilização deste *software*. A seguir, transcreve-se parte desta segunda entrevista, referente ao *software* de simulação de colisões:

A7: Aí, tu dá uma força com mouse [0:58; MC], assim, cria-se um vetor na bola [1:01; indicação de vetor na ponta], e tu vê elas colidindo assim [1:03; IC], tu vê para onde elas vão depois, consequentemente.

P: Tá. Eu lembro que ontem tu comentaste na entrevista que as duas colidiam e tinha um vetor, esse vetor tu tiraste de onde?

A7: Eu tirei?

P: Tu imaginaste de onde?

A7: Dessa simulação mesmo.

P: Tu lembras bem certinho do vetor relacionado com a simulação?

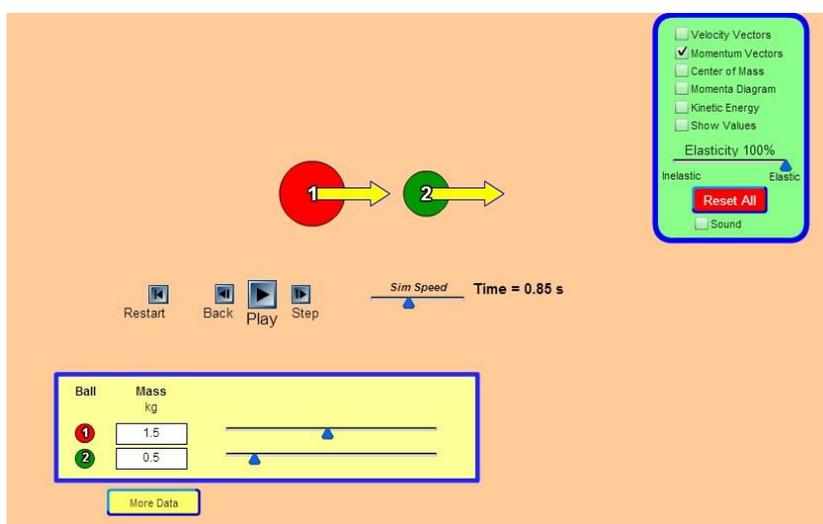
A7: Sim, tudo.

P: E essa simulação teve influência para ti na hora da sua resposta?

A7: Teve.

A Figura 111 uma imagem da tela simulação relatada pelo estudante A7, conforme se pode verificar pelo seguinte trecho da primeira entrevista: “(...) uma flechinha junto, para onde está apontando, junto com o objeto, ou verde ou vermelho”. Analisando a Figura 111, verifica-se que as cores das esferas são coincidentes com que os estudantes relatam, inclusive ao comparar com o gesto da Figura 110, provavelmente está se referindo a este instante da simulação.

Figura 111 - Imagem da simulação mencionada pelo estudante A7 na sua primeira entrevista



Fonte: Simulação – colisões, o autor (2015).

Na segunda entrevista, o estudante A7 deixa de utilizar o *driver* hipercultural relacionado com o vetor, passando apenas a relacionar o momento linear com embalo. Na realidade, não apresenta *drivers* com características hiperculturais. Na sequência, parte da transcrição do estudante A7 na segunda entrevista, enquanto explica a momento linear para a colisão elástica na segunda questão.

P: Com relação à quantidade de movimento dos carros, o que tu colocaste.

A7: Eu imagino o embalo, a magnitude de um potencial estrábico, eu falo na quantidade de movimento pode não ser isso, né, mas, eu imagino é o embalo, por exemplo, eu imaginava este conceito aí, antes de entender melhor que massa vezes velocidade são diferentes.

P: Mas tu imaginas o quê? Tu falaste em embalo.

A7: É.

P: Como assim embalo?

A7: Se um ônibus, até ele atingir um potencial de destruição, se ele for bater em uma casa [13:40; #IC], ele tem que ser muito pesado ou tem que estar muito rápido para fazer o estrago.

Conforme se pode verificar, o estudante A7, após a simulação, não utiliza *drivers* hiperculturais relacionados com as simulações realizadas em aula. Além disso, deixa de usar os *drivers* hiperculturais referentes às simulações que ele estava utilizando em suas pesquisas em casa.

Com os resultados analisados até o momento, pode-se considerar que a segunda simulação não contribui para a aprendizagem significativa, para a modificação dos *drivers* relacionados ao momento linear.

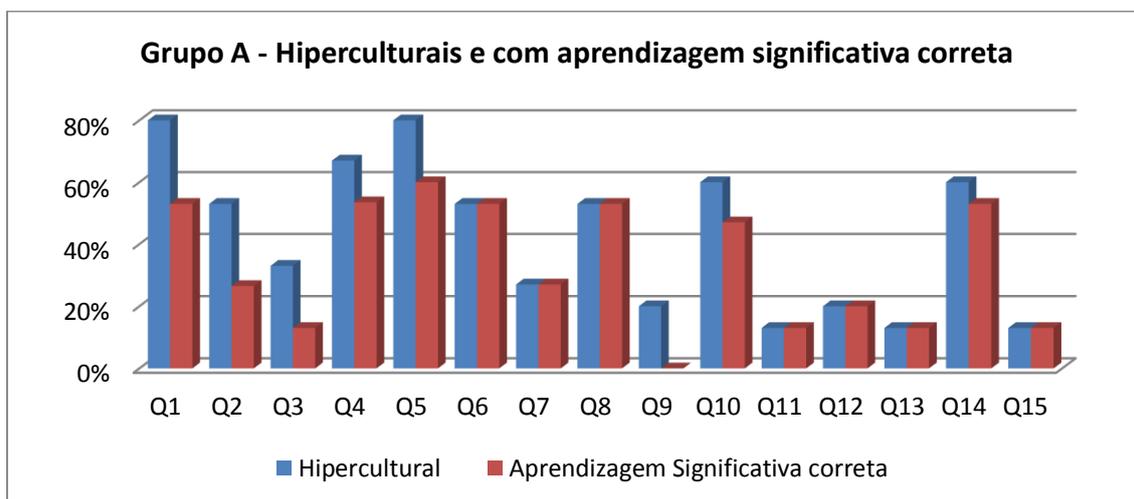
Relação entre utilização de drivers hiperculturais e aprendizagem significativa

Discute-se, agora, a relação entre utilização de *drivers* hiperculturais com as respostas fornecidas pelos estudantes dos dois grupos. Com isso, quer-se verificar o quanto a modificação dos *drivers* para hipercultural está associada com a aprendizagem significativa conceitualmente correta.

Para representar a relação entre aprendizagem significativa com modificação de *drivers*, para o grupo A, o gráfico 5 apresenta os resultados em cada uma das questões, onde: azul é o percentual de estudantes que modificaram seus *drivers* para hipercultural; vermelho,

o percentual de estudantes que tiveram aprendizagem significativa correta em cada uma das questões.

Gráfico 5 - Relação entre hipercultural e aprendizagem significativa ou utilização do conceito corretamente para o grupo A na primeira questão



Fonte: Entrevistas grupo A, o autor (2015).

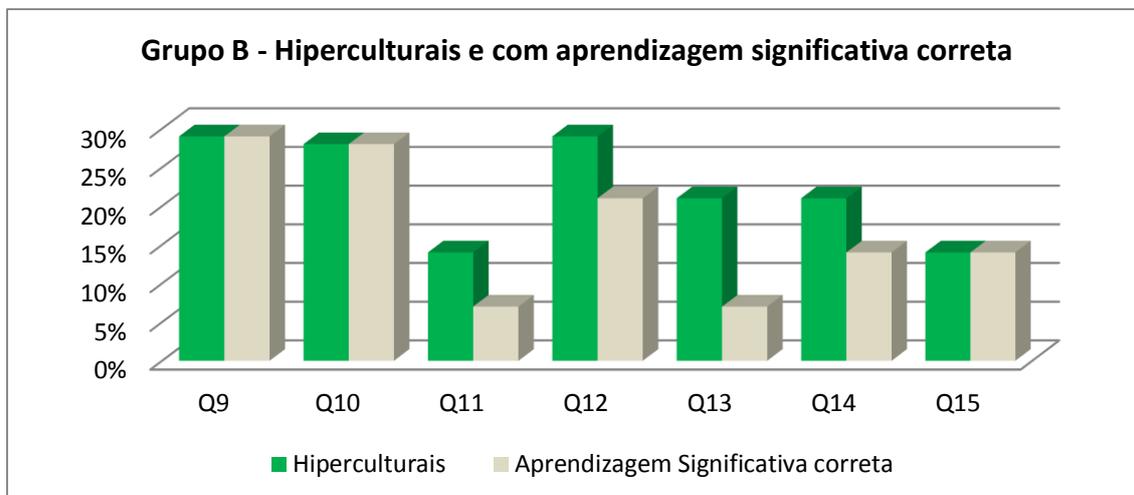
Verifica-se que nas questões Q6, Q7, Q8, Q11, Q12, Q13 e Q14 o percentual de estudantes que modificaram o *driver* para hipercultural e os que tiveram aprendizagem significativa correta são iguais, e nas demais questões os valores aproximam-se significativamente.

Calculando a correlação linear de Pearson a coeficiente de determinação e significância entre o número de estudantes do grupo A hiperculturais e que tiveram aprendizagem significativa tem-se uma correlação linear $r = 0,90$, com $r^2 = 0,812$ e $p = 0,0001$, que representa uma boa correlação linear entre os dados.

Para o grupo B, apesar do índice de estudantes hiperculturais ser inferior que no grupo A, verifica-se que o índice de estudantes hiperculturais e que têm aprendizagem significativa correta, aponta boa correlação linear, $0,81$, com $r^2 = 0,660$ e $p = 0,026$. Isso é um indício de que a mudança de *drivers* para hiperculturais e aprendizagem significativa correta andam juntos.

No gráfico 6, a representação relativa dos estudantes hiperculturais do grupo B, representado pelas colunas verdes, e aprendizagem significativa representada em cinza.

Gráfico 6 - Representação do índice de estudantes hiperculturais que tiveram aprendizagem significativa



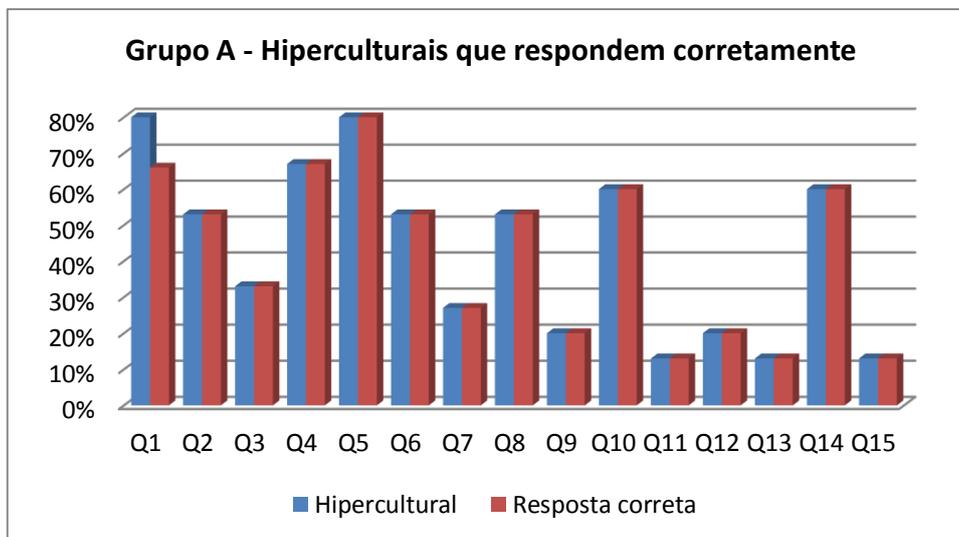
Fonte: Entrevista do Grupo B, o autor (2015).

Em três questões há resultados iguais para hiperculturais com aprendizagem significativa correta, sendo na Q13 onde percebe-se a maior diferença entre o número de hiperculturais com aprendizagem significativa correta. Considerando os resultados acima, acredita-se que a relação entre estudantes que modificam os seus *drivers* e possuem aprendizagem significativa, para o grupo B, é significativo, onde a tendência de quando modifica o *driver* para hipercultural é de ocorrer aprendizagem significativa correta.

Considerando os dados dos dois grupos, com relação à modificação de *drivers* para hipercultural e a ocorrência da aprendizagem significativa correta, chega-se a uma correlação linear 0,91, com $r^2 = 0,828$ e $p = 0,001$ o que representa uma forte correlação linear, e pode-se ponderar que, quando ocorre modificação do *driver* para hipercultural, o estudante estará propenso a também modificar a sua estrutura cognitiva, tendo aprendizagem significativa correta.

Pode-se, ainda, realizar outra análise da correlação entre os estudantes que modificaram seus *drivers* para hipercultural e responderam corretamente a questão. O grupo de estudantes hiperculturais que responde corretamente é composto por todos os estudantes hiperculturais que tiveram aprendizagem significativa correta, mais os estudantes hiperculturais que não tiveram modificação na estrutura cognitiva, pois já respondiam corretamente na primeira entrevista, mantendo a mesma resposta na segunda entrevista. No Gráfico 7, a indicação dos estudantes hiperculturais que responderam corretamente para o grupo A.

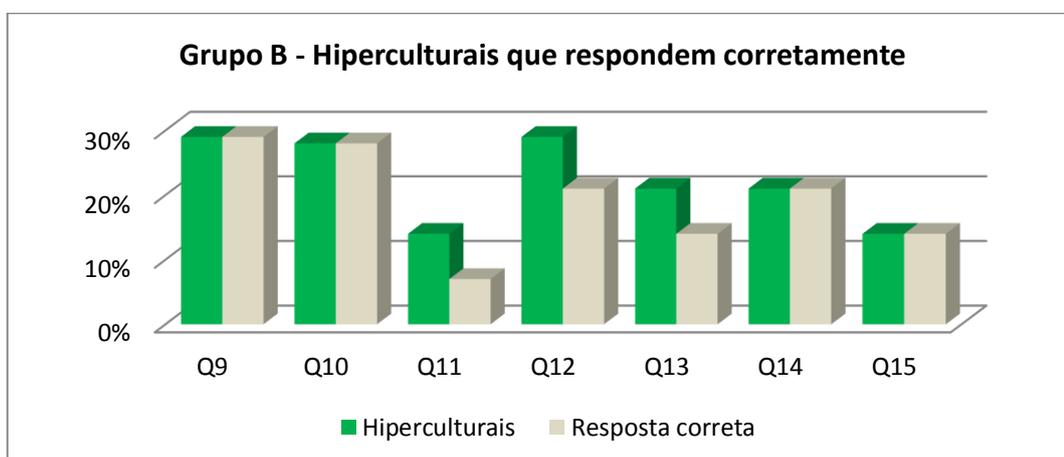
Gráfico 7 - Representação dos estudantes do Grupo A que apresentaram características hiperculturais e responderam corretamente



Fonte: Entrevistas grupo A, o autor (2015).

Analisando o Gráfico 4, percebe-se que, com exceção da Q1, em todas as demais questões o índice de estudantes que utilizou *driver* hipercultural respondendo corretamente é igual. Mesmo a Q1 não sendo igual, o resultado é muito próximo, onde 80% dos estudantes utilizaram *driver* hipercultural ao responder com relação à colisão elástica com solo, pois 66% responderam corretamente. Calculando o coeficiente de correlação linear, tem-se uma correlação 0,9898, ($r^2 = 0,979$ e $p = 0,000$), isto é, praticamente igual a um, o que significaria uma correlação perfeitamente positiva. Também analisou-se o grupo B com relação aos estudantes hiperculturais e que responderam corretamente. Este resultado é apresentado no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Representação dos estudantes do Grupo B que apresentaram características hiperculturais e responderam corretamente



Fonte: Entrevistas grupo B, o autor (2015).

Analisando o Gráfico 8, observa-se que para quatro questões os estudantes do grupo B utilizaram *drivers* hiperculturais e responderam corretamente, sendo que nas demais questões os resultados foram muito próximos. Calculando a correlação linear, tem-se 0,87 de correlação linear ($r^2 = 0,758$ e $p = 0,011$) entre os estudantes que modificaram seus *drivers* para hipercultural e responderam corretamente.

Resumindo os resultados dos dois grupos, para os estudantes que utilizaram *drivers* hiperculturais e responderam corretamente, tem-se uma correlação linear entre estes dados de 0,91, indicando uma correlação muito boa.

Com os resultados apresentados, até o momento, pode-se concluir que a modificação de *drivers* para hipercultural está diretamente associada com a utilização de respostas conceitualmente corretas, pois das 97 respostas fornecidas pelos estudantes hiperculturais do grupo A, apenas duas foram incorretas, o que representa aproximadamente 2,1% das respostas. Numa análise global dos dois grupos, tem-se aproximadamente 3% de respostas conceitualmente erradas com utilização de *driver* hipercultural.

Dessa forma, para os estudantes analisados, quando um estudante modifica seu *driver* para hipercultural, utilizará resposta conceitualmente correta. Se já responde corretamente, irá manter a resposta acrescentando significados a ela. Se inicialmente responde conceitualmente incorreta, ocorrerá uma modificação na estrutura cognitiva do estudante, tendo uma aprendizagem significativa correta.

Pelos resultados verifica-se, também, que em 79% das repostas hiperculturais os estudantes tiveram aprendizagem significativa, e em apenas 18% das repostas hiperculturais os estudantes já haviam respondido corretamente. Considerando estes resultados, acredita-se que a utilização de *drivers* hiperculturais favorece a modificação da aprendizagem significativa correta.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese pode ser escrita como uma história de pesquisa. O intuito inicial era de utilizar o ferramental da investigação das imagens mentais, combinado com a análise do discurso, para elucidar o papel das representações dinâmicas empregadas na simulação e como elas eram internalizadas pelos estudantes, durante uma aula típica, utilizando-se simulações computacionais.

Assim, a pergunta-chave poderia ser lida da seguinte maneira: “*Como a modificação ou criação de drivers que possuem origem hipercultural alteram os subsunçores dos estudantes quando estão aprendendo colisões mecânicas?*” A esta pergunta principal, duas auxiliares emergiram naturalmente, sobre a ocorrência ou não de aquisição de *drivers* e de aprendizagem significativa. Conforme exposto detalhadamente nas últimas sessões, há, sem sombra de dúvida, a aquisição de imagens mentais diretamente ligadas às simulações, evidenciadas tanto pela produção de gestos como na análise de conteúdo do discurso dos estudantes. Concomitantemente, há certamente, ocorrência de aprendizagem significativa tanto para a previsão do comportamento de uma bolinha ao cair no chão em situações elásticas e inelásticas e para a grande lei de conservação da energia.

No entanto, toda esta história de investigação converge e culmina na tentativa de relacionar as imagens mentais adquiridas após o uso das simulações e a ocorrência de aprendizagem significativa. Para responder à pergunta principal, realizaram-se dois experimentos: o primeiro, utilizando as duas simulações propostas, forneceu uma grande quantidade de dados que indicam as condições de aquisição de imagens mentais e *drivers* e sua relação com aprendizagem significativa. Imediatamente após, realizou-se um segundo experimento, utilizando apenas a segunda simulação para investigar o porquê da dificuldade com a aquisição de *drivers* relacionados à conservação do momento linear, que ressoa com resultados da literatura em ensino. Estes dois experimentos combinados permitiu responder a pergunta principal.

Assim, concordando com a literatura estabelecida na área, afirma-se que a utilização de recursos hiperculturais, como no caso de simulações computacionais de colisões, poderá propiciar ao estudante uma visão mais dinâmica dos processos. Contudo, aprofunda-se o significado desta “visão mais dinâmica”. Tal percepção ocorreu principalmente nas situações em que os estudantes inicialmente não responderam às questões, mas após a utilização das simulações, passaram a descrever todo o processo de colisão, com o uso de imagens mentais

dinâmicas obtidas diretamente da simulação. A primeira simulação elaborada, através do *software* Modellus, possibilitou a visão de como ocorrem as colisões com o solo, conforme o percentual de energia conservada. Entende-se como processo de colisão a movimentação anterior, no momento e após a colisão.

Considera-se, e os resultados desta pesquisa apontam nesse sentido, a importância das imagens mentais na resolução de problemas e dos instrumentos que proporcionam a sua aquisição. As imagens mentais estão relacionadas diretamente com o *driver* que está sendo utilizado, o que propicia ao estudante maior ou menor habilidade no momento de resolução do problema/exercício.

Levando em conta a teoria da aprendizagem significativa, as imagens mentais fazem parte dos *subsunçores*. Então, quando há aprendizagem significativa de algum conceito, provavelmente as imagens mentais existentes na estrutura cognitiva do estudante também serão modificadas. Este resultado foi identificado ao mostrar que da ocorrência da aprendizagem significativa surgem novas imagens mentais. Tal visão foi verificada diversas vezes, principalmente para a primeira simulação. Por exemplo, para o estudo de energias, mostraram novas imagens mentais com a utilização de barras de energia, enquanto que, no caso da altura de retorno, as imagens mentais referentes ao fenômeno já existiam na estrutura cognitiva dos estudantes e a simulação teve a função de modificar um conceito que já fazia parte do *subsunçor*.

Os resultados identificados e discutidos no capítulo 7, de forma geral, apontam que, para questões relacionadas com situações que estão mais distantes do cotidiano, os estudantes modificam ou até criam *drivers* obtidos através da mediação externa hipercultural; neste caso, as simulações de colisões. Acredita-se que isso se deva pela inexistência de imagens mentais que resultem em suporte às simulações mentais necessárias para responder as questões. Porém, nas questões que estão mais próximas à realidade, os estudantes preferem a utilização de *drivers* já existentes oriundos de mecanismos externos anteriores, que possuem imagens mentais que deem suporte a esta simulação mental. Estes resultados foram confirmados nas entrevistas realizadas após seis meses do uso da simulação, que corroboram no sentido de que os *drivers* que persistiram são os que em geral não existiam inicialmente, como é o caso das representações utilizadas pelos estudantes, principalmente pelas barras de energia.

Nas situações em que os *drivers* psicofísicos ou culturais não conseguem contemplar adequadamente a compreensão das situações, os estudantes modificam seus *drivers* para hiperculturais. A partir dos resultados encontrados na análise da primeira questão, considera-

se que, possivelmente, a utilização de *drivers* hiperculturais relacionados com a simulação seja necessária para os tipos de colisões elástica e superelástica com o solo. Por outro lado, há uma redução na utilização de *drivers* hiperculturais para as colisões inelástica e perfeitamente inelástica, talvez por estas colisões estarem mais próximas do que ocorre corriqueiramente no dia-a-dia, sendo os *drivers* psicofísicos suficientes para responder.

Da mesma forma para energia, os *drivers* psicofísicos ou culturais, inicialmente existentes na estrutura cognitiva do estudante, em geral, não são suficientes para responder situações que envolvam energias dos sistemas. Porém, quando os estudantes passam a utilizar *drivers* hiperculturais, o índice das respostas corretas aumenta significativamente.

Os *drivers* de origem hipercultural passam a ser empregados quando os *drivers* psicofísicos ou culturais não são suficientes, e, ao serem utilizados, não conseguem dar respostas adequadas ao fenômeno. Dificilmente os estudantes substituirão um *driver* psicofísico, principalmente, por um hipercultural, quando aquele for suficiente, realizando previsões adequadas.

Sendo assim, pode-se levantar um “universal abstrato”: Quando os estudantes utilizam simulações computacionais visuais, há interação entre as imagens mentais prévias e as apresentadas pela simulação. Estas imagens da simulação provavelmente são armazenadas sob a forma de *drivers* e resultam em aprendizagem significativa dos conceitos e situações como consequência. Caso não haja modificação ou criação de novos *drivers*, dificilmente haverá aprendizagem significativa. Caso o estudante já possua *drivers* anteriores capazes de resolver o problema em questão, ou compreender o conceito científico discutido, é possível ainda haver modificação na sua estrutura cognitiva sob a forma de aquisição de novos *drivers*.

Observa-se também o que décadas de literatura em ensino já indicam, ao analisar os resultados dos três estudantes entrevistados após seis meses: a dificuldade de uma “mudança conceitual”. Ao relacionar mudança conceitual e imagens mentais/*drivers*, pode-se gerar um universal concreto. “Dos três estudantes entrevistados, existem casos que retornaram a empregar *drivers* psicofísicos na entrevista prévia ao experimento, mesmo tendo utilizado *drivers* hiperculturais após o experimento. O retorno a estes *drivers* prévios, de origem psicofísica, leva o estudante também a uma resposta anterior, que é errônea com relação à altura da bola. Contudo, todos os casos apresentam após seis meses *drivers* hiperculturais para as barrinhas de energia, indicando que caso o estudante não possua imagens mentais e *drivers* anteriores, ele retém o novo *driver* hipercultural. Isso leva a generalizar e explicar a mudança conceitual (ou a resistência à mudança conceitual) como resistência à modificação de *drivers*

pré-existentes, enquanto a criação de novos *drivers* que não tinham paralelo em termos de *drivers* prévios é retida.

Um resultado identificado na pesquisa foi a diferença entre o percentual de estudantes hiperculturais nas duas simulações. Comparando os percentuais de estudantes hiperculturais dos dois grupos, a primeira simulação favorece a aquisição de *drivers* hiperculturais, enquanto que a segunda possui uma tendência ao não favorecimento da modificação dos *drivers* para hiperculturais. Conforme já discutido na análise das energias e do momento linear, provavelmente a imagem gerada na segunda simulação é mais difícil de ser utilizada posteriormente como imagem mental.

Não são raros os trabalhos que defendem a utilização da informática no ensino, considerando que a simples utilização contribui para aprendizagem significativa. Com os resultados obtidos neste trabalho, ficou evidente que a utilização de simulação não é garantia de aprendizagem significativa, de que o estudante passará a utilizar tal ferramenta. Na realidade, um bom *software*, simulação ou modelagem tem que ser potencialmente significativo, isto é, os conceitos abordados pelo *software* deverão se relacionar com a estrutura cognitiva do aprendiz.

Mas não apenas a relação dos conceitos, também as imagens geradas por este *software* deverão se relacionar com as imagens mentais existentes na estrutura cognitiva, modificando-as ou gerando novas imagens. Se as imagens do *software* não são adquiridas pelo estudante, provavelmente ele também não terá aprendizagem significativa. Foi exatamente isso o que se identificou no caso da segunda simulação para a energia.

Os estudantes do grupo A, que adquiriram o *driver* das barras de energia na primeira simulação, persistiram utilizando, inclusive nas questões relacionadas com a primeira simulação, enquanto que o grupo B teve dificuldades na utilização de *drivers* hiperculturais para energia.

Quanto aos estudos de colisões, observa-se, na presente pesquisa, que a existência de conhecimentos prévios dificulta a aprendizagem significativa. Como exemplo, uma situação já verificada em mais de um estudante, cujos conhecimentos prévios, mais especificamente as imagens mentais existentes, dificultam a incorporação do novo conhecimento. O exemplo referido consiste no abandono de uma esfera com massa de dois quilogramas de uma altura de dez metros, para uma colisão elástica com o solo. Isso significa que a altura de retorno deverá ser de dez metros. No entanto, grande parte dos estudantes, ao realizar a simulação mental durante a coleta de dados inicial, indica que a altura de retorno será menor que dez metros.

Este fato está condizente com o seu conhecimento prévio, com as imagens existentes em sua estrutura cognitiva, advindas de sua interação com a física do ambiente, mas que estão em conflito com a teoria aceita cientificamente.

No que toca aos objetivos propostos nesta pesquisa, conseguiu-se contemplar todos. O primeiro refere-se à identificação das imagens mentais, que foi fundamental para alcançar o segundo objetivo, referente à identificação dos *drivers* utilizados pelos estudantes nas duas entrevistas. O terceiro objetivo foi atingido a partir da análise das duas entrevistas realizadas por cada um dos estudantes, onde, de forma individual, pode-se identificar as situações onde ocorreram mudanças na estrutura cognitiva dos estudantes.

Para o quarto objetivo, a identificação das situações em que o estudante passa a utilizar *drivers* hiperculturais, verificou-se que ocorreu, basicamente, nas situações em que os *drivers* psicofísicos não eram suficientes para responder as questões: são as situações que não fazem parte do nosso cotidiano, como colisão elástica ou superelástica com o solo e análise de energias. Importante destacar a função do *software* de se relacionar com estrutura cognitiva do estudante.

Para o quinto objetivo, analisaram-se todos os estudantes com relação a possíveis modificações das estruturas cognitivas, que ocorreram principalmente em situações em que os conceitos analisados estão mais distantes do cotidiano.

E finalmente no sexto objetivo, a relação entre a utilização de *drivers* hiperculturais com aprendizagem significativa, verificou-se uma forte relação. Quando o estudante passa a utilizar *drivers* hiperculturais a tendência é a de que ele tenha uma modificação na estrutura cognitiva, tenha uma aprendizagem significativa. Se isso não ocorrer, possivelmente o estudante já tenha respondido corretamente, então não modifica a sua estrutura cognitiva, pois não é necessário. Mas também constatou-se que, se o estudante modificar o seu *driver* para hipercultural, a resposta fornecida por ele será conceitualmente correta.

A aquisição de *drivers* hiperculturais está diretamente relacionada à aprendizagem significativa de conceitos onde os *drivers* psicofísicos ou sociais não são capazes de modelar novas situações-problema, neste caso, relacionadas a colisões elásticas e superelásticas. O estudante poderá até mesmo adquirir e utilizar (novos) *drivers* hiperculturais para situações onde já possuía *drivers* funcionais, mas aparentemente, a longo prazo, o estudante apenas retém como resíduo os novos *drivers* que oferecem respostas a situações e conceitos cujos *drivers* anteriores não conseguem modelar, revertendo aos anteriores no caso de situações previamente resolvidas pelos seus *drivers* prévios. Com relação ao que foi exposto até aqui,

há algumas indagações e considerações finais com relação a esta pesquisa e a pesquisas futuras, que não era objeto de pesquisa, mas chamaram a atenção ao longo da análise dos resultados.

Será que as simulações que utilizam imagens dinâmicas são mais propícias às modificações dos *drivers* hiperculturais do que outra simulação do mesmo conceito, porém com número reduzido ou inexistência de imagens dinâmicas?

Uma questão refere-se ao fato de que existem situações em que os estudantes já possuíam algum conhecimento prévio do assunto, como por exemplo, a altura de retorno, em que provavelmente hajam imagens mentais relacionadas com *drivers* hiperculturais e outras situações em que o estudante ainda não possui nenhum *driver* associado e, conseqüentemente, a inexistência de imagens mentais, como foi o caso identificado para as energias. O questionamento é: o que será mais simplificado, a modificação dos *drivers* ou a criação de novos? Em qual situação se pode obter a modificação da estrutura cognitiva dos estudantes mais facilmente?

A segunda questão, para situações em que o estudante não tem como interagir, ter mediação direta com o fenômeno, como por exemplo, eletricidade, eletromagnetismo, relatividade, como serão os *drivers* adquiridos/modificados após a simulação de eventos como os acima citados?

A terceira questão deverá ser respondida por outras pesquisas. Na pesquisa ora realizada, o grupo de estudantes possui características de imigrante digital, ou seja, durante a sua vida passou a utilizar as tecnologias digitais. Porém, já existe um grupo de estudantes que pode ser considerado como nativo digital, ou seja, nasceu já tendo contato com as tecnologias digitais. A questão é a seguinte: em muitas situações a geração de nativos digitais terá contato primeiro com uma mediação hipercultural e, posteriormente, com uma mediação psicofísica. Como será o processo de aprendizagem? Quais as diferenças básicas em termos de aprendizagem para a geração de imigrantes digitais?

Estes questionamentos possivelmente serão respondidos com pesquisa na área de ensino que leve em consideração não apenas as modificações que possam ocorrer com a utilização de *drivers* de origem hiperculturais, mas principalmente “como” ocorrem estas modificações.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C. E. **Informática no Ensino de Física**. CEDERJ, 2006. Disponível em: <<http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/infoenci/notasdeaula/roteiros/aula01.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2010.

ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. **Curso de Física**. V1. São Paulo: Scipione, 2005.

ANDERSON, John R. Arguments concerning representations for mental imagery. **Psychological Review**, v. 85, n. 4, p. 249, 1978.

ANJOS, A. J. S.; SAHELICES, C.C. AS equações matemáticas nos processos de ensino e aprendizagem em física: o caso do momento linear e a sua conservação. **Aprendizagem Significativa em Revista**. v. 2, p. 1-13, 2012. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID33/v2_n3_a2012.pdf. Acesso em: 14 jan. 2014.

ARAUJO, I. V.; VEIT, E. A. Modelagem computacional no ensino de física. In: **XXIII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste**, p.01-13, 2005.

ARAUJO, I. S. VEIT, E. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 3, 2004.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Atividade de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos de cinemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 179-184, 2004.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana. 1980.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. 2nd ed. New York: Holt Rinehart and Winston.1978.

AUSUBEL, D. P. **Educational psychology: a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston. 1968.

BALLESTEROS JIMÉNEZ, Soledad. Representaciones analógicas en percepción y memoria: imágenes, transformaciones mentales y representaciones estructurales. **Psicothema**, v. 5, n. 1, p. 5-17, 1993.

BAÑAS, Carlos; MELLADO, Vicente; RUIZ, Constantino. Los libros de texto y las ideas alternativas sobre la energía del alumnado de primer ciclo de educación secundaria obligatoria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 296-312, 2004.

BARBOSA, J. P.; BORGES, A. T. O entendimento dos estudantes sobre energia no início do ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, p. 182-217, 2008.

BARROQUEIRO, C. H.; AMARAL, L. H. O uso das tecnologias da informação e da comunicação no processo de ensino-aprendizagem dos alunos nativos digitais nas aulas de física e matemática. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 2, n. 2, p. 123-143, 2012. Disponível em: <<http://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/61>> Acesso em: 10 nov. 2013.

BENNETT, S. (2012). Digital natives. **Encyclopedia of Cyber Behavior**. Volume 1. United States: IGI Global, p. 212-219, 2012.

BETZ, M. E. M.; TEIXEIRA, R. M. R. Material instrucional apresentando conteúdo de métodos computacionais para o ensino de física. **Caderno Brasileiro Ensino Física**, v. 29, n. Especial 2, p. 787-811, 2012.

BIANCHI, Isabel; ALVES FILHO, Jose de Pinho. Pêndulo balístico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, p. 82-87, 2004.

BOLDO, E. M.; CIANI, A. B. Modelagem computacional de osciladores não lineares para a aprendizagem de equações diferenciais. In: **ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA**. Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <http://www.sbem.com.br/files/ix_enem/Poster/Resumos/PO88856992949R.doc>. Acesso em: 26 jul. 2010.

BONJORNO, J.R.; CLINTON, M. R. **Física 1: mecânica**. São Paulo: FTD, 1992.

BRIDGES, Richard. Energy conservation and restitution in inelastic collisions: a simple model. **Physics Education**, v. 33, n. 5, p. 311-315, 1998.

BRITO, M.R.F. O “pensar em voz alta” como uma técnica de pesquisa em psicologia da educação matemática. In: I Simpósio Brasileiro em Psicologia da Educação Matemática. **Anais**. Curitiba: UTP, 2002.

BROADSTOCK, M.J., GEORGE, E.A.; VÁZQUEZ-ABAD, J. Learning momentum and energy conservation with computer support in an undergraduate physics laboratory. NARST National Meeting, St. Louis, MO. Mar. 2001. **Anais Eletrônicos**. Disponível em <<<http://userpages.wittenberg.edu/egeorge/NARST2001paper.PDF>>> Acesso em: 18 nov. 2012.

BRUNT, Marjorie; BRUNT, Geoff. Introducing conservation of momentum. **Physics Education**, v. 48, n. 5, p. 664-669, 2013.

BUGELSKI, B. R. Words and things and images. **American Psychologist**, v. 25, n. 11, p. 1002, 1970.

CALDAS, A. C. O desafio das neurociências. **Cadernos de Saúde**, v. 3, n. 1, p. 7-17, 2010.

CAMPELLO DE SOUZA, B. C.; LULA, A. M.; MOURA, A. L. N. O papel da hipercultura na atividade de consultoria: um estudo com consultores na Região Metropolitana do Recife. In: XXXVI Encontro da ANPAD. **Anais**. Rio de Janeiro, 2012.

CAMPELLO DE SOUZA, B. C. et al. Putting the cognitive mediation networks theory to the test: evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in human behavior**. Elsevier, v. 28, n. 6, p. 2320–2330, 2012a.

CAMPELLO DE SOUZA, B.C. et al. O papel da hipercultura na atividade de consultoria: um estudo com consultores na Região Metropolitana do Recife. In: **EnANPAD 2012**, Rio de Janeiro, 2012b.

CAMPELLO DE SOUZA, B. C.; SILVA, Leonardo Xavier de Lima; ROAZZI, Antônio. MMORPGS and cognitive performance: A study with 1280 brazilian high school students. **Computers in Human Behavior**, v. 26, n. 6, p. 1564-1573, 2010.

CAMPELLO DE SOUZA, B.; ROAZZI, A. Hipercultura e inteligência. In: A. ARAUJO, Candeias L. S. Almeida. (Org.). **Inteligência humana: investigação e aplicações**. 1ed. Évora: Quarteto, v. 1, p. 97-114, 2007.

CAMPELLO DE SOUZA, B. C. A teoria da mediação cognitiva. In: MEIRA, L; SPINILLO, A. (Org.). **Psicologia cognitiva: cultura, desenvolvimento e aprendizagem**. Recife: Ed. UFPE, 2006.

CAMPELLO DE SOUZA, B. C. **A Teoria da mediação cognitiva: os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital.** Tese (Doutorado em Psicologia Cognitiva), Programa de Pós-graduação em Psicologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

CARVALHO, L. O.; VILLANI, A. Aprendizagem dos princípios de conservação em entrevistas didáticas. **Investigações em Ensino de Ciências**1, n 1, p. 76-94, 1996.

CAVALCANTE, M. A., BONNIZIA, A., GOMES, L. C. Aquisição de dados em laboratórios de física: um método simples, fácil e de baixo custo para experimentos em mecânica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.30, n.2, p. 1-6, 2008.

CAVALCANTE, M. A. et al. O estudo de colisões através do som. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 150-157, 2002.

CHESMAN, C. et al. Colisão elástica: um exemplo didático e lúdico. **A Física na Escola**, v.2, p.23-25, 2005.

CROSS, R. Ball collision experiments. **Physics Education**, v. 50, n. 1, p. 52-57, 2015.

CROSS, R. The coefficient of restitution for collisions of happy balls, unhappy balls, and tennis balls. **American Journal of Physics**, v. 68, n. 11, p. 1025-1031, 2000.

CROSS, R. The bounce of a ball. **American Journal of Physics**, v. 67, n. 3, p. 222-227, 1999.

DA SILVEIRA, Fernando Lang. Colisão entre dois pêndulos com “efeito estilingue”. **VIDYA**, v. 34, n. 1, p. 7, 2014.

DE CARVALHO, L. Orquiza; VILLANI, A. Aprendizagem dos princípios de conservação em entrevistas didáticas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 76-94, 1996.

DE IZARRA, Charles. Duration of an elastic collision. **European journal of physics**, v. 33, n. 4, p. 997, 2012.

DE JONG, Ton et al. The integration of computer simulation and learning support: an example from the physics domain of collisions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 5, p. 597-615, 1999.

DERBY, Norman; FULLER, Robert. Reality and theory in a collision. **The Physics Teacher**, v.37, n.1, p. 24-27, 1999.

DISESSA, A. Momentum flow as an alternative perspective in elementary mechanics. **American Journal of Physics**, v. 48, n. 5, p. 365-369. 1980.

DORNELES P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT E. A. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: Parte II – circuitos RLC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, 3308, 2008.

DORNELES P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT E. A. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: Parte I – circuitos elétricos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 487-496, 2006.

ERICKSON, Frederick. Ethnographic microanalysis of interaction. **The handbook of qualitative research in education**, p. 201-225, New York, 1992.

FINO, C. N. Avaliar software “educativo”. In: **Actas da III Conferência Internacional de Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação**. Braga: Universidade do Minho, p. 689-694, 2003. Disponível em: <<http://www3.uma.pt/carlosfino/publicacoes/16.pdf>>. Acesso em: 04 out 2012.

FUNK, Deb. Elastic collisions with two moving objects made simple. **The Physics Teacher**, v. 44, p. 80-81, 2006.

GADDIS, B. **Learning in a virtual lab: distance education and computer simulations**. Doctoral Dissertation. University of Colorado. 2000.

GARCÍA, F. Nativos digitales y modelos de aprendizaje. In: **SPDECE**. 2007. Disponível em <<http://ftp.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-318/Garcia.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2013.

GEORGE, Elizabeth A.; BROADSTOCK, Maan Jiang; ABAD, Jesús Vázquez. Learning energy, momentum, and conservation concepts with computer support in an undergraduate physics laboratory. In: **Fourth international conference of the learning sciences**, p. 2-3, 2013.

GIORGI, S.; CONCARI, S.; POZZO, R. Un estudio sobre las investigaciones acerca de las ideas de los estudiantes en fuerza y movimiento. **Ciência & Educação**, v.11, n.1, p.83-95, 2005.

GLARÍA, J.; SLÜSARENKO, V. **Conservation of momentum?** 2002. Disponível em: <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/VIKTORi.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

GLUCK, Paul. Elastic and inelastic collisions. **The Physics Teacher**, v. 48, n. 3, p. 158-158, 2010.

GOEHRING, G. D. 17th century treatments of one-dimensional collisions. **Physics Education**, v.10, n. 6, p.457-463, set. 1975.

GRAHAM, Ted; BERRY, John. A hierarchical model of the development of student understanding of momentum. **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 1, p. 75-89, 1996.

GRECA, Ileana M.; SEOANE, Eugenia; ARRIASSECQ, Irene. Epistemological issues concerning computer simulations in science and their implications for Science Education. **Science & Education**, v. 23, n. 4, p. 897-921, 2014.

GRIMELLINI-TOMASINI, N. et al. Understanding conservation laws in mechanics: Students' conceptual change in learning about collisions. **Science Education**, v. 77, n. 2, p. 169-189, 1993.

GRIMELLINI-TOMASINI, N. et al. Teaching strategies and conceptual change: the case of collisions in mechanics. **American Educational Research Association**, S. Francisco, 1989.

HESSEL, R. et al. Force-versus-time curves during collisions between two identical steel balls. **American Journal of Physics**, v. 74, n. 3, p. 176-179, 2006.

HOLTON, Gerald. On trying to understand scientific genius. **The American Scholar**, p. 95-110, 1971.

JONES, C. et al. Net generation or digital natives: is there a distinct new generation entering university? **Computers & Education**, v. 54, n. 3, p. 722-732, 2010.

KAGAN, David. Happy balls, unhappy balls, and newton's cradle. **The Physics Teacher**, v. 48, n. 3, p. 152, 2010.

- KOSSLYN, Stephen Michael. **Image and mind**. Harvard University Press, 1980.
- LAGRECA, Maria do Carmo Baptista. **Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de física geral na área de mecânica clássica e possíveis modelos mentais nessa área**. 1997. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 1997.
- LINDGREN, Robb; SCHWARTZ, Daniel L. Spatial learning and computer simulations in science. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 3, p. 419-438, 2009.
- LOVELAND, Kurt T. Simple equations for linear partially elastic collisions. **The Physics Teacher**, v. 38, n. 6, p. 380-381, 2000.
- LOWSON, R.A.; MCDERMOTT, L.C. Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems. **American Journal of Physics**. v.55. n. 9, set. 1987.
- LUCINI, M. **Lecciones sobre teoría de la mecánica e sus aplicaciones**. Barcelona: Labor, 1942.
- MACHADO, Luis Paulo Silveira; POTIGUAR, Fabrício Queiroz. Colisão inelástica com rotação relativa de um objeto de simetria esférica em um plano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 700-714, 2011.
- MARIANI, M.C. **Evolução das concepções espontâneas sobre colisões**. Dissertação de Mestrado, USP, 1987.
- MARIANI, M.C.; VILLANI, A. Ideias espontâneas sobre a transmissão de movimento. **VI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, p.213, 1985.
- MARION, J. B.; THORNTON, S. T. **Classical dynamics of particles & systems**.3 ed. New York: HBJ, 1988.
- MARSHALL, Jill A.; YOUNG, Erica Slate. Preservice teachers' theory development in physical and simulated environments. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 43, n. 9, p. 907-937, 2006.
- MARTINS, C. A.; GIRAFFA, L. M. Formação do docente imigrante digital para atuar com nativos digitais no ensino fundamental. In: VIII Congresso Nacional de Educação- EDUCERE. III Congresso Ibero-americano sobre violências nas escolas-CIAVE. **Anais**. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2008.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 77-86, 2002.

MILLET, L. Edward. The one-dimensional elastic-collision equation: $v_f = 2v_c - v_i$. **The Physics Teacher**, v. 36, p. 186-186, 1998.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2 ed. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 2011a.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria da Física, 2011b.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? **Material de apoio - aula inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais da UFMG**. Cuiabá, 2010. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueeafinal.pdf>> Acesso em: 13 jan. 2014.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: a teoria da aprendizagem significativa**. Porto Alegre - RS, 2009. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios6.pdf>> Acesso em: 10 jan. 2014.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2 ed. São Paulo: Moraes, 2006a.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. 1 ed. Brasília: Ed. UnB, 2006b.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica. In: I Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa. **Anais**. Campo Grande, 2005.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. **Ciência e Educação**. Bauru, v. 9, n.2, p. 301-315, 2003.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Ed. UnB, 1999.

MOREIRA, Marco A.; LAGRECA, M. Representações mentais dos alunos em mecânica clássica: três casos. **Investigações em ensino de ciências**, v. 3, n. 2, p. 83-106, 1998.

MOREIRA, M. A. Aprendizaje significativo: un concepto subyacente. **Actas Encuentro Internacional sobre el aprendizaje significativo**. Burgos, España. p. 1944-1999, 1997.

MOREIRA, Marco Antônio. Modelos mentais. **Investigações em ensino de ciências**, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.

MORS, Paulo Machado. Quanta energia cinética é possível se perder em uma colisão inelástica? **Physicae**, v. 10, n. 10, p. 6, 2012.

MORS, P. M. Quanta energia cinética é possível se perder em uma colisão inelástica? **Physicae**, p. 6-8, 2011.

MUNGAN, Carl E. Mechanical energy changes in perfectly inelastic collisions. **The Physics Teacher**, v. 51, n. 4, p. 229-230, 2013.

MUNGAN, Carl E. Collision of a ball with a barbell and related impulse problems. **European journal of physics**, v. 28, n. 3, p. 563, 2007.

NIG, Chiu-king. Oblique and head-on elastic collisions. **The Physics Teacher**, v. 46, n. 4, p. 240-241, 2008.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 1: mecânica**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

OBLINGER, D.; OBLINGER, J. L.; LIPPINCOTT, J. K. **Educating the net generation**. EDUCAUSE, 2005. Disponível em: <<http://digitalcommons.brockport.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1278&context=bookshelf>> Acesso em: 13 nov. 2013.

ORQUIZA L. C. & VILLANI, A. Aprendizagem dos princípios de conservação em entrevistas didáticas. **Investigação em ensino de ciências**. Porto Alegre, v.1, n.1, 1996. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>. Acesso em: 17 set. 2013.

OTERO, M. R. El uso de imágenes en la educación en ciencias como campo de investigación. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 17, n. 1, p. 09-22, 2004.

OTERO, M. R.; MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. El uso de imágenes en textos de física para la enseñanza secundaria y universitaria. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 2, p. 127-154, 2002.

OTERO, M. R. Psicología cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de las ciencias. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 2, p. 93-119, 1999.

PACCA, J. L.; HENRIQUE, K. F. Dificultades y estrategias para la enseñanza del concepto de energía. **Enseñanza de las Ciencias**, v.22 n.1, p.159-166, 2004.

PAIVIO, Allan. **Mental representations**. Oxford University Press, 1990.

PENROSE, R. **A mente nova do rei: computadores, mentes e as leis da física**. Tradução de Waltensir Dutra. 4 reimp. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

PERROTTA, M. T. et al. La energía y su conservación. Aplicación en una situación problemática. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 515-527, 2010.

PHILLIPS, R. J. Are maps different from other kinds of graphic information? **The Cartographic Journal**, v. 26, p. 24-25, 1989.

PIAGET, J. Seis estudos de Piaget. 25 ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2011.

PIAGET, J. **Epistemologia Genética**. 3 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

PIAGET, J. **Psicologia da Inteligência**. Rio de Janeiro: Zahar, 1997.

PRENSKY, M. **Digital game-based learning**. New York: McGraw Hill, 2001.

PYLYSHYN, Zenon W. What the mind's eye tells to the mind's brain: a critique of mental imagery. **Psychological bulletin**, v. 80, n. 1, p. 1, 1973.

RAMPINELLI, M.; FERRACIOLI, L. Estudo do fenômeno de colisões através da modelagem computacional quantitativa. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 23 n.1, p. 99-130, 2006.

RAMSEY, G. P. A simplified approach to collision processes. **American Journal of Physics**, v. 65, n. 5, p. 384-389, 1997.

RAUPP, D. et al. Uso de um software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: um estudo de caso baseado na teoria de mediação cognitiva. **REEC: Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, p. 18-34, 2010. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART2_VOL9_N1.pdf> Acesso em: 5 jan. 2014.

REIS, M. A. F.; SERRANO Neto, A. A. Simulação de colisões dirigidas ao ensino de física. **Acta Scientiae**. v.4, n.2, p.07-20, 2012.

REIS, M. A. F. **O uso de simulações computacionais no ensino de colisões mecânicas**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil. Canoas, 2003.

REIS, M. A. F.; SERRANO NETO, A. A. Aprendizagem das leis de conservação com apoio de simulações computacionais. **ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciência**. Bauru, 2003.

REIS, M. A. F; ANDRADE NETO, A. S.; SAAVEDRA N. C. F. O uso de simulações computacionais no ensino de colisões. Ata CD. In: **XV Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Curitiba, 2003.

REIS, M. A. F. O uso de simulações computacionais no ensino de colisões mecânicas. Dissertação de Mestrado (Ensino de Ciências e Matemática). Canoas: Universidade Luterana do Brasil, 2003.

REIS, M. A. F.; SERRANO NETO, A. A. Simulação de colisões dirigidas ao ensino de física. **Acta Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 7-19, 2002.

RESNICK, R; HALLIDAY, D.; KRANE, K. S. **Fundamentos de Física**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. V.1.

RIBEIRO, Y. H. L.; JESUS, J. C. O.; ALVES, A. S. Utilização do Modellus na construção de conceitos físicos. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0089-1.pdf>> Acesso em: 26 jul. 2010.

ROEDER, J. L. Analyzing collisions in terms of Newton's laws. **The physics teacher**, v. 41, p. 97-99, 2003.

RONEN, M.; ELIAHU, E. Simulation – a bridge between theory and reality: the case of electric circuits. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 14-26, 2000.

ROURA, P. Collisions between rods: a visual analysis. **The Physics Teacher**, v. 41, n. 1, p. 32-35, 2003.

SAAVEDRA, N. et al. O estudo das colisões por meio de um experimento assistido por computador: um enfoque no teorema do impulso e quantidade de movimento. In: **COBENGE**, São Paulo, 2008.

SAMPAIO, J. L.; CAÇADO, C. S. **Física**: volume único. São Paulo, Saraiva, 2008.

SANTAELLA, Lúcia; NÖTH, Winfried. **Imagem**: cognição, semiótica, mídia. São Paulo: Iluminuras, 1999.

SANTOS, G. H.; ALAVES, L.; MORET, M. A. Modellus: animações interativas mediando a aprendizagem significativa dos conceitos de física no ensino médio. **Revista Sitientibus – Série Ciências Físicas**, v. 02, p. 56-67, dez. 2006.

SCHAFF, A. **A sociedade informática**: as consequências sociais da segunda revolução industrial. 3 ed. São Paulo: Brasiliense, 1996.

SERRANO NETO, A. et al. Uso de um software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: um estudo de caso baseado na teoria de mediação cognitiva. REEC. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, p. 18-34, 2010.

SHEPARD, R. N. The mental image. **American psychologist**, v. 33, n. 2, p. 125, 1978.

SILVA, A. C.; BERNARDES, A. T. Algoritmo para a simulação computacional de colisão tridimensional de dois corpos. **Revista de Ciência e Tecnologia do Vale do Mucuri**, p. 6-10, 2009.

SILVA, L. X. de L. **Processos cognitivos em jogos de role-playing – World of Warcraft vs Dungeons & Dragons**. Dissertação de Mestrado em Psicologia Cognitiva, Universidade Federal de Pernambuco, Recife: 2008.

SILVEIRA, F. L. Colisão entre dois pêndulos com “efeito estilingue”. **VIDYA**, v.34 n.1, p. 233-240, 2014. Disponível em: <http://periodicos.unifra.br/index.php/VIDYA/article/view/27/17>. Acesso em: 10 set. 2013.

SIMÕES, L.; GOUVEIA, L. Geração Net, Web 2.0 e ensino superior. Novas media, novas gerações, novas formas de comunicar. Edição especial. **Cadernos de Estudos Mediáticos**, n. 6, 2008. Disponível em: < http://homepage.ufp.pt/~lmbg/com/ls_cem6_09.pdf> Acesso em: 13 nov. 2013.

SIMPSON, Gordon; HOYLES, Celia; NOSS, Richard. Designing a programming-based approach for modelling scientific phenomena. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 21, n. 2, p. 143-158, 2005.

SMETANA, L. K.; BELL, R. L. Computer simulations to support science instruction and learning: a critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 9, p. 1337-1370, 2012.

SWELLER, J. **Cognitive load theory**: a special issue of educational psychologist. LEA Inc., 2003.

TAO, P. K.; GUNSTONE, R. F. A process of conceptual change in force and motion during computer-supported Physics instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, v.37, n.2, 859-882, 1999.

TASPCOTT, D. **The rise of the net generation**: growing up digital. 1999. Disponível em: <<http://www.growingupdigital.com>> Acesso em: 10 fev. 2013.

TAPSCOTT, D. **Growing up digital**: the rise of the net generation. 2005. Disponível em: <http://www.ncsu.edu/meridian/jan98/feat_6/digital.html> Acesso em: 10 set. 2013.

TIPLER, P. A. **Física 1**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

TREVISAN, R.; SERRANO NETO, A. A utilização de ferramentas hiperculturais no ensino de mecânica quântica: investigação do aprendizado de representações, drivers e conceitos quânticos. **RENOTE**, v. 12, n. 2, 2014.

TURNER, W. A.; ELLIS, Glenn W. The energetics of a bouncing ball. **The Physics Teacher**, v. 37, n. 8, p. 496-498, 1999.

TWOMEY, P. et al. Collisions with springs: a useful context for the study of analytical dynamics. **The Physics Teacher**, v. 50, n. 2, p. 83-86, 2012.

VALENTE, J. A. **O computador na sociedade do conhecimento**. Campinas: UNICAMP/NIED, 1999.

VEEN, W.; VRAKING, B. **Homo zappiens**: educando na era digital. Porto Alegre: Artmed, 2009.

VEERMANS, K.; JOOLINGEN, W. V.; DE JONG, T. Use of heuristics to facilitate scientific discovery learning in a simulation, learning environment in a physics domain. **International Journal of Science Education**, v. 28, n. 4, p. 341-361, 2006.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 176-184, jun. 2002.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino: aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002.

VIANA, R. L.; FERNANDES, A. S. Colisões elásticas entre duas esferas: um tratamento intermediário para estudantes de graduação. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 2, 2003.

VILLANI, A.; CABRAL, T. C. B. Mudança conceitual, subjetividade e psicanálise. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto alegre, v.2, n.1, 1997.

VILLANI, A.; ORQUIZA DE CARVALHO, O. L de. Evolución de las representaciones mentales sobre colisiones. **Enseñanza de las Ciencias**, v.15, n. 1, p.91-102, 1997.

VILLANI, A.; ORQUIZA DE CARVALHO, L. Conflictos cognitivos, experimentos cualitativos y actividades didácticas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 13, n.3, p. 279-294, 1995.

VILLANI, A. Reflexões sobre as dificuldades cognitivas dos professores de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.8, n.1, p.7-13, 1991.

VILLANI, A.; PACCA, J.L.A. Spontaneous Reasoning of Graduate Students. **International Journal of Science Education**, v. 12, p. 589-600, 1990a.

VILLANI, A.; PACCA, J.L.A. Conceptos espontáneos sobre colisiones. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, p. 238-243. 1990b

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

WEE, L. K. One-dimensional collision carts computer model and its design ideas for productive experiential learning. **Physics Education**, v. 47 n. 3, p. 301, 2012. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/0031-9120/47/3/301>. Acesso em: 13 set. 2013.

WEE, L. K. One-dimensional collision carts computer model and its design ideas for productive experiential learning. **Physics Education**, v. 47, n. 3, p. 301, 2012.

WEIL-BARAIS, A.; LEMEIGNAN, G. Apprentissage de concepts et modélisation. **European Journal of Psychology of Education**, v. 5, p. 391-437, 1990.

WHITE, N. M. Cognitive enhancement: an everyday event? **International Journal of Psychology**, v. 33, n. 2, p. 95-105, 1998.

WHITELOCK, D, et al. Challenging models of elastic collisions with a computer simulation. **Computers & Education**, Great Britain, v. 20, n.1, p.1-9, 1993.

WILLIAMSON, J. C.; TORRES-ISEA, Ramon O.; KLETZING, Craig A. Analyzing linear and angular momentum conservation in digital videos of puck collisions. **American Journal of Physics**, v. 68, n. 9, p. 841-847, 2000.

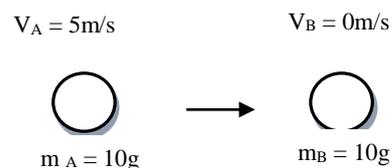
YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I**. São Paulo: Addison Wesley, 2008, v. 4.

ZOU, X. The sandbag collision. **The Physics Teacher**, v. 44, n. 7, p. 448-450, 2006.

e. Energia total.

2) Na situação ao lado, o alvo encontra-se em repouso (Esfera B) e o projétil em movimento (Esfera A), ambos com massas iguais, e que após determinado tempo irão colidir. O que irá acontecer após uma colisão elástica

a. Com as velocidades das duas esferas.



b. Com a energia cinética de cada uma das esferas e a energia cinética total.

c. Com a quantidade de movimento de cada uma das esferas, carros e a total.

3) Diga, com as suas próprias palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é “Conservação da Energia Mecânica”. Para tanto, você poderá utilizar equações, tabelas, gráficos, desenhos e, é claro, texto escrito.

4) Diga, com as suas próprias palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é “Conservação da Quantidade de Movimento”. Para tanto, você poderá utilizar equações, tabelas, gráficos, desenhos e, é claro, texto escrito.

APÊNDICE B – Questionário posterior**INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS - COLETA DE DADOS POSTERIOR****Estudo de simulações computacionais no ensino de colisões**

Nome: _____ Curso: _____ Data: __/__/2013

Para responder as questões abaixo, utilize fórmulas, diagramas, desenhos, gráficos; o que considerar necessário.

1) Ao abandonarmos uma bola de massa igual a 0,5kg de um prédio de 10m, terá uma colisão elástica com o solo, o que irá ocorrer com:

a. A velocidade da esfera

b. Altura da bola

c. Energia cinética

d. Energia potencial gravitacional

2) O carro A encontra-se parado em um cruzamento, esperando a sinaleira abrir, quando o carro B, idêntico ao carro A, ambos com massa de 1000 kg, deslocando-se na mesma direção e sentido, com velocidade de 20m/s, fica sem freio e colide com o carro A. Com relação à situação acima, determine o que irá acontecer após uma colisão elástica com:

a) As velocidades dos dois carros.

b) Energia cinética de cada um dos carros e a energia cinética total.

c) Quantidade de movimento de cada um dos carros e a total.

3) Diga, com as suas próprias palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é “Conservação da Energia Mecânica”. Para tanto, você poderá utilizar equações, tabelas, gráficos, desenhos e, é claro, texto escrito.

4) Diga, com as suas próprias palavras, como se estivesse explicando para um colega, o que é “Conservação da Quantidade de Movimento”. Para tanto, você poderá utilizar equações, tabelas, gráficos, desenhos e, é claro, texto escrito.



APÊNDICE C – Roteiro do primeiro experimento

GUIA PARA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE MODELLUS EM SIMULAÇÕES DE COLISÕES

Nome: _____ Curso: _____ Data: __/__/2013

EXPERIMENTO 1

1. Instruções

Neste primeiro experimento, iremos simular situações que envolvam a queda de uma bola, analisando as variações das energias potencial gravitacional, cinética e mecânica. Todas as grandezas estão expressas em unidades do S.I. Siga os passos abaixo e boa atividade.

1.1 – Procure em sua área de trabalho (desktop), o botão  (Bola_chao). Com o botão esquerdo do mouse dê duplo clique abrindo o programa, obtendo uma tela conforme a figura 1, abaixo à esquerda. Na figura 1, está contida a explicação das principais ferramentas que serão utilizadas durante esta simulação.

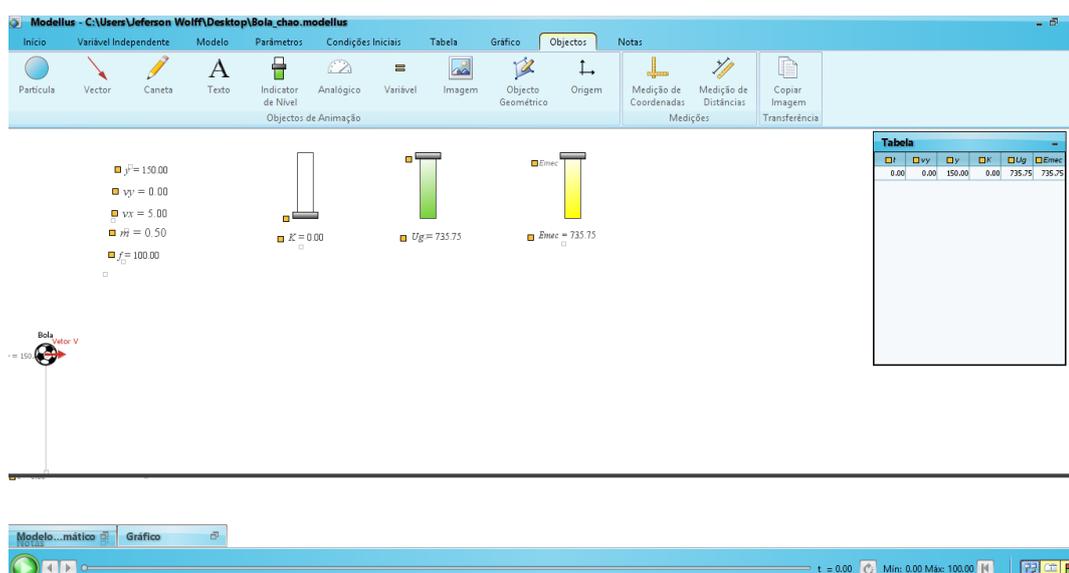


Figura 1

1.2 – Na figura 2 está representada a aba dos “Parâmetros”, os quais são valores que permanecem constantes durante toda a simulação, mas que você pode alterar antes de

iniciarmos a simulação. Para isso, basta você clicar sobre a aba “Parâmetros” e modificar o parâmetro desejado. Os parâmetros para esta simulação são:

g = aceleração gravitacional (m/s^2);

f = fator de conservação de energia, em que o valor 100 significa conservação de toda energia mecânica.

V_x = velocidade da bola na horizontal (m/s);

m = massa da bola (kg)

y_0 = altura inicial (m);

	Início	Variável Independente	Modelo	Parâmetros	Condições Iniciais	Tabela	Gráfico	Objectos	Notas
$g =$	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	<input type="checkbox"/> Iguais
$f =$	100.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	<input type="checkbox"/> Iguais
$v_x =$	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	<input type="checkbox"/> Iguais

Parâmetros

Figura 2

1.3 – Na aba “Condições iniciais”, temos três grandezas que podemos modificar o valor inicial. São elas:

v_y = velocidade inicial (m/s) (positivo para cima; negativo para baixo);

y = altura inicial (m);

x = posição inicial na horizontal (m).

2. Atividade

Nesta atividade iremos utilizar a técnica descrita como P.O.E. (Predizer-Observar-Explicar).

Esta técnica consiste em fazer com que você tente prever o que irá ocorrer antes da simulação e registre. Em seguida, você efetua a simulação, observando o que acontece também registrando. Finalmente, compara o que você esperava que fosse acontecer com o que foi simulado, tentando explicar diferenças entre o observado e o previsto, caso existam diferenças. Siga esta técnica, para aproveitar melhor o resultado do seu trabalho. Não tente simular o comportamento antes de ter refletido sobre o que irá acontecer e ter registrado neste guia a sua previsão. Isso irá apenas fazer com que você não aproveite totalmente os benefícios da atividade didática.

Para responder os itens abaixo, utilize quaisquer fórmulas ou conceitos e se desejar desenhe nos retângulos a representação.

2.1 – Nesta simulação uma bolinha, de 0.5kg é abandonada horizontalmente de uma altura de 150m e fica colidindo com o chão, de maneira perfeitamente elástica.

2.1.1) **Previsão:** O que você acha que irá acontecer durante a queda e a subida, com relação:

Utilize quaisquer fórmulas ou conceitos que desejar para responder e desenhe no retângulo.



- a) A trajetória da bolinha: _____
- b) Energia cinética: _____
- c) Energia potencial gravitacional: _____
- d) Energia mecânica: _____

Prediga o que irá acontecer durante a colisão com:

- a) Energia cinética: _____
- b) Energia potencial gravitacional: _____
- c) Energia mecânica: _____
- d) Alguma delas se conserva: _____

2.1.2) – **Verificação:** Para essa simulação verifique se:

Parâmetros				Condições Iniciais			
g	f	vx	m	yo	vy	y	x
9.81	100.00	10.00	0.50	150.00	0.00	150.00	100.00

Clique no botão  da janela de controle e descreva o que aconteceu durante a subida e descida com:

- a) A trajetória da bolinha: _____
- b) Energia cinética: _____
- c) Energia potencial gravitacional: _____
- d) Energia mecânica: _____

O que irá acontecer durante a colisão com:

- a) Energia cinética: _____
- b) Energia potencial gravitacional: _____
- c) Energia mecânica: _____
- d) Alguma energia se conserva? _____

2.1.3) – **Comparação:** O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

2.2 – Considere as mesmas condições iniciais da atividade 2.1, modificando apenas a massa para 2 kg.

2.2.1) **Previsão:** O que você acha que irá acontecer durante a queda e a subida, com relação?

- a) À trajetória da bolinha: _____
- b) Energia cinética: _____
- c) Energia potencial gravitacional: _____
- d) Energia mecânica: _____



Prediga o que irá acontecer durante a colisão.

- a) Energia cinética: _____
- b) Energia potencial gravitacional: _____
- c) Energia mecânica: _____

d) Alguma delas se conserva? _____

2.2.2) **Verificação:** Na aba “Parâmetros” modifique apenas o valor da massa para 2 kg.

Execute a simulação e verifique o que irá ocorrer com:

a) A trajetória da bolinha? _____

b) Energia cinética? _____

c) Energia potencial gravitacional? _____

d) Energia mecânica? _____



2.2.3) **Comparação:** O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

2.3- Nesta simulação uma bolinha, de 0.5kg é jogada para baixo horizontalmente de uma altura de 150m e fica colidindo com o chão, de maneira perfeitamente elástica. A velocidade de lançamento será de -10m/s

2.3.1) **Previsão:** O que você acha que irá acontecer durante a queda e a subida, com relação?

Utilize quaisquer fórmulas ou conceitos que desejar para responder e desenhe no retângulo.

a) A trajetória da bolinha: _____

b) Energia cinética: _____



c) Energia potencial gravitacional: _____

d) Energia mecânica: _____

Prediga o que irá acontecer durante a colisão com:

a) Energia cinética: _____

b) Energia potencial gravitacional: _____

c) Energia mecânica: _____

d) Alguma delas se conserva? _____

2.3.2) – **Verificação:** Para essa simulação verifique se:

Parâmetros				Condições Iniciais			
g	f	vx	m	yo	vy	y	x
9.81	100.00	10.00	0.50	150.00	-20.00	150.00	100.00

Clique no botão  da janela de controle e descreva o que aconteceu durante a subida e descida com:

a) A trajetória da bolinha: _____

b) Energia cinética: _____

c) Energia potencial gravitacional: _____

d) Energia mecânica: _____

O que irá acontecer durante a colisão com:

a) Energia cinética: _____

b) Energia potencial gravitacional: _____

c) Energia mecânica: _____

d) Alguma energia se conserva? _____

2.3.3) **Comparação:** O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

2.4 – *Nesta simulação uma bolinha, de 0.5kg é abandonada horizontalmente de uma altura de 150m e fica colidindo com o chão, de maneira inelástica. Para essa situação vamos considerar que há uma conservação de 90% da energia ($f = 90$)*

2.4.1) **Previsão:** O que você acha que irá acontecer durante a queda e a subida, com relação?

Utilize quaisquer fórmulas ou conceitos que desejar para responder e desenhe no retângulo.



a) A trajetória da bolinha: _____

b) Energia cinética: _____

c) Energia potencial gravitacional: _____

d) Energia mecânica: _____

Prediga o que irá acontecer durante a colisão com:

a) Energia cinética: _____

b) Energia potencial gravitacional: _____

c) Energia mecânica: _____

d) Alguma delas se conserva: _____

2.4.2) – **Verificação:** Para essa simulação verifique se:

Parâmetros

Condições Iniciais

g	f	vx	m	yo	vy	y	x
9.81	90.00	10.00	0.50	150.00	0.00	150.00	100.00

Clique no botão  da janela de controle e descreva o que aconteceu durante a subida e descida com:

- a) A trajetória da bolinha: _____
- b) Energia cinética: _____
- c) Energia potencial gravitacional: _____
- d) Energia mecânica: _____



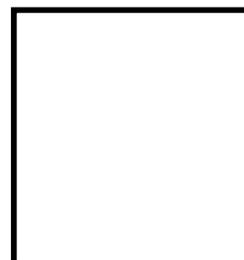
O que irá acontecer durante a colisão com:

- a) Energia cinética: _____
- b) Energia potencial gravitacional: _____
- c) Energia mecânica: _____
- d) Alguma energia se conserva? _____

2.4.3) **Comparação:** O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

2.5 *Nesta simulação uma bolinha, de 0.5kg é abandonada horizontalmente de uma altura de 150m e fica colidindo com o chão, de maneira superelástica. Para essa situação vamos considerar que há uma conservação de 110% da energia ($f = 110$)*

2.5.1) **Previsão:** O que você acha que irá acontecer durante a queda e a



subida, com relação? Utilize quaisquer fórmulas ou conceitos que desejar para responder e desenhe no retângulo.

- a) A trajetória da bolinha: _____
- b) Energia cinética: _____
- c) Energia potencial gravitacional: _____
- d) Energia mecânica: _____

Prediga o que irá acontecer durante a colisão com:

- a) Energia cinética: _____
- b) Energia potencial gravitacional: _____
- c) Energia mecânica: _____
- d) Alguma delas se conserva: _____

2.5.2) – **Verificação:** Para essa simulação verifique se:

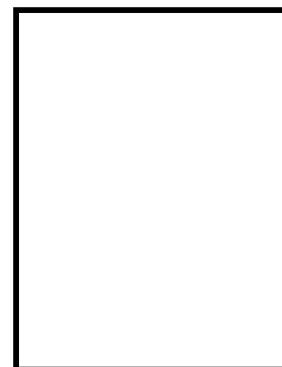
Parâmetros

Condições Iniciais

g	f	vx	m	yo	vy	y	x
9.81	110.00	10.00	0.50	150.00	0.00	150.00	100.00

Clique no botão  da janela de controle e descreva o que aconteceu durante a subida e descida com:

- a) A trajetória da bolinha: _____
- b) Energia cinética: _____
- c) Energia potencial gravitacional: _____
- d) Energia mecânica: _____



O que irá acontecer durante a colisão com:

a) Energia cinética: _____

b) Energia potencial gravitacional: _____

c) Energia mecânica: _____

d) Alguma energia se conserva? _____

2.5.3) – **Comparação:** O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

APÊNCICE D -Roteiro do segundo experimento



GUIA PARA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE MODELLUS EM SIMULAÇÕES DE COLISÕES

Nome: _____

Curso: _____ Data: __/__/2013

EXPERIMENTO 2

Simulando colisões entre duas esferas

1. Instruções

Nesta atividade você estará simulando, em diferentes situações, a colisão entre duas esferas. A esfera verde será o corpo de massa m_1 (projétil) e a esfera vermelha de massa m_2 será o alvo. Acompanhando o desenvolvimento das atividades através do guia, simule cada uma das etapas e registre suas ideias e observações. Todas as grandezas estão expressas em unidades do S.I. Siga os passos abaixo e boa atividade.

1.1 – Procure em sua área de trabalho (desktop), o botão  (colisao). Com o botão esquerdo do mouse dê duplo clique abrindo o programa, obtendo uma tela conforme a figura 1, abaixo à esquerda.

The screenshot displays the Modellus software interface with the following data:

Grandeza	Valor
ENERGIA CINÉTICA DINO (E_{c1})	100.00
ENERGIA CINÉTICA CARRO 2 (E_{c2})	0.00
ENERGIA CINÉTICA TOTAL (E_{ctotal})	100.00
QUANTIDADE DE MOVIMENTO TOTAL	20.00
QUANTIDADE DE MOVIMENTO DINO	20.00
QUANTIDADE DE MOVIMENTO CARRO	0.00
Velocidade inicial DINO (v_{o1})	10.00
Velocidade final DINO (v_{1final})	0.00
Velocidade inicial CARRO (v_{o2})	0.00
Velocidade final CARRO (v_{2final})	10.00

The interface also shows a simulation area with a green sphere (DINO) and a red sphere (CARRO 2) on a horizontal surface. The DINO is moving to the right, and the CARRO 2 is stationary. The time $t = 0.00$ is displayed at the bottom.

1.2.– Na figura 2, está representada a aba dos “Parâmetros”, os quais são valores que permanecem constantes durante toda a simulação, mas que você pode alterar antes de iniciarmos a simulação. Para isso, basta você clicar sobre a aba “Parâmetros” e modificar o parâmetro desejado. Os parâmetros para esta simulação são:

d = distância entre as duas esferas (m);

v_{01} = velocidade inicial da esfera verde (m/s);

v_{02} = velocidade inicial da esfera vermelha(m/s);

m_1 = massa da esfera verde (kg);

m_2 = massa da esfera vermelha (kg);

f = fator de conservação de energia, em que o valor 100 significa conservação de toda energia mecânica.

Início	Variável Independente	Modelo	Parâmetros	Condições Iniciais	Tabela	Gráfico	Objectos	Notas
$d =$	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Iguais
$v_{01} =$	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Iguais
$v_{02} =$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Iguais

Parâmetros

2. Atividade

Nesta atividade iremos utilizar a técnica descrita como P.O.E. (Predizer-Observar-Explicar). Esta técnica consiste em fazer com que você, tente prever o que irá ocorrer antes da simulação e registre. Em seguida, você efetua a simulação, observando o que acontece e também registrando. Finalmente, compara o que você esperava que fosse acontecer com o que foi simulado, tentando explicar diferenças entre o observado e o previsto, caso existam diferenças. Siga esta técnica, para aproveitar melhor o resultado do seu trabalho. Não tente simular o comportamento antes de ter refletido sobre o que irá acontecer e ter registrado neste guia a sua previsão. Isso irá apenas fazer com que você não aproveite totalmente os benefícios da atividade didática.

Para responder os itens abaixo, utilize quaisquer fórmulas ou conceitos e se desejar desenhe nos retângulos a representação.

2.1.– Para essa atividade, vamos considerar duas esferas possuem a mesma massa, em que a esfera verde desloca-se para a esquerda com velocidade 10m/s, distante 100 m da esfera vermelha que encontra-se em repouso. Considere que a colisão seja perfeitamente elástica.

2.1.1) Previsão: Com relação às condições iniciais, o que você acha que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____

2.1.2) Verificação: Considere os parâmetros abaixo e verifique o que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

Parâmetros

d	v01	v02	m1	m2	f
100	10	0	2	2	100

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____

2.1.3) Comparação: O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

2.2.– *Para essa atividade, vamos considerar duas esferas possuem a mesma massa, em que a esfera verde desloca-se para a esquerda com velocidade 10m/s, distante 100 m da esfera vermelha que encontra-se em repouso. Considere para essa situação como inelástica, com conservação de 80% da energia do sistema.*

2.2.1) Previsão: Com relação às condições iniciais, o que você acha que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

--

g) Movimento das duas esferas: _____

2.2.2) Verificação: Considere os parâmetros abaixo e verifique o que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

Parâmetros

d	v01	v02	m1	m2	f
100	10	0	2	2	80

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____

--

2.2.3) Comparação: O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em

alguma coisa? Por quê?

2.3.– *Para essa atividade, vamos considerar duas esferas possuem a mesma massa, em que a esfera verde desloca-se para a esquerda com velocidade 10m/s, distante 100 m da esfera vermelha que encontra-se em repouso. Considere para essa situação com colisão perfeitamente inelástica, ou seja, com o mínimo de conservação de energia mecânica.*

2.3.1) Previsão: Com relação às condições iniciais o que você acha que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____

2.3.2) Verificação: Considere os parâmetros abaixo e verifique o que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

Parâmetros

d	v01	v02	m1	m2	f
100	10	0	2	2	50

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____

2.2.3) Comparação: O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

2.4.– Para essa atividade, vamos considerar duas esferas possuem a mesma massa, em que a esfera verde desloca-se para a esquerda com velocidade 10m/s, distante 100 m da esfera vermelha que encontra-se em repouso. Considere para essa situação com colisão superelástica, ou seja, com ganho de energia.

2.4.1) Previsão: Com relação às condições iniciais, o que você acha que irá

ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____

2.4.2) Verificação: Considere os parâmetros abaixo e verifique o que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

Parâmetros

d	v01	v02	m1	m2	f
100	10	0	2	2	120

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____



2.4.3) Comparação: O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

2.5 – Para essa atividade, vamos considerar duas esferas possuem a mesma massa, em que a esfera verde desloca-se para a esquerda com velocidade 10m/s, distante 100 m da esfera vermelha que encontra-se em repouso. Considere para essa situação não há conservação da quantidade de movimento.

2.5.1) Previsão: Com relação às condições iniciais, o que você acha que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____



2.5.2) Verificação: Considere os parâmetros abaixo e verifique o que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

Parâmetros

d	v01	v02	m1	m2	f
100	10	0	2	2	40

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____



2.5.3) Comparação: O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

2.6– Para essa situação vamos considerar que a esfera verde possui velocidade de 10m/s e a esfera vermelha encontra-se em repouso. O que irá ocorrer quando começarmos a aumentar a massa da esfera verde (m_1), mantendo da esfera vermelha constante. Considere para essa situação como colisão perfeitamente elástica.

2.6.1) Previsão: Com relação às condições iniciais, o que você acha que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação:

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____

2.6.2) Verificação: Considere os parâmetros abaixo e verifique o que irá ocorrer com as duas esferas, após a colisão, com relação: Para essa situação realize diversas simulações aumentando a massa da esfera 1, aumentando da seguinte forma: 2kg, 4kg 8kg, 16kg.

Parâmetros

d	v01	v02	m1	m2	f
100	10	0	Modifi cando	2	100

a) Quantidade de movimento da esfera verde: _____

b) Quantidade de movimento da esfera vermelha: _____

c) Quantidade de total: _____

d) Energia Cinética da esfera verde: _____

e) Energia Cinética da esfera vermelha: _____

f) Energia total: _____

g) Movimento das duas esferas: _____

2.6.3) Comparação: O que você previu e o que aconteceu na simulação, diferiram em alguma coisa? Por quê?

APÊNDICE E – Código de classificação dos principais gestos utilizados

1. OC – Objeto caindo. Movimento da mão (direita ou esquerda) indicando a queda de um objeto.
2. OS – Objeto subindo. Movimento da mão (esquerda ou direita) indicando o movimento de subida de um objeto.
3. OCS – Objeto caindo e subindo. Realiza movimento com as mãos indicando movimento de subida e descida, sem estar preocupado com altura de retorno, mas colidindo, quicando no solo.
4. AO – Abandono de objeto. Movimento com a mão indicando o abandono de um objeto que irá cair em queda livre. Soltando o objeto em queda livre.
5. MRA – Movimento indicativo de redução altura após colisão. Movimento com a mão indicando movimento de descida, colisão com o solo e retorno a uma altura inferior que a de lançamento, sem deslocamento na horizontal.
6. MMA – Movimento indicativo de manutenção da altura após a colisão. Movimento com a mão indicando o movimento de descida, colisão com o solo e retorno na mesma altura em que o corpo foi abandonando, sem deslocamento na horizontal.
7. MQP – Movimento de queda do corpo que fica parado. Movimento com as mãos indicando queda do corpo que após a colisão ficará parado no solo.
8. IA – Indicação de altura. Gesto indicando altura do objeto.
9. BEA – Barras de energia Alterando. Com as mãos, indica a variação dos níveis de energia nas barras, onde uma mão indica energia cinética e a outra a energia potencial gravitacional.
10. BEE – Barras de energia estática. Com a mão fixa, indicando o nível de energia da barra de variação ou semelhante conforme contexto.
11. RO – Representação do formato do objeto. Com as mãos, busca representar o formato do objeto que está sendo descrito.
12. IC – Indicação de Colisão. Gesto com as duas mãos indicando a colisão.
13. CFJ – Colisão frontal na horizontal e permanecem juntos. As duas mãos deslocando-se em sentidos opostos, representando dos objetos (móveis) que colidem frontalmente e após a colisão permanecem juntos.
14. CFS – Colisão frontal na horizontal e separam após a colisão. As duas mãos deslocando-se em sentidos opostos, representando os objetos (móveis) que colidem frontalmente e após a colisão permanecem deslocam-se em sentidos opostos, onde a mão (esquerda), que se deslocava no sentido da esquerda para a direita, passa a se deslocar no sentido da direita para esquerda. A mão direita realiza o movimento no sentido contrário.