

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

EFEITO FOTOELÉTRICO NA PRODUÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO DA LUZ: INVESTIGAÇÃO DO USO
DE UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE
FÍSICA EM CURSOS DE ENGENHARIA

MARI AURORA FAVERO REIS



Canoas, 2019

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

PRÓ-REITORIA ACADÊMICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



MARI AURORA FAVERO REIS

EFEITO FOTOELÉTRICO NA PRODUÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DA LUZ:
Investigação do uso de uma proposta didática para o ensino de física em cursos de Engenharia

Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil para obtenção do título de doutora em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto

Canoas, 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

R375e Reis, Mari Aurora Favero.

Efeito fotoelétrico na produção e transformação da luz: investigação
do uso de uma

proposta didática para o ensino de física em cursos de Engenharia /
Mari Aurora Favero Reis. – 2019.

177 f.: il.

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARI AURORA FAVERO REIS

Efeito fotoelétrico na produção e transformação da luz: Investigação do uso de uma proposta didática para o ensino de Física em cursos de Engenharia

Linha de pesquisa: Tecnologias de Informação e Comunicação para o Ensino de Ciências e Matemática (TIC).

Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil para obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências e Matemática.

Data de Aprovação: 10/04/2019

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto
Universidade Luterana do Brasil (ULBRA)

Prof. Dr. Nestor Cortez Saavedra Filho
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UFTPR)

Prof. Dra. Liane Mählmann Kipper
Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

Prof. Dra. Tania Renata Prochnow
Universidade Luterana do Brasil (ULBRA)

Prof. Dra. Marlise Geller
Universidade Luterana do Brasil (ULBRA)

*AO MEU AMADO ESPOSO, PAULO,
E NOSSO FILHO GABRIEL.*

AGRADECIMENTOS

Ao concluir este trabalho o sentimento recorrente é de imensa gratidão! Gratidão!

Gratidão a todos que de alguma forma contribuíram de modo cognitivo, social ou espiritual nos processos de expansão ao longo desses quatro anos. Ao criador, ao proporcionar condições físicas e emocionais para lidar com os desafios, recorrendo a *insights* nos momentos mais significativos.

Gratidão à família, que compreendeu minha ausência nesses quatro anos. Meu esposo Paulo e nosso filho, amor que me fortalece. Ao Gabriel, filho, na minha ausência você cresceu, evoluiu e, enquanto isso, transformou-se num ser amável e feliz. E, ao Gabriel atleta, faço uso de palavras da música de Jason Mraz: *“Filho, você irá longe na vida. Se fizer isso certo, amarás o lugar onde estás. Apenas saiba, onde quer que vá, você pode sempre voltar para casa.”*

Gratidão ao professor Dr. Agostinho Serrano, um ser dotado de inteligência, por acreditar em mim oportunizando conhecimento, autoconfiança, paciência e liberdade no caminhar de pesquisadora.

Gratidão aos professores pela contribuição ao processo de transformação, com conhecimentos transcenderam a sala de aula: Aprendi que Química vai além dos laboratórios, está na natureza, nos alimentos, inclusive, nas panelas; para um ser sustentável, passar roupas é coisa do passado; a tecnologia é o sucesso para a produção científica. E aos colegas por trocas valiosas na mediação social.

Gratidão aos professores da banca, Dr. Nestor Cortez Saavedra Filho; Dra. Liane Mählmann Kipper; Dra. Tania Renata Prochnow e Dra. Marlise Geller, sou grata às contribuições preciosas na transformação deste trabalho.

Gratidão aos colegas e estudantes da Universidade do Contestado (UnC), que me oportunizaram perpassar com a temática entre ensino, pesquisa e extensão na Engenharia.

Gratidão quanto à contribuição financeira da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e da coordenação do PPGECIM.

RESUMO

Efeito fotoelétrico é temática importante para o ensino da Física Moderna e Contemporânea, frequentemente citado como “quantum de luz” ou “fóton”. Na Engenharia, o tema permite contextualizar o ensino da Física em aplicações tecnológicas associadas à emissão e transformação da luz em diferentes contextos no uso de semicondutores. As atividades de pesquisa e construção dos recursos para a tese tiveram início em 2015, ano marcado por eventos da história da ciência, nas celebrações do Ano Internacional da luz (AIL), em homenagens aos 110 anos da pesquisa de Albert Einstein sobre efeito fotoelétrico. O evento teve como destaque a importância da luz para a vida dos seres humanos, com foco na iluminação artificial e tecnologias na gestão e sustentabilidade energética. À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, articulada à Teoria da Mediação Cognitiva de Souza, a fundamentação teórica utilizada na pesquisa de tese buscou identificar os processos de mediação cognitiva, responsáveis por aprendizagem significativa, quando estudantes de Engenharia são submetidos a uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) estruturada na tríade historicidade, conceito e contexto na temática de efeito fotoelétrico. A elaboração, aplicação e avaliação ocorreram em três intervenções: experimentos piloto com uso de simulação computacional; experimento piloto com uso de laboratório real e um experimento completo. O experimento completo com uso da UEPS, construída em sequência didática com o uso de simulações computacionais, laboratório real, atividades teóricas e entrevista, relacionando historicidade, conceitos e contexto em tecnologia fotovoltaica na transformação da luz em eletricidade. A análise dos dados coletados a partir das intervenções proporcionou a construção de universais concretos e abstratos sobre os processos de mediação utilizados por estudantes na aprendizagem dos conceitos para o ensino da temática efeito fotoelétrico. Os resultados dessa análise mostraram que após o uso era possível constatar que os estudantes relacionam corretamente o efeito fotoelétrico à frequência da radiação incidente e não à intensidade da luz. Também, faziam uso de mediação psicofísica ao relacionar corretamente a intensidade, frequência e corrente elétrica e a mediação hipercultural ao relacionar a frequência com o modelo microscópico da luz. O ensino por meio de UEPS construída com a tríade historicidade, conceito e contexto demonstrou ser eficiente para uso de diferentes processos de mediação cognitiva na aprendizagem dos conceitos em efeito fotoelétrico. A aplicação da metodologia didática no contexto de cursos de Engenharia contribuiu na integração entre ensino, pesquisa e extensão junto à comunidade. A pesquisa indica que cada estudante aprende de modo diferente, podendo fazer uso de mais de um processo de mediação na construção de uma representação conceitual. Há indícios, também, que o uso da UEPS proporcionou mudança no modelo mental nos estudantes da visão clássica para a visão quântica, na representação da luz.

Palavras-chave: Efeito fotoelétrico; Historicidade; Simulações Computacionais; Tecnologia Fotovoltaica; Ensino de Física.

ABSTRACT

Photoelectric effect is an important thematic for the teaching of Modern and Contemporary Physics, frequently cited as "light quantum" or "photon". In the Engineering the theme allows to contextualize the teaching of physics in technological applications associated to the emission and transformation of light in different contexts in the use of semiconductors. The research and construction of the resources for the thesis began in 2015, a year marked by events in the history of science, at the celebrations of the International Year of Light (AIL), in homage to the 110 years of Albert Einstein's photoelectric effect research. The event highlighted the importance of light for the life of human beings, focusing on artificial lighting and technologies in management and energy sustainability. In the light of Ausubel's Significant Learning Theory, articulated to Souza's Theory of Cognitive Mediation, the theoretical foundation used in the thesis research sought to identify the processes of cognitive mediation, responsible for meaningful learning, when Engineering students are submitted to a Potentially Significant Teaching (UEPS) structured in the triad historicity, concept and context in the thematic of photoelectric effect. The elaboration, application and evaluation occurred in three interventions: pilot experiments using computational simulation; pilot experiment with laboratory real use and a complete experiment. The complete experiment with the use of UEPS, built in didactic sequence with the use of computational simulations, real laboratory, theoretical activities and interview, relating historicity, concepts and context in photovoltaic technology in the transformation of light in electricity. The analysis of the data collected from the interventions provided the construction of concrete and abstract universals on the processes of mediation used by students in the learning of the concepts for teaching the thematic photoelectric effect. The results of this analysis showed that after use it was possible to verify that the students correctly relate the photoelectric effect to the frequency of incident radiation and not to the intensity of light. Also, they used psychophysical mediation to correctly relate intensity, frequency and electric current and hypercultural mediation by relating the frequency to the microscope model of light. The teaching by means of LPSU built with the triad historicity, concept and context has proved to be efficient to use different processes of cognitive mediation in the learning of concepts in photoelectric effect. The application of didactic methodology in the context of Engineering courses contributed to the integration between teaching, research and extension to the community. The research indicates that each student learns differently, being able to make use of more than one process of mediation in the construction of a conceptual representation. There is also evidence that the use of the LIFO provided a change in the mental model of the students from the classical view to the quantum view, in the representation of light.

Keywords: Photoelectric effect; Historicity; Computational Simulations; Photovoltaic technology; Teaching Physics.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Classificação das pesquisas em efeito fotoelétrico, em razão do período de publicação e localização geográfica.....	52
Gráfico 2 –	Respostas dos estudantes quando questionados no pré-teste e pós-teste sobre a influência da intensidade da luz no efeito fotoelétrico	106
Gráfico 3 –	Respostas dos estudantes quando questionados no pré-teste e pós-teste sobre a frequência da luz no efeito fotoelétrico	108
Gráfico 4 –	Resultado da questão 3 dos instrumentos de coleta de dados	110
Gráfico 5 –	Respostas dos estudantes ao responder à questão 6 nos instrumentos de pré-teste e pós-testes	111
Gráfico 6 –	Modelo utilizado por estudantes de engenharia ao representar a luz.....	114
Gráfico 7 –	Respostas apresentadas por estudantes de engenharia ao responder os instrumentos de coleta de dados	130
Gráfico 8 –	Processos de mediação quando os estudantes respondem sobre o uso da UEPS: à esquerda o número de estudantes que apresentam 0, 1, 2, 3 ou 4 processos de mediação e à direita o número de estudantes em cada processo.....	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Trabalhos publicados em periódicos, referentes à historicidade em efeito fotoelétrico	30
Quadro 2 –	Questão referente à intensidade da luz.....	105
Quadro 3 –	Respostas dos estudantes ao justificar a escolha da resposta A, sem haver evidência de algum mecanismo de mediação na construção do conceito intensidade.....	106
Quadro 4 –	Questão que investigava a frequência luminosa no efeito fotoelétrico....	108
Quadro 5 –	Questão 3 apresentada nos instrumentos pré-testes e pós-testes	110
Quadro 6 –	Questão 06 utilizada nos instrumentos de coleta de dados	111
Quadro 7 –	Questão que investigava a concepção da luz em efeito fotoelétrico.....	112
Quadro 8 –	Respostas dos estudantes na entrevista que justificam a escolha da resposta A com alguma evidência de ter ocorrido mediação psicofísica para o conceito intensidade	116
Quadro 9 –	Linguagem verbal de estudantes que evidenciam mediação hipercultural	118
Quadro 10 –	Atividade desenvolvida no experimento computacional 3, no guia do estudante E15	119
Quadro 11 –	Estudantes que demonstraram ter ocorrido mediação psicofísica	121
Quadro 12 –	Registros do guia utilizado pelo estudante E2 na atividade de laboratório real	122
Quadro 13 –	Alguma evidência de mediação hipercultural	123
Quadro 14 –	Exemplos de estudantes que representaram mediação psicofísica.....	124
Quadro 15 –	Estudantes que apresentam Mediação hipercultural na representação da luz.....	125
Quadro 16 –	Questão que investigava a historicidade em efeito fotoelétrico.....	129
Quadro 17 –	Resposta da questão sobre historicidade do pós-teste da estudante E5 ...	130
Quadro 18 –	Resposta da questão sobre historicidade do pós-teste da estudante E14 .	131
Quadro 19 –	Evidências no processo de mediação cultural nos estudantes entrevistados sobre a historicidade	131
Quadro 20 –	Estudantes que apresentavam dois ou mais tipos de mediação durante a entrevista, quando opinavam sobre o uso da UEPS no ensino do efeito fotoelétrico	134

Quadro 21 – Resposta da estudante E13 na última questão do guia de laboratório real.....	137
---	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema demonstrativo do fóton ao atingir uma célula de silício sem a dopagem (esquerda) e dopado com a presença do fósforo (Tipo-n) e do boro (tipo-p).....	51
Figura 2 – Processo de assimilação de conceitos na aprendizagem significativa	61
Figura 3 – Construção do novo significado, na assimilação de uma nova ideia, conforme Ausubel e Novak	61
Figura 4 – Evolução das formas de mediação	67
Figura 5 – Relação comparativa entre as teorias.	73
Figura 6 – Etapas metodológicas da pesquisa	78
Figura 7 – Montagem do experimento fotovoltaico com iluminação artificial (esquerda) e solar (direita)	85
Figura 8 – Lâmpadas utilizadas no experimento final.....	87
Figura 9 – Esquema ilustrativo sobre a ligação entre os elementos no delineamento metodológico.	93
Figura 10 – Esquema do experimento (à esquerda) e amostra das lâmpadas utilizadas durante os experimentos	95
Figura 11 – Ferramenta do editor de texto utilizada na classificação da mediação na transcrição das entrevistas	100
Figura 12 – Relato de imagem, com sequência de gestos, observados na estudante E16....	107
Figura 13 – Modelo não verbal, com uso de uma sequência de gestos ao explicar a segunda questão	109
Figura 14 – Modelos de representação da luz observado em estudantes na Turquia.....	113
Figura 15 – Modelo de representação da luz desenhado pelos estudantes nos instrumentos de coleta de dados	113
Figura 16 – Gesto não verbal de evidências da mediação psicofísica, associadas a experimento real realizado no laboratório	116
Figura 17 – Linguagem não verbal com uma sequência de gestos observada no estudante E18, ao demonstrar que a intensidade não influencia na energia dos elétrons emitidos	117
Figura 18 – Sequência de gestos realizados pelo estudante E15, evidenciando mediação hipercultural.....	118

Figura 19 – Linguagem gestual da estudante E12, referente à aproximação da luz nas atividades de laboratório	120
Figura 20 – Representação não verbal da possível mediação cultural	120
Figura 21 – Gestos de E2 com representação psicofísica.....	122
Figura 22 – Sequência de gestos do estudante E8 evidenciando a mediação hipercultural .	123
Figura 23 – Linguagem não verbal de E5 evidenciando mediação psicofísica.....	125
Figura 24 – Desenho da estudante E12 sobre luz, em diferentes etapas da UEPS.....	126
Figura 25 – Sequência de gestos observados na estudante E12 durante a entrevista	127
Figura 26 – Sequência de gestos da estudante E11, ao explicar o modelo da luz.....	127
Figura 27 – Representação da estudante E11 sobre a luz no efeito fotoelétrico, em diferentes etapas da UEPS	128
Figura 28 – Estudante E7 contextualizando as mediações psicofísica, hipercultural e cultural durante a entrevista.....	136
Figura 29 – Atividade diurna realizada no projeto de extensão	142
Figura 30 – Experimentos realizados na oficina oferta na modalidade extensão nas escolas de Concórdia.	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Apresentação das simulações buscadas na web.....	79
Tabela 2 – Seleção das simulações computacionais para efeito fotoelétrico com uso de critérios predefinidos	83
Tabela 3 – Etapas de intervenção junto aos estudantes em cada experimento.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIL	Ano Internacional da Luz
EF	Efeito Fotoelétrico
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TIC	Tecnologia da Informação e da Comunicação
TMC	Teoria da Mediação Cognitiva
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 PERGUNTA DE PESQUISA	23
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	24
2 REVISÃO DE LITERATURA EM EFEITO FOTOELÉTRICO.....	27
2.1 METODOLOGIA UTILIZADA NA ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES	28
2.2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA PARA O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO.....	29
2.3 APRENDIZAGEM DE CONCEITOS EM EFEITO FOTOELÉTRICO	36
2.4 SOBRE O USO DE MATERIAIS DIDÁTICOS EM EFEITO FOTOELÉTRICO.....	41
2.4.1 Uso de simulações computacionais em efeito fotoelétrico	41
2.4.2 Aplicações de contexto para uso de laboratório didático em efeito fotoelétrico	44
2.5 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE AS BUSCAS REALIZADAS.....	52
3 REFERENCIAL TEÓRICO	55
3.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA – TAS	56
3.1.1 Assimilação de matérias abstratas	60
3.1.2 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa	62
3.1.3 Tecnologias computacionais na aprendizagem significativa de conceitos.....	63
3.2 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA – TMC	65
3.2.1 Impacto da Tecnologia da Informação e da Comunicação.....	65
3.2.2 A Mediação Digital e a hipercultura.....	67
3.2.3 Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) e Teoria da Mediação Cognitiva em Redes (TMCR)	69
3.2.4 Mecanismos internos de mediação – Drivers.....	71
3.3 RELAÇÃO ENTRE AS TEORIAS	72
4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO	76
4.1 DELINEAMENTO METODOLÓGICO.....	77
4.2 DEFINIÇÃO DO EXPERIMENTO COMPUTACIONAL.....	78
4.2.1 Simulações computacionais para ensino do efeito fotoelétrico.....	78
4.2.2 Validação do experimento computacional	84
4.3 DEFINIÇÃO DO EXPERIMENTO DE LABORATÓRIO REAL	84
4.3.1 Descrição e montagem do experimento	85
4.3.2 Validação do experimento real.....	86
4.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS UTILIZADOS NA UEPS	87
4.4.1 Caracterização dos instrumentos utilizados como pré-teste e pós-teste.....	88
4.4.2 Elaboração do guia para laboratório computacional.....	89
4.4.3 Instrumento guiar para as atividades em laboratório real.....	90
4.5 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA	91
4.5.1 Delineamento das etapas da UEPS para o experimento definitivo	93
Problematização Final.....	94
4.6 METODOLOGIA NA COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	98
4.6.1 Metodologia utilizada na realização das entrevistas	98
4.6.2 Metodologia utilizada na análise das entrevistas.....	99
5 RESULTADOS DO EXPERIMENTO COM A UEPS.....	102

5.1 EVOLUÇÃO NOS ACERTOS DE RESPOSTAS ENTRE PRÉ-TESTES E PÓS-TESTES	103
5.1.1 A maioria dos estudantes responde que energia das partículas independe da intensidade da Luz	104
5.1.2 A energia das partículas emitidas no efeito fotoelétrico depende da frequência da luz	107
5.1.3 Influência da intensidade e frequência sobre a corrente em efeito fotoelétrico.....	109
5.1.4 Modelo mental dos estudantes sobre a luz no efeito fotoelétrico	112
5.2 PROCESSOS DE MEDIAÇÃO OBSERVADOS NOS CONCEITOS	115
5.2.1 Evidências de mediação psicofísica para o conceito de intensidade	115
5.2.2 Evidências de mediação psicofísica e hipercultural na frequência da luz.....	121
5.2.3 Evidências da mediação psicofísica na corrente em efeito fotoelétrico	124
5.2.4 Evidências da mediação hipercultural para o modelo microscópico da luz	125
5.3 IMPORTÂNCIA DA UEPS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA TEMÁTICA.....	128
5.3.1 Evidências no uso da mediação cultural na historicidade	129
5.3.2 Evidência na eficácia do uso da aplicação de contexto na aprendizagem	132
5.3.3 Ao falar sobre a UEPS os estudantes associavam 2 ou mais processos de mediação	133
5.3.4 Indícios quanto à relevância da UEPS na aprendizagem significativa	137
5.4 A TEMÁTICA NA ARTICULAÇÃO ENTRE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO... 138	
5.4.1 Resultados oportunizados no uso do contexto em pesquisa na Engenharia	139
5.4.2 Resultados oportunizados no uso do contexto em projetos de Extensão.....	141
CONCLUSÃO.....	144
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
APÊNDICES	159
ANEXOS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

O CAMINHO PERCORRIDO

Eu nasci em outubro de 1968, no interior do município de Ilópolis (RS) e, ainda criança, as experiências da vida simples do campo e o convívio familiar ajudou a moldar a pessoa que sou hoje. As atividades desenvolvidas na lavoura possibilitavam cursar as séries iniciais do ensino fundamental na escolinha multisseriada da localidade, o que oportunizou, mais tarde, concluir as séries finais do ensino fundamental na cidade. A realidade não era comum para a época em que os pais do meio rural gestavam família numerosa com perspectiva de aumentar a força de trabalho na lavoura, fato limitante aos estudos. Entretanto, meus pais sempre incentivavam a expansão intelectual, oportunizando para que estudássemos e contribuíssemos com as atividades na lida do campo. O que movia e tornava mais fascinante o estudo era o forte desejo em ser professora. Para a minha realidade, ser professora era desejável. Significava ser uma pessoa com talento, respeito, prosperidade muitos outros atributos à profissão.

Mais tarde eu estava no curso normal, antigo magistério, me oportunizando a desejada atuação docente aos vinte anos de idade (1988). Desde lá quantas aventuras, quantas alegrias vividas! E meu pai, que hoje não se encontra entre nós, orgulhoso por ter filha professora. Quanto à graduação “pra quê? você ainda não estudou o suficiente?”, questionava ele. O interesse à Física começou no primeiro ano do ensino médio, logo no primeiro contato com a ciência que, com incentivos de amigos e, principalmente, de autoridades municipais eu chegava à Faculdade.

Andar pela primeira vez em um ônibus, em uma rodovia asfáltica, e estar naquele ambiente, eram uma vivência inédita. Iniciava o curso de Licenciatura Plena em Física, em regime de férias, na Universidade de Santa Cruz do Sul, na ocasião era faculdade (FISC). Inúmeras oportunidades transformavam minha vida junto aos desafios da cidade grande. Entre as oportunidades, as experiências no Centro de Ciências (CECIFISC), que foram sete anos de expansão profissional e pessoal. Viagens nacionais e internacionais, feiras de ciências, minicursos em eventos e muitos outros acontecimentos. A grande história de aventura foi a inesquecível honra de voltar à terra natal e realizar a formação dos professores, os mesmos que haviam contribuído para modelar o ser e profissional que sou hoje.

Quatro anos depois concluía o curso de Ciência Físicas e Biológicas e, três anos depois, a Licenciatura Plena em Física (1998). Ao término da graduação mudei-me para Cuiabá (MT), tendo como meta ministrar aulas de física e cursar o mestrado na UFMT, oportunidades prometidas na Feira Nacional de Ciências, em Rondonópolis (MT), em 1997.

Naquele período, os cursos de mestradados na área ou estavam ancorados na Física pura ou na educação. A busca não resultou no título esperado, porém em casamento bem-sucedido e promissor para a expansão pessoal, intelectual e profissional. Ainda em 1998, muito além dos meus sonhos de “contos de fada”, nos casávamos numa gruta em meia à floresta.

No início do milênio, no Mestrado em Ciências para o Desenvolvimento Sustentável, na ULBRA, eu iniciava a trajetória de mestrado e a de ser mãe. Um curso que não aparece no currículo, devido à migração para o Programa de Pós-Graduação Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM), porém proporcionou aprendizados significativos com profissionais exemplares, sendo que muitos ainda fazem parte do programa. Como resultado dessa transição, ocorreram mudanças na dissertação, uma das pioneiras na linha das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para o Ensino de Ciências e Matemática, na temática Colisões Mecânicas (2004), sob orientação do Professor Dr. Agostinho Serrano e a contribuição da banca composta por Dra. Ileana Maria Greca e Dra. Eliane Angela Veit. O aprendizado e a expansão pessoal, adquiridos no programa, oportunizaram-me atuar como professora de graduação e pós-graduação em instituições particulares no oeste de Santa Catarina (2008), possibilitando a construção de minha vida profissional, pessoal e espiritual. Anos mais tarde, quando a inovação tecnológica do período de mestrado já estava obsoleta, como aconteceu com os CDs para gravação dos dados, nascia a necessidade e motivação de busca do doutoramento.

A temática apresentada no processo de seleção foi conservação da energia em colisões mecânicas, continuando o trabalho desenvolvido no mestrado. Considerando que duas teses estavam para ser defendidas no programa, com o uso dessas simulações, dispensando a necessidade de continuidade de estudos na temática. E, como todo o fim tem um começo, motivada por uma pesquisa realizada na disciplina de Física Moderna e Contemporânea, teve origem as investigações para a temática efeito fotoelétrico na produção e transformação da luz. A temática estava relacionada à minha atuação em pesquisas na Universidade do Contestado (UnC), vinculada ao Grupo de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente (GEMA), em sustentabilidade energética; Grupo de Pesquisa em Energias Alternativas e Renováveis da UnC, onde contribuo com pesquisas em energia solar fotovoltaica e iluminação artificial.

Eventos e datas históricas celebradas no período serviram de referência para a pesquisa de tese: Iniciava com as celebrações do Ano Internacional da Luz (2015), em comemoração à publicação de Albert Einstein sobre efeito fotoelétrico, conforme será apresentado nos próximos capítulos. E concluía em 2018, com os cem anos do nascimento de

David Ausubel e o quinquentenário de sua mais importante obra sobre a teoria da Aprendizagem Significativa (1968), um dia antes ao meu nascimento. Em 2018, ano de concluir o doutorado, completo o primeiro quinquentenário e, se estivesse vivo, Ausubel estaria completando um centenário. Como relato durante o texto, muitos eventos contados nessa história ocorrem no ano com final 8. Talvez seja apenas coincidência, sem significado lógico ou da numerologia. Ou, talvez, como para a cultura Chinesa, seja o número o mais afortunado e preferido para tecer esse caminho.

2018



INTRODUÇÃO

Os avanços científicos e tecnológicos dos últimos anos oportunizaram mudanças significativas no ensino da física nos cursos de engenharia. Efeito fotoelétrico apresenta-se como temática relevante para o ensino da Física Moderna na Engenharia. Por meio dela, é possível explorar, com os acadêmicos, aplicações tecnológicas importantes, como o funcionamento de lâmpadas, sensores fotoelétricos, laser, diodos e uma variedade de aplicações e processos associados à emissão e à transformação da luz.

A pesquisa de tese iniciou em 2015, com buscas por publicações que tratam da temática efeito fotoelétrico para o ensino da física. No ano de 2015 a comunidade científica celebrava o Ano Internacional da Luz (AIL), proclamado pela 68ª Assembleia Geral das Nações Unidas em comemoração aos 110 anos da publicação do artigo “*Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*”, de Albert Einstein. A teoria que atribuiu a Einstein o prêmio Nobel da Física em 1921 explicava a teoria quântica da luz para os fenômenos fotoelétricos. O reconhecimento da celebração se destacou na importância da luz para a vida dos seres humanos, bem como as tecnologias associadas à iluminação artificial e gestão energética, aplicações de contexto investigadas na pesquisa desta tese.

Essa tem sido a justificativa para explorar com a temática a tríade historicidade, conceito e contexto, possibilitando a integração entre historicidade, conceito e contexto, conforme pesquisa de trabalho de tese utilizada para alfabetização tridimensional em ensino de química para a componente estereoquímica (RAUPP, 2015). No caso desta pesquisa os processos foram integrados em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que possibilitou relacionar a história da ciência, construção de conceitos com o uso de

simulações computacionais e aplicações de contexto nas engenharias Civil e Ambiental e Sanitária, com foco na aprendizagem significativa em efeito fotoelétrico.

Historicamente, o ano de 1905 foi mundialmente importante para a ciência moderna, quando Albert Einstein escreveu cinco trabalhos surpreendentes. Em 2015, a comunidade científica celebrava o Ano Internacional da Luz (AIL), proclamado pela 68ª Assembleia Geral das Nações Unidas em comemoração aos 110 anos da publicação do artigo de Albert Einstein sobre o efeito fotoelétrico, no qual descrevia o conceito fundamental do quantum de luz, o que atribuiu a Einstein, em 1921, o Prêmio Nobel de Física.

Eventos como esses, na história da Ciência, podem ser usados para trazer conceitos científicos à aprendizagem da Ciência de forma a humanizar os protagonistas e fornecer um contexto apropriado e localizado ao processo de ensinar e aprender (KLASSEN, 2006). Esse ponto de vista foi pesquisado com notoriedade e publicado em evento científico na área, com foco na historicidade em efeito fotoelétrico (REIS; SERRANO, 2017a), conforme será apresentado no próximo capítulo.

Quanto à abordagem conceitual, o estudo da luz por muito tempo foi fundamentado em princípios clássicos da Física. No início do século 19, Augustin Fresnel, engenheiro militar, “submeteu um artigo à Academia Francesa de Ciências no qual descrevia seus experimentos com a luz e os explicava usando a teoria ondulatória.” (HALLIDAY; RESNICH; WALKER, 2011, p. 113). A luz passa a ser considerada uma onda que se propaga em um meio com propriedades, como difração, interferência e polarização. Tais propriedades convenceram os físicos de que a luz monocromática visível é uma oscilação transversal periódica (NIAZ et al., 2010). O modelo explica perfeitamente parte dos fenômenos ópticos, porém é falho quando se trata, por exemplo, da natureza da luz ou do efeito fotoelétrico. O fator revolucionário da contribuição de Einstein foi propor a hipótese “de que matéria e radiação podem interagir apenas por meio da troca desses quanta de energia.” (STACHEL, 2005).

No artigo publicado por Albert Einstein (1905), que tratava da quantização da energia, proposta inicialmente por Max Planck, em 1900, a hipótese era que “a luz consiste em pequenos pacotes de energia discretos, ou quantum, que se comportam como partículas chamadas fótons.” (KLASSEN et al., 2012, p. 740, tradução nossa). O artigo de Einstein sofreu rejeições da comunidade científica, principalmente por Max Planck, que, cinco anos antes, fundamentou sua explicação na absorção de energia radiante contínua para o efeito fotoelétrico. Einstein argumentou que a luz consiste em quanta definidos de energia e, nessa

teoria, um elétron em um átomo recebe energia de apenas um *quantum* de luz a cada vez (KLASSEN et al., 2012).

O efeito fotoelétrico, na introdução da Física Moderna, é citado nos livros didáticos como confirmação da existência do “quantum de luz” ou “fótons”, comumente visto como a principal razão para a sua importância (KLASSEN, 2011), porém, sem tratar dos aspectos históricos subjacentes. Segundo esse autor, o termo “fóton” foi inventado somente em 1926 pelo químico Gilbert Lewis, que apresentou uma teoria equivocada do “*quantum* de luz” de Albert Einstein. O termo foi adotado pela comunidade científica quando Compton (1927) começou a usá-lo.

O uso do Prêmio Nobel de Einstein como um tema organizacional de ensino da Ciência, tanto no ensino médio quanto no ensino superior, tem a vantagem de reunir conhecimentos fundamentais da Física Moderna, além da História e da Ciência no contexto social (ESHACH, 2009). Conforme Klassen (2011), artigos demonstram que há muitos equívocos na interpretação do efeito fotoelétrico, não somente ao apresentar atividades experimentais, mas também nas teóricas, principalmente, em livros didáticos e outros materiais de ensino. Nos recursos didáticos para o ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico, estudos anteriores têm demonstrado que o contexto histórico tem se apresentado de modo não satisfatório em materiais de instrução para o Ensino de Física no Ensino Superior, tanto nos livros didáticos (NIAZ et al., 2010) quanto nos materiais de instrução para laboratório (KLASSEN et al., 2012).

Conforme relatado, no ensino de Física, especialmente nos cursos de engenharia, os conhecimentos subjacentes são responsáveis pela contextualização e exploração de um aparato de aplicações tecnológicas. Entre essa gama de aplicações, as tecnologias utilizadas na iluminação artificial, que foram tema de projeto de pesquisa executados por acadêmicos de Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade onde essa pesquisa foi aplicada (FALKOSKI; REIS, 2016; SANTOS; REIS JUNIOR; REIS, 2019). Mais especificamente, na Engenharia Civil, a transformação da luz em energia por meio de geradores compostos por células fotovoltaicas, quatro trabalhos foram desenvolvidos durante o período, contemplando as três gerações da tecnologia: painéis rígidos (AMPESE; REIS, 2015; FALKOSKI; REIS, 2015); silício amorfo (SCHÖNELL, 2016) e, em pesquisa, a terceira geração da tecnologia em filmes finos, conhecida como células OPV (*Organic Photovoltaic*) em fachadas envidraçadas (ROGOVSKI; REIS, 2017). No ensino, com ênfase em sustentabilidade

energética, as aplicações de contexto têm despertado interesse nos acadêmicos nas Engenharias para o entendimento da temática.

A produção e distribuição de energia elétrica tem se tornado um dos serviços mais importantes da sociedade moderna. A energia solar, teoricamente falando, é a maior fonte de energia disponível no Planeta, tornando-se alternativa promissora e atraente para o futuro da matriz energética nacional. Essa necessidade de ampliação no uso da tecnologia tem repercutido nas aulas de Física Moderna, especialmente, nos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária. E, por conta disso, o efeito fotovoltaico tem sido aplicação de contexto para a tese.

Quanto ao uso de tecnologias da informação em Ensino de Ciências, as simulações computacionais têm apresentado resultados satisfatórios na construção de conceitos em colisões, por meio da Lei de Conservação de Energia (REIS, 2004; WOLFF, 2015). E no ensino do efeito fotoelétrico, o uso de simulações computacionais também tem sido utilizado para explorar os conhecimentos prévios dos estudantes e introduzir novos conceitos na Engenharia (CARDOSO; DICKMAN, 2012). A partir dos resultados da pesquisa, os autores acreditam que o uso de simulações computacionais pode proporcionar aos estudantes ganhos cognitivos, desde que sejam utilizadas consistentemente com uma teoria da aprendizagem, como a teoria da aprendizagem significativa.

Essa tríade na integração desses processos (historicidade, conceito e contexto) foi elaborada com base na pesquisa de trabalho de tese utilizada para alfabetização tridimensional em ensino de química (RAUPP, 2015), de modo que os estudantes possam se apropriar de competências visoespaciais na resolução de problemas em estereoquímica. No caso desta pesquisa, os processos foram integrados em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que possibilitou relacionar a história da ciência, com construção de conceitos com o uso de simulações computacionais e aplicações de contexto nas engenharias, com foco em ensino e na aprendizagem significativa em efeito fotoelétrico.

Quanto à contextualização do tema tendo como foco a produção e transformação da luz em efeito fotoelétrico, que foi explorada em laboratório didático de Física, os artigos analisados em pesquisa bibliográfica (REIS; SERRANO, 2017b) sugerem o uso experimental da tecnologia fotovoltaica no ensino de Física. A tecnologia em ensino foi impulsionada nos últimos anos por dois fatores: as tratativas acordadas no protocolo de Quioto (2008 a 2012), em reduzir os gases do efeito estufa (SARK, 2007) e o movimento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), com foco na educação para o desenvolvimento

de competências na liderança global do conhecimento (DARK, 2011), incentivando os jovens às carreiras na engenharia.

Portanto, na construção da UEPS para o ensino e aprendizagem na temática efeito fotoelétrico, foram utilizados os seguintes mecanismos de mediação cognitiva: o uso de experimento fotovoltaico em laboratório didático de Física na transformação da luz em energia elétrica para a mediação psicofísica; atividades que possibilitavam aos estudantes a interação com os colegas e a professora na construção dos conhecimentos na mediação social; uso dos materiais didáticos, como livro, guias e listas de exercícios na mediação cultural; uso de simulações virtuais em laboratório computacional para a mediação hipercultural.

1.1 PERGUNTA DE PESQUISA

Conforme contextualizado anteriormente, a proposta de pesquisa de tese estava em construir e investigar o uso de uma unidade potencialmente significativa (MOREIRA, 2011) para o ensino do efeito fotoelétrico. A UEPS¹ foi construída com foco na historicidade, construção de conceitos (por meio de simulações computacionais) e contexto no uso de células fotoelétricas na produção e transformação da luz (por meio do uso de atividades experimentais com painéis fotovoltaicos em laboratório real). No desenvolvimento de estratégias e materiais didáticos para o ensino do efeito fotoelétrico nas engenharias, optou-se por aulas teóricas e práticas (simulação computacional e laboratório real) contextualizadas em células fotovoltaicas, com o uso de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

A integração entre esses elementos esteve fundamentada na aprendizagem cognitiva, com articulação entre as duas teorias de aprendizagem: Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) apresentada originalmente por David Ausubel (1978), também utilizada como referencial teórico por Marco Antônio Moreira (1999a, 1999b) e na Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) de Bruno Campello de Souza (2004), apresentada em sua tese de doutorado. Dessa forma, a pergunta de pesquisa desta tese é da seguinte maneira constituída:

¹ Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) se propõem à construção de uma sequência didática fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, a partir da concepção de que o ensino é o meio para que ocorra a aprendizagem.

Como diferentes processos de mediações cognitivas são utilizados de forma combinada por estudantes de Engenharia para a aprendizagem significativa de conceitos na temática efeito fotoelétrico, após utilização de UEPS construída segundo a tríade historicidade, simulações conceituais e contexto?

Na busca de respostas para esta questão, surgiram as seguintes perguntas secundárias:

- a) Qual a aplicação de contexto, para uso em atividades com experimento real, que melhor se aplica na produção e transformação da luz para o ensino e aprendizagem na Engenharia Civil e Ambiental e Sanitária?
- b) Quais os resultados observados nos estudantes de Engenharia ao integrar história da ciência, simulações conceituais e experimentos em laboratório real em uma UEPS para o ensino e aprendizagem em efeito fotoelétrico?
- c) Que tipo de mediação é mais utilizado na construção de conceitos em efeito fotoelétrico quando estudantes de engenharia são submetidos a essas diferentes abordagens no ensino com a UEPS?
- d) Como o uso da proposta didática, composta por atividades teóricas e práticas, com foco em historicidade, construção de conceitos e aplicações de contexto, contribuirá para aprendizagem significativa em efeito fotoelétrico?

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

As respostas a essas perguntas foram contidas com foco nos objetivos inicialmente propostos. Entre estes, objetivo geral da tese foi *identificar diferentes processos de mediações cognitivas que podem ser utilizadas de forma combinada por estudantes de Engenharia na aprendizagem significativa de conceitos na temática efeito fotoelétrico, após utilização de UEPS construída segundo a tríade historicidade, simulações conceituais e contexto.*

Com o intuito de responder ao problema de pesquisa, o objetivo geral foi desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

- a) verificar, a partir de pesquisa bibliográfica, quais atribuições da historicidade da Ciência no ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico;

- b) investigar, na busca bibliográfica, as aplicações de contexto utilizadas na produção e transformação da luz em energia para uso em laboratório experimental em cursos Engenharias Civil e Ambiental Sanitária e sua implicação para o aprendizado da temática;
- c) analisar simulações computacionais disponíveis gratuitamente que sirvam para a construção de conceitos, possibilitando que o estudante desenvolva *drivers* relacionados ao *quantum* de luz em efeito fotoelétrico;
- d) implementar uma unidade de ensino potencialmente significativa para ensino do efeito fotoelétrico no ensino superior em concordância com o referencial teórico e os resultados obtidos nos três itens anteriores, integrando historicidade, contexto e conceitos;
- e) identificar quais concepções e mediações cognitivas são apresentadas por acadêmicos de Engenharia Civil e Ambiental Sanitária quando submetidos à unidade de ensino potencialmente significativa, com a utilização de simulação e o uso de atividade em laboratório didático de Física;
- f) relacionar a ocorrência de modificação de *drivers* a partir de evidências de mediação psicofísica, social, cultural e hipercultural com aprendizagem significativa.

À luz da aprendizagem cognitiva, proposta no referencial teórico supra da Teoria da Aprendizagem Significativa e Teoria da Mediação Cognitiva, com vistas na revisão de literatura pertinente, foram realizadas as atribuições de éticas e, concomitantemente, realizados testes-piloto apresentados no capítulo 4, sendo oportunizados os ajustes dos instrumentos e devidos ajustes nos experimentos. Após as devidas atribuições do comitê de ética (Anexo D)² e correções nos instrumentos de coleta de dados, procedemos com as intervenções junto a acadêmicos da Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária. As intervenções predominantemente qualitativas foram realizadas com uma turma de 24 acadêmicos, que cursavam a disciplina de Física III onde contemplava a temática. Do grupo estudado somente 18 estudantes participaram da entrevista, concluindo todas as etapas da pesquisa. Os dados coletados e analisados, utilizando as duas visões gerais do grupo total

² Devido ao fato que essa tese ocorreu no período de transição para as exigências de submissão ao comitê de ética, houve certa morosidade nas devidas atribuições para liberação. Com número CAAE 66848617.6.0000.5349, com data de início 26/09/2017.

(dados quantitativos) e pertinentes ao grupo específico (qualitativo) que realizou todas as etapas, estão sendo apresentados no capítulo 6 desta tese.



2 REVISÃO DE LITERATURA EM EFEITO FOTOELÉTRICO

A primeira fase da pesquisa bibliográfica iniciou-se com buscas na literatura, com o objetivo de avaliar estudos antecedentes associados ao efeito fotoelétrico, bem como os possíveis campos de pesquisa. Para o processo de pesquisa bibliográfica, o método empregado na busca dos artigos ocorreu com a utilização de sítios de busca, como ERIC (*Educational Resources Information Center*), *Taylor & Francis online* e portal SJR₁ (*SCImago Journal & Country Rank*). Os sítios utilizados proporcionavam acessos aos títulos e resumos (em diferentes idiomas), localizados a partir de termos vinculados à historicidade, construção de conceitos e aplicações de contexto em efeito fotoelétrico, como “efeito fotoelétrico”, “natureza da luz”, “quântica”, “quantum” e outros que foram surgindo nas pesquisas encontradas (em diferentes idiomas). Após a localização, os artigos foram acessados na íntegra, por intermédio do portal de periódicos da Capes. Também se utilizou o portal SJR (*SCImago Journal & Country Rank*), onde foi realizada a classificação dos artigos e nova busca em periódicos de maior *ranking* na área da Educação.

A busca inicial proporcionou acesso a mais de setenta artigos, publicados em revistas, como: *Science Education*, *International Journal of Science Education*, *Journal of Research on Science Teaching*, *European Journal of Science Education*, *American Journal of Physics*, *Contemporary Physics*, *Physics Teacher*, *Physics Education*, *Cognition and Instruction*, *Learning and Instruction*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* e *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*.

2.1 METODOLOGIA UTILIZADA NA ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES

Os artigos encontrados foram submetidos à análise de conteúdo, à semelhança da análise narrativa (BARDIN, 1977, p. 209). Uma análise em termos de estrutura narrativa, na visão de Bardin, podem ser submetidos dois tipos de análise: A primeira *temática*, tradicional, permite revelar a frequência dos temas, identificando os manifestos detectáveis nos discursos. A segunda, voltada para as associações que ligam os significados primeiros aos significados segundos, para os valores implícitos evocados por imagens e subtilezas de expressão.

Nesta pesquisa, os artigos encontrados foram adicionados na plataforma Mendeley³, proporcionando agilidade no acesso aos termos e eficácia na classificação dos textos. Na fase de pré-análise, com uso do Mendeley, foi realizado o primeiro acesso às pesquisas e, após a leitura inicial, os artigos foram submetidos à primeira classificação, selecionando as pesquisas com foco em ensino e aprendizagem do tema. Estes eram deslocados na plataforma utilizando a pasta dos favoritos, que proporcionava a composição da biblioteca da pesquisa.

A segunda fase, com foco nos objetivos da pesquisa, os artigos foram classificados em três categorias, como foi realizada em pesquisa anterior (RAMOS; SERRANO, 2013): i) história do efeito fotoelétrico no ensino de ciências; ii) aprendizagem dos conceitos no ensino do efeito fotoelétrico e iii) materiais didáticos e situação contexto para ensino do efeito fotoelétrico (uso de computadores, uso de laboratório e atividades práticas em Física). Posteriormente, os artigos que constituem o grupo material didático foram subdivididos em dois grupos (um para laboratório computacional e outro para laboratório virtual). Portanto, a classificação proporcionou construirmos as quatro categorias. Como na fase anterior, a plataforma possibilitava acesso ágil e preciso às palavras-chaves, conforme os dados nas pesquisas, utilizando comandos de buscas na plataforma. Esta etapa possibilitou a narrativa da linha do tempo para as pesquisas em efeito fotoelétrico (apresentada nas próximas seções), para cada uma das categorias (historicidade, conceito e contexto).

Para a categoria “historicidade” foram selecionados nove artigos que tratam da história da Ciência para o ensino do efeito fotoelétrico, a partir da teoria quântica da luz, fundamentada no “quantum de luz”. Os seis artigos classificados na categoria “construção de conceito” tratam das concepções e dificuldades apresentadas pelos estudantes, no ensino do

³ O Mendeley é um programa de livre acesso, produzido pela Elsevier. Pode ser utilizado desktop e web para gerenciar, organizar e compartilhar documentos de pesquisa, automatizar citações e referências bibliográficas, encontrar dados na pesquisa e colaborando *on-line*. Ele possibilita integrar o Mendeley Desktop com os artigos em PDF e editor de texto.

efeito fotoelétrico. Na seleção dos artigos para essa categoria priorizou-se na investigação aqui realizada, os que tratavam de pesquisas aplicadas ao ensino de Física em cursos de graduação.

E a categoria “uso de materiais didáticos para ensino do efeito fotoelétrico” dividida em duas subcategorias: uma para pesquisar o uso de atividades computacionais, a partir de uma concepção de ensino e aprendizagem do tema (6 artigos), e outra que se refere ao uso de laboratório real ou atividades práticas experimentais relacionadas ao ensino do efeito fotoelétrico (8 artigos). Nas pesquisas relacionadas ao uso de laboratório didático no ensino de Ciências (em especial, na Física para as Engenharias), foram encontradas sete relacionadas ao “quantum de luz” ou “fóton”, sendo que seus respectivos autores utilizavam o uso de células solares fotovoltaicas em atividades experimentais, que definimos como situação contexto para a pesquisa bibliográfica e construção da UEPS.

Na última fase, com uso de planilha eletrônica da Microsoft Excel, os dados organizados nas fases anteriores proporcionaram as análises de associação dos significados (correlações), tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação. Os procedimentos relatados resultaram em duas publicações: Uma em evento na área, apresentando uma análise das publicações científicas sobre história da ciência no ensino do efeito fotoelétrico (REIS; SERRANO, 2017a); outra em periódico, apresentando uma revisão bibliográfica referente a esses grupos (REIS; SERRANO, 2017b). Ambos os artigos nos ajudaram a compor o estado da arte apresentado neste trabalho de tese.

2.2 HISTÓRIA DA CIÊNCIA PARA O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

Para a história da ciência moderna, no ano de 1905 Einstein escreveu cinco trabalhos surpreendentes. Entre eles, o artigo que descrevia o conceito fundamental do *quantum* de luz, que atribuiu a Einstein o Prêmio Nobel de Física (ESHACH, 2009). Pesquisas publicadas em artigos de periódicos na área de ensino de ciências, especialmente para a historicidade de efeito fotoelétrico, são datadas a partir do século XXI. Inicialmente, as pesquisas pertinentes à historicidade eram ancoradas na história da iniciação da Mecânica Quântica (MQ) no ensino da física, como, por exemplo, pesquisa publicada na França (LAUTESSE et al., 2015) e outra na Grécia (TAMPAKIS; SKORDOULIS, 2007), demonstrando as principais lacunas que marcavam a origem do ensino da Física Quântica. Outros pesquisadores também concordam que a forma como a MQ é ensinada nos cursos de graduação é ineficiente, sendo, muitas

vezes, meramente instrumental técnico ou cálculos, de modo que raramente a história da ciência para a MQ é considerada (GRECA; FREIRE JÚNIOR, 2003).

Outras pesquisas referem-se à reconstrução histórica para o surgimento de tecnologias modernas, frequentemente explicadas com princípios do efeito fotoelétrico, porém, sem exploração didático-pedagógica para o ensino de ciências. Como exemplo, é possível destacar a história na origem do raio-X, apresentada em periódico publicado na Austrália (JENKIN; LECKEY; LIESEGANG, 1977); ou história do LED, na Rússia (ALADOV et al., 2010).

Especialmente, para o ensino e aprendizagem da temática em Ciências, foram selecionadas oito publicações de pesquisas aplicadas em ensino superior, em diferentes países (Quadro 1). Nessa seção será apresentada uma discussão pertinente à relevância dessas pesquisas para o ensino da temática, conforme será investigado nesta pesquisa de tese.

Quadro 1 – Trabalhos publicados em periódicos, referentes à historicidade em efeito fotoelétrico

Ano	Revista	País	Nível de Ensino	Aplicação Didática
1992	Science & Education	Dinamarca	Graduação	História da ciência em livro didático
1994	Science & Education	Alemanha	Graduação	Integração história e conhecimento.
2009	Science & Education	Israel	E.M./Graduação	História como recurso motivacional
2010	Science Education	Canadá	Graduação	História da ciência em livro didático
2011	Science & Education	Canadá	Graduação	Reconstrução histórica para ensino
2012	Science & Education	Canadá	Graduação	História da ciência em manuais de laboratório
2015	Science & Education	Canadá	Graduação	Teoria de Einstein e analogias à matemática.
2016	Physics in Perspective	EUA	Graduação	História da ciência em livro didático

Fonte: Trabalho anteriormente publicado em evento (REIS; SERRANO, 2017a).

O primeiro trabalho selecionado, entre os localizados na busca, que investiga a história da ciência para o ensino do efeito fotoelétrico, foi publicado na Dinamarca (KRAGH, 1992). O artigo avalia as perspectivas históricas da ciência para o efeito fotoelétrico, apresentadas nos livros didáticos de Física. O autor relata que concepções “apresentadas de forma explícita ou implícita, nos livros didáticos, pertence ao que tem sido chamado de quase-história, uma história mítica especialmente preparada para a doutrinação de certos pontos de vista metodológicos e didáticos.” (KRAGH, 1992, p. 351, tradução nossa). Desse modo, segundo o autor, os livros didáticos, ao introduzirem os conceitos quânticos (radiação de corpo negro, efeito fotoelétrico, raios-X e espalhamento Compton), acabam se referindo a uma série de fatos experimentais que foram descobertos no início do século XX.

Por outro lado, a representação histórica adequada pode motivar o estudante a explorar a física com uma saudável curiosidade saudável. Além disso, abordagens de exemplares históricos, muitas vezes, acabam contribuindo para os aspectos técnicos e conceituais da Física na educação, oferecendo um olhar mais aprofundado e crítico na resolução de problemas (KRAGH, 1992). No entanto, para o autor, a relação entre ensino de Física e a história da Física é intrinsecamente problemática, pois as lições a serem aprendidas com a história são, muitas vezes, contraproducentes para o ensino em Ciência. Sendo que “não há nada ilegível no uso pragmático de dados históricos, desde que não sirva a fins ideológicos ou viole o conhecimento do que realmente aconteceu.” (1992, p. 360).

Dois anos depois, na Alemanha, Walter Jung (1994) afirma que para entender o conceito de fóton é primordial o uso da perspectiva quântica, sendo necessário, para a compreensão do estudante, o entendimento da natureza da mudança de paradigma, a partir da história e filosofia da ciência. Nos livros didáticos de Física, segundo o autor, “o conceito fóton aparece ‘lançado de paraquedas’ para o estudante.” (JUNG, 1994, p. 123, tradução nossa). Enquanto, deveria ser apresentado para auxiliar o estudante a relatar as mudanças ocorridas na física do século XVIII para o século XX, bem como a importância das descobertas para o entendimento dos possíveis contextos de uso e no desenvolvimento da humanidade.

Uma década mais tarde, no Ano Mundial da Física, a comunidade científica celebrava o centenário das teorias apresentadas por Albert Einstein nos cinco artigos revolucionários, que marcavam a história da ciência. O artigo *Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*, de Albert Einstein (1905), foi considerado um dos importantes para esta tese. Ele apresenta os fatos históricos que originaram o modelo quântico atual para a emissão e transformação da luz, concepções fundamentais para a explicação do efeito fotoelétrico, utilizado nos dias atuais. Essa versão histórica do efeito fotoelétrico, como já mencionado neste trabalho, ainda é pouco explorada em sala de aula, da contribuição de Albert Einstein para o estudo da luz.

Como destaque, nesse cenário, uma pesquisa publicada em Israel, na qual Haim Eshach (2009) utiliza o glamour e o brilho da história do Prêmio Nobel de Albert Einstein, que recebeu pela publicação do artigo, como tema motivador para a aprendizagem dos conceitos científicos em sala de aula. A intenção do autor é que a história e a filosofia da Ciência possam ser utilizadas para relacionar história e ciência no contexto social, trazendo a temática na discussão de temas centrais de Física Moderna. O propósito da estratégia foi atrair

e motivar os alunos do ensino médio e calouros universitários para a aprendizagem de temas científicos, sendo estimulados a buscar a Ciência. O objetivo do artigo foi proporcionar ao leitor vantagens, viabilidade e conveniência no uso do Prêmio Nobel como material de aprendizagem, propondo utilizar contadores de casos para ensinar ciência. Assim, o Prêmio Nobel de Einstein poderia ser referenciado no ensino de Física como apoio à inserção histórica da ciência, atuando como ferramenta didática para o ensino e aprendizagem da temática efeito fotoelétrico.

O Prêmio Nobel, atribuído às realizações científicas, tem um glamour que vai além das academias, destacando estrelas nacionais e internacionais. O legado deixado por Alfred Nobel (1895) foi que parte de sua herança fosse utilizada para premiar cientistas que, no ano anterior, tivessem conferido um conhecimento que proporcionasse “bem-estar” à humanidade, assim nascia a fundação destinada a gerir a parte financeira e os prêmios (ESHACH, 2009). Cabe ao premiado ministrar uma palestra sobre o trabalho premiado, devendo ser dada seis meses antes ou após o Dia Festival em Estocolmo (Prêmio da Paz, em Oslo), destinada ao público em geral. Portanto, segundo o autor, o Prêmio Nobel não é apenas uma instituição que promove o trabalho do cientista, mas também uma promoção da educação científica. A premiação concedida a Albert Einstein ilustra o processo de seleção do Prêmio Nobel. Em 1912, Pringsheim escreveu: “Eu acredito que o Comité Nobel raramente desfrutará da oportunidade de atribuição de um prêmio para obras de semelhante significação.” (ESHACH, 2009, p. 1388 tradução nossa). Nove anos depois, em 1921, Brillouin escreveu: “Imagine por um momento que a opinião geral será cinquenta anos a partir de agora, se o nome de Einstein não aparecer na lista dos laureados com o Nobel” (Ibidem).

O glamour e o brilho do Prêmio Nobel podem atrair principalmente o público jovem a despertar interesse pela ciência. Ensino de ciência através do Prêmio Nobel fornece (i) uma oportunidade de explorar a natureza da ciência como uma atividade humana que tem um contexto social e histórico e (ii) que as descobertas científicas estabelecidas em uma narrativa histórica prontamente se relacionam ao conhecimento dos estudantes, conhecimento que tem um significado pessoal para eles e que pode ser aplicado em princípios de ensino baseados em casos.

Nos anos seguintes (2011, 2012, 2010), no Canadá, um grupo de pesquisadores do Departamento de Física da Universidade de Winnipeg e do Conselho de Ciências e Engenharia da Universidade de Manitoba, com recurso financeiro da Fundação Maurice Price,

apresentava estudos de reconstrução da história da ciência para o efeito fotoelétrico para o ensino da ciência.

No primeiro, Niaz et al. (2010) realizam uma análise com 103 livros didáticos de Física Universitária. A justificativa é efeito fotoelétrico ser parte importante em livros didáticos de física geral, que se apresenta como introdução da teoria quântica. A pesquisa foi realizada com os seguintes objetivos (NIAZ et al., 2010 tradução nossa): (i) Propor uma reconstrução histórica dos acontecimentos que culminaram a hipótese do quantum de luz de Einstein para explicar o efeito fotoelétrico e a consequente polêmica na comunidade científica; (ii) Elaborar seis critérios, baseados na reconstrução histórica do efeito fotoelétrico, para a avaliação de livros didáticos de física; (iii) Avaliação dos livros didáticos de física geral de nível universitário, com base em seis critérios.

Os resultados da análise dos livros didáticos demonstraram que, apesar da relevância da teoria quântica de Einstein, para o efeito fotoelétrico, ela ainda é pouco conhecida nos livros textos de Física para o ensino universitário (NIAZ et al., 2010). Consequentemente, na visão do grupo, o importante acontecimento para o desenvolvimento da Física dos dias atuais é praticamente desconhecido para estudantes de Física, especialmente, quando o ensino da Física está apoiado no livro didático. Os resultados obtidos revelam, também, que esses elementos históricos são amplamente ignorados ou distorcidos nos livros didáticos.

A reconstrução histórica realizada por Niaz et al. (2010) demonstra que em livros didáticos, especialmente para o ensino superior, Max Planck é comumente associado à figura principal na origem da hipótese quântica. No período entre 1900 e 1905, a fórmula da radiação de Planck foi considerada como uma representação bem-sucedida dos dados para o efeito fotoelétrico. No entanto, há alguma controvérsia em relação a esse processo, como exemplo os autores destacam T. Kuhn (1978), que considerou que não era Planck, mas Einstein (1905) que deu início à revolução quântica.

Na opinião dos pesquisadores, é plausível a inclusão dos aspectos históricos relacionados com o efeito fotoelétrico em livros didáticos de Física, podendo proporcionar uma melhor compreensão da dinâmica do progresso científico. Os autores recomendam que os fatos históricos deveriam ser apresentados como parte integral na abordagem do efeito fotoelétrico nos livros didáticos, de modo que os conhecimentos históricos sejam apresentados associados ao conteúdo e não em seções especiais ou barras laterais dos livros didáticos. A proposta dos autores é que a história da ciência esteja presente nos

conhecimentos e atividades desenvolvidas nas aulas e não inserida como disciplina opcional ao ensino da Física.

No ano seguinte, também no Canadá, Klassen (2011) realiza uma pesquisa bibliográfica para uma reconstrução da história do efeito fotoelétrico, a partir dos resultados na abordagem histórica do tema, realizada na avaliação dos livros didáticos pelo grupo anterior. O autor destaca que cinco episódios da história são importantes e necessários para uma imagem da reconstrução do modelo quântico da história do efeito fotoelétrico: (a) a descoberta do efeito fotoelétrico; (b) o experimento inicial para o efeito fotoelétrico; (c) artigo revolucionário de Einstein do quantum de luz e sua explicação para o efeito fotoelétrico, que lhe concedeu mais tarde o Prêmio Nobel, apesar da não aceitação da hipótese quântica de Einstein na comunidade científica; (d) a verificação experimental da equação fotoelétrica de Einstein por Millikan, apesar de não aceitar a hipótese de Einstein; e (e) as medidas de Compton e sua explicação teórica, que produz a aceitação definitiva da hipótese de Einstein.

Em 2012, os pesquisadores que atuaram nas investigações anteriores no Canadá ampliaram a pesquisa, utilizando os critérios adotados nos estudos anteriores na análise para uma amostra de 38 instruções de laboratório de Física para o ensino superior, publicadas eletronicamente em efeito fotoelétrico (KLASSEN et al., 2012). O estudo, com a participação de Mansoor Niaz, foi realizado para avaliar como os fundamentos históricos do efeito fotoelétrico são retratados no contexto instrucional em manuais para atividades experimentais de laboratório. O artigo inclui uma avaliação das bibliografias, um resumo do contexto histórico do efeito fotoelétrico, critérios que foram aplicados ao estudo, uma descrição do método de aplicação, a apresentação dos resultados e uma discussão a respeito das implicações no estudo. Os resultados apresentados pelos autores demonstram que nenhum dos 38 manuais teve uma apresentação que poderia ser classificada como excelente em todos os quatro critérios.

Foram analisados os seguintes critérios: (i) hipótese do Quantum de Einstein para explicar o efeito fotoelétrico; (ii) falta de aceitação da hipótese Quantum de Einstein na comunidade científica; (iii) determinação experimental de Millikan do efeito fotoelétrico de Einstein e constante de Planck, h ; e (iv) pressupostos de Millikan sobre a natureza da Luz. Em geral, segundo os autores, os manuais ignoram o contexto histórico na elaboração das atividades experimentais.

A preocupação dos autores está na compreensão conceitual dos estudantes, que não demonstra ser facilitada nas investigações laboratoriais. No ponto de vista dos autores, os

manuais de laboratório são, frequentemente, considerados como “livros de receitas”, embora haja muitos argumentos que os manuais de laboratório devam ser simplesmente guias técnicos. Do ponto de vista dos pesquisadores, esse tipo de material de ensino proporciona pouca compreensão das relações conceituais e contextuais que existem na abordagem experimental.

Em 2015, pesquisas contemplavam o Ano Internacional da Luz, relacionando o estudo da luz na Física Quântica com fatos históricos à teoria de Albert Einstein. Gingras (2015) apresenta ao meio científico um artigo sobre a evolução da teoria de Einstein, aspectos físicos e matemáticos para a natureza da luz e da matéria. O autor relaciona as equações matemáticas aplicadas na quantização de energia, em investigações com gás argônio, corpo negro e outras publicadas de 1905 a 1925. O estudo de caso chama a atenção para o poder criativo das analogias formais de Einstein, podendo ser de fundamental importância para a física teórica no ensino da física. Segundo o autor, o modo de fazer física de Einstein, que não é enfatizado com muita frequência, está relacionado à sua capacidade de relacionar analogias formais entre diferentes sistemas.

No ano seguinte, Allan Franklin, professor de Física da Universidade do Colorado (Estados Unidos da América), também investiga a inclusão de eventos históricos para a física moderna nos livros didáticos. O autor pesquisou como os três acontecimentos marcantes na física moderna do século XX são apresentados nos livros-texto de física (FRANKLIN, 2016): (1) O experimento de Robert Andrews Millikan sobre o efeito fotoelétrico, explorado com simulação computacional na segunda atividade (Apêndice D); (2) a experiência de Michelson-Morley e (3) o experimento de Ellis-Wooster do espectro emitido no decaimento de energia. O autor destaca a incoerência na apresentação (quando é realizada) dos fatos históricos nos livros. Nos dois primeiros casos, os relatos feitos pelos livros didáticos de física estão incorretos e, no terceiro caso, o experimento, frequentemente, nem é mencionado. O autor conclui que é importante apresentar aos estudantes uma história real da prática da ciência, incluindo sucessos e insucessos da ciência.

Ao concluir este tópico é importante destacar que as pesquisas citadas, publicadas em revistas conceituadas na área, foram avaliadas com um olhar específico no uso da historicidade para despertar a curiosidade e motivar os estudantes para a aprendizagem da temática efeito fotoelétrico. Conforme as pesquisas, há consenso entre os pesquisadores a respeito da relevância da abordagem de fatos e eventos históricos da Ciência, a fim de proporcionar ao estudante acesso a contextos e fenômenos importantes que ocorreram no

passado, motivando o aprendizado de conhecimentos sobre o efeito fotoelétrico. Entretanto, o fato notável para o leitor é que os eventos históricos apresentados neste trabalho frequentemente são desconhecidos pela comunidade acadêmica, até mesmo por muitos profissionais no ensino da Física. Portanto, a inclusão da historicidade no estado da arte da pesquisa em ensino de Física, na área de Efeito Fotoelétrico, proporciona condições de oferecer uma contribuição para este importante tema de ensino, tanto ao processo de construção textual do trabalho quanto à elaboração e avaliação dos materiais para atividades teóricas e experimentais.

2.3 APRENDIZAGEM DE CONCEITOS EM EFEITO FOTOELÉTRICO

Nesta seção são apresentadas dificuldades, concepções e modelos utilizados pelos estudantes na aprendizagem de conceitos em efeito fotoelétrico e natureza da luz, no estudo da Física Quântica, publicados em pesquisas anteriores. Para a seleção das pesquisas para esta seção foram consideradas pesquisas que se relacionavam ao ensino e aprendizagem dos conceitos em efeito fotoelétrico, referindo-se à dificuldade e/ou concepções dos estudantes no uso dos conceitos.

Há um consenso entre educadores que, de acordo com as teorias construtivistas, estudantes formam concepções baseadas em experiências obtidas na vida diária antes mesmo da aprendizagem dos conceitos nas aulas de Ciências (OH, 2011; REIS; SERRANO, 2017b; TAO; GUNSTONE, 1999). Apesar das diferentes abordagens e visões para esse fato, “duas características são comuns: (i) a aprendizagem se dá através do envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento; (ii) as ideias prévias dos estudantes desempenham um papel fundamental no processo de aprendizagem.” (MORTIMER, 2000).

A pesquisa demonstrou haver um número limitado de publicações nessa área, sendo os primeiros registros ocorridos há pouco mais de duas décadas. Desse modo, pouco tem se pesquisado sobre o tema, sendo que o principal foco tem sido como os estudantes aprendem, dificuldades e propostas didáticas associadas à construção de conceitos. Nesta seção apresentaremos as discussões pertinentes às dificuldades, concepções e modelos utilizados pelos estudantes na aprendizagem de conceitos em efeito fotoelétrico e natureza da luz, no estudo da Física Quântica.

Particularmente, em relação às dificuldades dos estudantes na Física Quântica, seguindo uma linha do tempo, a primeira ocorreu na Universidade de Sussex, na Inglaterra

(JONES, 1991). De acordo com o autor, a Física Moderna é ensinada através de uma perspectiva histórica, com imagem de “Einstein dos desenhos animados” em vez de lógica, como aconteceria em outras áreas da Física. Especialmente, sobre efeito fotoelétrico, mostra como a introdução do assunto leva às imagens incorretas sobre a luz, durante a absorção e emissão de energia em moléculas. E, habitualmente, os estudantes “abordam o mundo da Física Quântica por um caminho histórico, através do trabalho de Planck e Einstein no início do século.” (1991, p. 93, tradução nossa). O autor concorda que efeito fotoelétrico é conceito de alta importância para a compreensão da Mecânica Quântica, especialmente, por se tratar da quantização de energia, entretanto, poucas vezes aparece em cursos mais avançados e quando aparece ocorre tardiamente.

Alguns anos mais tarde, na Universidade de *Oxford*, de Cingapura, Mashhadi e Woolnough (1999) afirmavam que os currículos escolares estavam em desacordo com a Física do século XX, de modo que somente após noventa anos de origem da pesquisa revolucionária de Einstein para a Física Quântica é que começam a emergir na comunidade científica estudos a respeito da compreensão dos estudantes. Com o propósito de compreender como os estudantes assimilam os conceitos da Física Quântica, associados à natureza da luz, foi realizado um estudo para verificar as concepções dos alunos sobre os fenômenos quânticos, modelos e constituição epistemológica de fundamentos teóricos implícitos ou subjacentes na estrutura cognitiva do estudante pré-universitário.

Na pesquisa, os estudantes foram investigados sobre seu modelo mental de elétron e do fóton. Especialmente para a definição de fóton, os resultados dos estudos demonstraram que o modelo por eles utilizado para explicar o conceito de fóton, foi: “fóton como uma esfera brilhante (38%); um objeto pequeno, menor que o elétron (28%); um pacote de energia (14%) ou fóton tem massa e carga (10%).” Para elétron, a maioria dos estudantes visualizava como uma espécie de partícula e o fóton como uma bola esférica e brilhante. “Os resultados da pesquisa destacam a necessidade de desenvolver currículos e abordagens de ensino para conciliar a Física Quântica não visualizável com a física clássica visualizável.” (MASHHADI; WOOLNOUGH, 1999, p. 515, tradução nossa).

No início do século XXI os resultados da pesquisa realizada na Universidade de *Oxford* contribuíram para estudos de outros pesquisadores da Universidade do Colorado (EUA), que atuaram no projeto *Physics Education Technology* (PhET), desenvolvendo simulação computacional para ensino do efeito fotoelétrico (MCKAGAN et al., 2007, 2009; MCKAGAN; PERKINS; WIEMAN, 2010; SOKOLOWSKI, 2013) e outras pesquisas que

serão apresentadas nas próximas seções deste capítulo. Aqui serão apresentados os estudos relacionados às dificuldades e concepções associadas ao ensino e aprendizagem dos conceitos.

Especialmente a respeito das concepções dos estudantes nos processos de ensino e aprendizagem de efeito fotoelétrico, McKagan et al. (2009) constataram que 42% dos estudantes em uma escola do Texas, após serem submetidos ao ensino tradicional, construíam, erroneamente, a crença que apenas a tensão é necessária e/ou suficiente para que ocorra o efeito fotoelétrico, definindo o sentido da corrente ou realizando a função trabalho ao movimentar os elétrons do metal. A pesquisa destaca a importância da elaboração de uma estratégia para explorar os conceitos associados ao efeito fotoelétrico, considerando que os métodos atuais de aprendizagem para o fenômeno investigam as potencialidades e dificuldades dos estudantes na compreensão do tema (MCKAGAN et al., 2009). Os resultados da pesquisa auxiliaram na elaboração de recursos didáticos com uso de simulações interativas em laboratório virtual no projeto PhET.

Jun-Young Oh (2011), na Universidade Nacional da Coreia do Sul, avaliou as concepções dos estudantes egressos dos cursos de Eletrônica e de Astronomia em relação ao conceito quantum de luz. O objetivo do estudo foi oferecer estratégias de ensino e suas sequências de instrução correspondentes, com base na metodologia lakatosiana, com a finalidade de mudar as concepções alternativas dos alunos para conceitos científicos, utilizando mapa de conflito sugerido por Tsai⁴. Segundo o autor, o conceito de quantização, com base em astrofísica e física moderna, pode aplicar-se a todas as regiões da radiação eletromagnética. A hipótese do pesquisador é que as concepções alternativas dos estudantes tiveram origem na física clássica, sendo, portanto, incompatível com a física moderna (OH, 2011).

A pesquisa realizada por Jun Young Oh (2011) demonstrou que a maioria dos estudantes resiste a mudanças em suas crenças fundamentais no estudo de efeito fotoelétrico, utilizando hipóteses auxiliares no processo de mudança conceitual, fundamentadas em conceitos da física clássica. Na visão do autor, a história e filosofia da ciência (no mapa de conflitos melhorado), juntamente com a metodologia e estratégia utilizada pelo professor poderão ser úteis nesse processo. Entre os objetivos, a pesquisa investigou a eficácia no uso

⁴ Tsai (2000) sugeriu usar o mapa de conflitos para lidar com as concepções alternativas dos alunos com base teórica no construtivismo, na solução de conflito entre as concepções alternativas dos alunos e conceitos científicos.

de mapas conceituais, com base na metodologia lakatosiana, para auxiliar os professores e estudantes a resolver conflitos cognitivos na explicação de fenômenos naturais, com o propósito de mudar as concepções alternativas dos estudantes. Também, o autor não considerou que as respostas dos alunos a eventos discrepantes, baseados em suas concepções alternativas, estivessem erradas.

Em 2014, nas Universidades Zonguldak e Ankara, da Turquia, uma pesquisa investigou o modelo mental dos estudantes sobre quantização da luz, energia e momento angular (DIDIŞ; ERYILMAZ; ERKOÇ, 2014). Os autores investigam como estudantes de licenciatura de física controem e organizam conhecimentos sobre a teoria quântica da luz, visto que quantização é um fenômeno importante para a teoria quântica, resultado de diferentes experiências práticas a ser explicadas a partir de uma mudança de paradigma na física. Os autores verificaram que os modelos utilizados pelos estudantes eram dependentes do contexto. Na quantização da luz, os estudantes usam modelos diferentes em diferentes contextos, para o mesmo fenômeno, mas conforme o contexto. Entretanto, para ser um bom físico, segundo os autores, o estudante deve apresentar o conhecimento científico de modo organizado, para que possa inferir durante as explicações e estabelecer relações entre os conceitos, auxiliando os estudantes a promover seus modelos por intermédio do uso de mapas conceituais e livros didáticos.

Em 2015, também na Turquia, Özgür Özcan realiza pesquisa pioneira para investigar as representações mentais dos estudantes para o efeito fotoelétrico, a partir da teoria quântica da luz. “Até agora, as pesquisas sobre modelos mentais e conceituais dos estudantes sobre a luz têm sido direcionadas a fenômenos como reflexão, refração, difração e interferência.” (ÖZCAN, 2015, p. 3). A motivação do autor foi investigar as concepções dos estudantes em fenômenos, como a radiação de corpo negro, o efeito fotoelétrico e o efeito Compton, que são explicados pelo modelo quântico da luz, a partir do uso de situações do contexto dos acadêmicos. Os dados da pesquisa foram coletados junto a 110 acadêmicos, na formação de professores para o ensino da Física, em duas diferentes universidades públicas da Turquia, onde os mesmos cursavam a disciplina de Física Moderna. As representações de modelos mentais dos acadêmicos, para as diferentes situações do contexto, eram realizadas por meio de desenhos e descrições.

Özcan (2015) verificou que os dados fornecidos pelos acadêmicos apresentavam três tipos de modelos: modelo ondulatório, modelo híbrido (ondulatório e de partículas) e modelo de partículas, ao explicar diferentes contextos. Especialmente para explicar efeito fotoelétrico,

os estudantes preferiam o modelo híbrido (de modo inadequado) e o modelo ondulatório, ao invés do modelo de partículas, mesclando concepções científicas e não científicas. O autor sugere a professores e pesquisadores o uso de mapas conceituais para avaliar e proporcionar aos estudantes que demonstrem a conexão dos conceitos, antes e depois da interação com o conhecimento. Também, o professor deve proporcionar condições para que o estudante desenvolva seus próprios modelos para o fenômeno, relacionado ao contexto explorado.

Em 2016, ainda na Turquia, Nilüfer Didiş Körhasan, Ali Eryılmaz e Şakir Erkoç continuam a pesquisa iniciada em 2014, na investigação dos modelos construídos por estudantes de Física, para os conceitos em quantização da luz, bem como a evolução nos modelos após a interação social. Um processo conhecido como atividade dialogada, sobre contextos que envolvem o fenômeno físico, coordenada pelo professor que conduziu o diálogo com o foco na construção do conhecimento. O ponto mais forte da instrução estava em investigar como um físico realiza na prática diária a observação da quantização, por meio de uma informação. Os pesquisadores afirmaram que houve uma influência negativa na diferença entre as perspectivas clássicas e quânticas, nas explicações dos estudantes (KÖRHASAN; ERYILMAZ; ERKOÇ, 2016).

Outras pesquisas publicadas nas celebrações do Ano Internacional da Luz, em homenagem aos 110 anos da publicação da revolucionária teoria quântica da luz, de Albert Einstein, eram, frequentemente, voltadas às concepções da teoria quântica na evolução da ciência e não no ensino da ciência. Ou eram direcionadas à evolução das concepções de fóton, para o modelo quântico da luz (MALGIERI; ONORATO; DE AMBROSIS, 2014; URJITA YAJNIK, 2016; YAJNIK, 2015).

De modo geral, a busca dos estudos sobre as representações dos estudantes demonstrou que as pesquisas nessa área são recentes e, ainda, carecem de novas investigações. As principais foram publicadas em meados do evento que celebrava o Ano Internacional da Luz (2015), direcionadas ao modelo mental utilizado por estudantes universitários de Física (DIDIŞ; ERYILMAZ; ERKOÇ, 2014; KÖRHASAN; ERYILMAZ; ERKOÇ, 2016; ÖZCAN, 2015). Essas demonstraram que os estudantes utilizam diferentes modelos para explicar o efeito fotoelétrico: modelo luz como onda eletromagnética (ou raio de luz), ou modelo misto (modelo ondulatório e modelo quântico) e nem sempre utilizam o modelo do quantum de luz, que depende do contexto aplicado. E, quanto às concepções alternativas apresentadas pelos estudantes, os resultados foram limitados pela carência de dados. Pode-se dizer que as evidências foram que as concepções alternativas estão

relacionadas aos conhecimentos da física clássica (MASHHADI; WOOLNOUGH, 1999), desenvolvendo modelos equivocados na explicação dos fenômenos.

2.4 SOBRE O USO DE MATERIAIS DIDÁTICOS EM EFEITO FOTOELÉTRICO

As pesquisas que tratam de materiais didáticos utilizados no ensino do efeito fotoelétrico, nesse trabalho de tese foram analisadas em dois grupos: artigos que investigam o uso de laboratório virtual, com uso de simulações computacionais e os que tratam do uso de atividades experimentais para uso em laboratório real no ensino do efeito fotoelétrico. Os artigos selecionados para essa última classificação, com foco na produção e transformação da luz, estariam definindo a aplicação de contexto para o ensino do tema. Nas buscas por efeito fotoelétrico um número limitado de pesquisas estava associado às atividades experimentais em laboratório. Entretanto, ao realizarmos as buscas relacionadas ao “quantum de luz” ou de “energia” destacaram-se experimentos com o uso de células fotovoltaicas ou células de silício em painéis solares, que foi adotado como tema de contexto em aplicações tecnológicas para as atividades de laboratório real.

2.4.1 Uso de simulações computacionais em efeito fotoelétrico

Aprendizagem baseada em simulação permite que os estudantes organizem as variáveis independentes e observem imediatamente os impactos, fornecendo um *feedback*. Quanto à interatividade proporcionada pela tecnologia para ensino do tema, a simulação computacional tem como benefício possibilitar aos estudantes explorar o efeito fotoelétrico, permitindo a variação das grandezas relevantes, como frequência, intensidade da luz e a função trabalho do metal.

Como pioneiros na busca, na Universidade de Washington, em 1996, Richard N. Steinberg, Graham E. Oberem e Lillian C. McDermott realizaram estudo para o uso de simulações computacionais com a intenção de avaliar a aprendizagem dos estudantes para efeito fotoelétrico. Na investigação foi desenvolvido um tutorial apoiado no uso de simulação computacional, para explorar as dificuldades conceituais e cognitivas identificadas por meio de entrevistas e análise de questões da prova de exame.

O estudo demonstrou que muitos estudantes não têm uma compreensão no modelo experimental de efeito fotoelétrico, conforme a teoria quântica de Einstein. Para os autores, os estudantes apresentam as seguintes concepções: (i) que a tensão ($V = R \cdot i$) interfere no efeito

fotoelétrico; (ii) dificuldade de diferenciar intensidade da luz (fluxo de fótons) da frequência da luz (energia do fóton); (iii) crença de que o fóton é um objeto com carga; (iv) eram incapazes de fazer qualquer previsão de representação gráfica da corrente pela tensão em um experimento que envolva efeito fotoelétrico ou (v) incapacidade de dar qualquer explicação sobre fótons no efeito fotoelétrico (STEINBERG; OBEREM; MCDERMOTT, 1996). A pesquisa realizada foi de singular importância para o desenvolvimento de simulações computacionais⁵ realizadas pelo projeto *Physics Education Technology* (PhET), na Universidade do Colorado.

Em 2007, nos EUA, outro grupo de pesquisadores (MCKAGAN et al., 2007) avaliaram (a) o uso de simulações computacionais para ensino do efeito fotoelétrico, acompanhadas por aulas expositivas e atividades de resolução de problemas (em atividade de casa), e (b) como os estudantes utilizam o modelo de fóton de luz. Após analisar as respostas dos estudantes, os pesquisadores observaram que eles eram capazes de prever os resultados dos experimentos sobre efeito fotoelétrico, inclusive, para efeitos na variação de tensão – que foi uma das dificuldades relatadas em pesquisa anterior (STEINBERG; OBEREM; MCDERMOTT, 1996). Já na análise das questões para avaliar a concepção dos estudantes sobre o fóton de luz, a maioria deles indicou corretamente as observações e as inferências envolvidas no efeito fotoelétrico. No ano seguinte, outro estudo foi realizado pelo mesmo grupo de pesquisadores (MCKAGAN et al., 2007), avaliando o uso de simulações computacionais do Projeto *Physics Education Technology* (PhET).

No ano seguinte, no Brasil, Sales et al. (2008) utilizaram modelagem exploratória do objeto de aprendizagem Pato Quântico, para realizar um experimento com estudantes de ensino médio, onde poderiam explorar efeito fotoelétrico com cálculo da constante de Plank para diferentes materiais. “A interação dos estudantes com o software resultou em uma aprendizagem significativa do fenômeno efeito fotoelétrico, com eficiente transposição didática dos conteúdos e o fortalecimento de mudança conceitual.” (SALES et al., 2008, p. 3501-3511). Os autores sugerem que a metodologia seja utilizada para auxiliar os estudantes na construção de novos modelos na Física Quântica, visto que o *Dossiê* utilizado na avaliação demonstrou a compreensão conceitual em efeito fotoelétrico.

Ainda no Brasil, quatro anos depois, simulação computacional para o ensino do efeito fotoelétrico do projeto PhET foi utilizada juntamente com uma sequência de atividades:

⁵ A simulação encontra-se disponível em: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/photoelectric>.

organizadores prévios, simulação computacional junto com o roteiro de atividades e um mapa conceitual como organizador explicativo, atividades elaboradas a partir da teoria da aprendizagem significativa, de modo a contribuir com a organização da estrutura de conceitos (CARDOSO; DICKMAN, 2012). Os autores sugerem que em trabalhos futuros sejam realizados o aprofundamento da teoria de Ausubel, no sentido de avaliar a eficácia do uso de simulações computacionais na aprendizagem significativa, tornando os conceitos mais inclusivos na estrutura cognitiva dos estudantes.

No ano seguinte, no Texas (EUA), Andrzej Sokolowski aplica a mesma simulação computacional do grupo PhET, para efeito fotoelétrico, a um grupo de estudante de ensino médio. Os estudantes foram submetidos a uma pergunta descritiva, com o propósito de investigar seus *insights* em relação à função da bateria em um circuito fotoelétrico (SOKOLOWSKI, 2013). O propósito dessa investigação era observar os processos de raciocínio dos estudantes, comparando com as concepções observadas nas pesquisas anteriores (MCKAGAN et al., 2009; STEINBERG; OBEREM; MCDERMOTT, 1996). Após o uso das simulações, a maioria dos estudantes respondeu corretamente, explicando a finalidade da bateria, alguns tinham a certeza do motivo pelo qual a bateria não contribuiria para o aumento na intensidade da fotocorrente.

Em 2015, Erdal Taşlıdere, da Universidade Mehmet Akif Ersoy, da Turquia, apresentou resultados similares aos de Washington (STEINBERG; OBEREM; MCDERMOTT, 1996), em quatro turmas na formação de professores de ciências, ao utilizar simulação computacional em efeito fotoelétrico (TAŞLIDERE, 2015). Os acadêmicos foram divididos em grupo experimental (com uso de simulações computacionais) e grupo controle (com ensino tradicional), estudando o mesmo assunto. Na pesquisa realizada por Taşlıdere foi utilizada a metodologia 5E (*engagement, exploration, explanation, elaboration and evaluation*), que em sua tradução para o português é engajamento, exploração, explicação, elaboração e avaliação. Os resultados das provas no final da pesquisa demonstram que alguns dos estudantes consideravam o potencial elétrico fornecido como condição preliminar para o fluxo de corrente no circuito fotoelétrico.

O autor utilizou a metodologia 5E do seguinte modo: na fase engajamento, além de atrair a atenção dos acadêmicos, são avaliadas suas concepções; na fase de exploração, os estudantes têm o primeiro contato com fenômenos científicos; na fase de explicação, com ajuda do professor, os estudantes têm a oportunidade de explicar seu entendimento; na fase de elaboração, são proporcionadas novas experiências para a compreensão dos estudantes e, na

fase de avaliação, os estudantes são incentivados a avaliar o seu próprio entendimento e auxiliar o professor a avaliar o seu desenvolvimento quanto aos objetivos educacionais (TAŞLIDERE, 2015). A pesquisa sugere que novas investigações venham a integrar as simulações computacionais com o ciclo 5E, a fim de avaliar a eficácia na aprendizagem de conceitos em efeito fotoelétrico.

2.4.2 Aplicações de contexto para uso de laboratório didático em efeito fotoelétrico

Na mecânica quântica, o efeito fotoelétrico é importante componente no ensino da Física, especialmente, em fornecer uma base para a compreensão da natureza do fóton. A literatura precedente a esta pesquisa indica que a instrução de laboratório com estudantes de ensino superior para o efeito fotoelétrico surgiu a partir de 1960 (KLASSEN et al., 2012). Porém, segundo os autores, o trabalho experimental sobre efeito fotoelétrico passou a ser utilizado após desenvolvimento em eletrônica do estado sólido, com a superação de dificuldades técnicas. Entretanto, a execução dos experimentos era limitada e bastante complexa (WRIGHT apud KLASSEN et al., 2012). Por conta disso, conforme relatado anteriormente, há poucos trabalhos com foco específico em aspectos pedagógicos para o uso de laboratório em efeito fotoelétrico, conforme observado nas buscas bibliográficas para a construção da tese. A pesquisa bibliográfica anteriormente realizada (REIS; SERRANO, 2017b) demonstrou que o uso de recursos experimentais, fundamentados em proposta didático-pedagógica para o ensino do tema, apresenta dois fatores limitadores: a escassez de aplicações em pesquisas e a complexidade em sua execução em laboratório experimental de física para fins didáticos.

Entre os exemplos, no Brasil (PARANHOS; LOPEZ-RICHARD; PIZANI, 2009), um experimento com uso de lâmpada de Hg foi realizado na Universidade Federal de São Carlos (SP), em cursos de Licenciatura de Física. O experimento foi desenvolvido com objetivo didático na introdução do efeito fotoelétrico e prático com uso de equipamento para as demonstrações do fenômeno. Os autores destacam a importância em desenvolvimento didático (especialmente, na formação de professores), recomendando aspectos vinculados à segurança dos estudantes. O projeto forneceu desafios no desenvolvimento de competências práticas, didáticas e de pesquisa para estudantes de licenciatura. Em se tratando de estudantes em fases iniciais da graduação, os desafios com a segurança ganham proporção.

Conforme relatado no início da seção, nas buscas aos trabalhos associados à natureza da luz, os termos (quantum de luz e quantum de energia) sugeriram o uso de células fotovoltaicas em aulas de física. O princípio de funcionamento da tecnologia fundamenta-se na transformação de luz em corrente elétrica, conhecido como princípio fotovoltaico. As pesquisas apresentadas nessa seção demonstram que o uso experimental da tecnologia fotovoltaica em ensino de Física foi impulsionado nos últimos anos por dois fatores: as tratativas acordadas no protocolo de Quioto (2008 a 2012), na redução de gases do efeito estufa (SARK, 2007) e o movimento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), com foco na educação para o desenvolvimento de competências na liderança global do conhecimento (DARK, 2011).

O primeiro estudo foi realizado na Universidade Monash, na Austrália, onde pesquisadores desenvolveram um experimento muito simples com estudantes universitários, nas aulas de física, com o propósito de avaliar medidas de corrente e tensão (I-V) em uma célula solar fotovoltaica, bem como fatores que interferem na eficiência da célula de silício na conversão da luz em energia (MORGAN; JAKOVIDIS; MCLEOD, 1994).

Alguns anos depois, na Holanda, Wilfried van Sark (2007) utilizou as células fotovoltaicas para motivar mestrandos a realizarem atividades práticas em sala de aula, onde calculam o rendimento anual do painel fotovoltaico, incidência da radiação solar, tensão e outras variáveis utilizando planilha. A partir dos cálculos da eficiência fotovoltaica e rendimento anual, com foco na conversão de energia, nas atividades são realizados comparativos entre a eficiência no campus da Universidade de Utrecht e no deserto do Saara Africano. A pesquisa concluiu que a energia fotovoltaica é tecnologia em energia renovável para ser usada em ensino, podendo ser parte de cursos de pós-graduação. Os princípios básicos das células fotovoltaicas podem ser ensinados em aulas de engenharia ou física, a partir de semicondutores ou desempenho (rendimento anual) dos painéis fotovoltaicos, que muitas vezes não é tratado nesses cursos (SARK, 2007).

Também com foco na eficiência energética das células fotovoltaicas, Arman Molki que atuava no Instituto do Petróleo de Abu Dhabi (Emirados Árabes Unidos), desenvolveu um experimento para avaliar a perda de eficiência gerada pelo acúmulo de poeira sobre o painel, em virtude da abundância de areia no deserto. O autor sugere que o tema energias renováveis seja incluso nos currículos de ciências nas instituições de ensino primário e secundário nos países dos Emirados Árabes Unidos (EAU), que dependem fortemente das exportações de petróleo e gás, com o propósito de educar a população local a investir na

radiação solar, usando células fotovoltaicas. Molki (2010) utilizou o experimento de célula solar simples realizado em pesquisa anterior (MORGAN; JAKOVIDIS; MCLEOD, 1994), para calcular a potência máxima de geração de um painel fotovoltaico e, sob diversas situações de acúmulo de pó, determina a perda de eficiência de conversão, em comparação com um painel fotovoltaico limpo. O experimento pode ser realizado em sala de aula ou ao ar livre, em um período mais longo (semanal ou mensal) para avaliar a influência no acúmulo natural de poeira, utilizando iluminação natural ou artificial.

No Departamento de Física da Faculdade de *Spelman* (EUA), Marta L Dark (2011) desenvolveu o projeto módulo células fotovoltaicas para um curso de verão para público feminino, na inserção da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM), com oito mulheres ingressantes em uma faculdade de público feminino. A autora afirma que acadêmicos interessados em carreiras na ciência, tecnologia e engenharia nos próximos dez anos devem encontrar muitas oportunidades na área. Entre as conquistas da pesquisa, a autora destaca a importância da tecnologia na aquisição de novos conhecimentos pelos estudantes (DARK, 2011). Entre esses o fato de que a corrente e a tensão diminuem à medida que a temperatura aumenta nas células fotovoltaicas de silício. Quanto às habilidades matemáticas, os estudantes realizam coleta e análise de dados, gráficos, análise de incertezas e conversão de unidades. Por fim, o trabalho desenvolvido na pesquisa proporcionou aos estudantes desenvolvimento de comunicação científica (artigo) e interesse por carreira na ciência e na engenharia.

Ainda em 2011, na Universidade de Toulouse da França, foi investigado como podem ser caracterizados e testados os valores (potência, corrente e tensão), expressos pelos fabricantes, por estudantes de graduação (BOITIER; CRESSAULT, 2011). Os estudantes também investigaram o efeito dos vários parâmetros (a tecnologia utilizada, a intensidade da iluminação, temperatura, posição geográfica, inclinação), para a eficiência na produção de energia. Para facilitar o estudo dos dados os estudantes construíram uma estação automática, com uso de computador. Os autores apontam que realizar trabalhos experimentais com fontes renováveis de energia motiva os estudantes à aprendizagem, inclusive, para outros conceitos e outras áreas (com funcionamento da tecnologia ou custos de produção da energia).

Em 2013, no colégio de Davidson, de Carolina do Norte (EUA), Tim Gfroerer utilizou o painel solar fotovoltaico como recurso didático para explorar as leis da física para os circuitos elétricos, na disciplina de eletrônica. O autor considera o painel solar fotovoltaico um excelente recurso para as aulas, podendo auxiliar no estudo os circuitos e, ainda,

relacionar o conhecimento com a preservação ambiental. Nesse sentido, para um futuro energético mais sustentável, os sistemas fotovoltaicos compostos por séries de módulos solares serão cada vez mais comuns. No contexto, estudantes “têm uma participação importante na transição para tecnologias de energia alternativa, de modo que a familiaridade com os parâmetros operacionais subjacentes de dispositivos como módulos solares será cada vez mais valiosa.” (GFROERER, 2013).

No mesmo ano outra pesquisa com uso de atividades práticas em células solares foi desenvolvida nos EUA. Nesse caso, os semicondutores de silício eram utilizados na aprendizagem sinestésica em ensino do efeito fotoelétrico (RICHARDS; ETKINA, 2013). Segundo os autores, as células solares têm sido apresentadas para incentivar a participação dos estudantes no ensino dos conceitos no efeito fotoelétrico e, conseqüentemente, melhorar os resultados de aprendizagem. A explicação física para o funcionamento das células solares fotovoltaicas é comumente fundamentada na teoria dos semicondutores, com células solares em eletricidade. O silício, nesse caso, “comporta-se como isolante até que haja uma fonte de energia externa, como a luz do Sol, capaz de ‘dar um impulso’ em seus elétrons da banda de valência para a banda de condução, tornando-os portadores de corrente.” (RICHARDS; ETKINA, 2013, p. 578, tradução nossa).

O uso da tecnologia fotovoltaica como situação contexto, aplicada na produção e transformação da luz, oportunizou o desenvolvimento de vasto campo na indústria da energia por meio dos painéis fotovoltaicos. Conseqüentemente, a energia solar fotovoltaica passa a ser tema de discussão em ensino de ciências, especialmente, nas engenharias, em diferentes partes do Planeta. A pesquisa demonstrou que a tecnologia pode ser aplicável em diferentes níveis de ensino (fundamental a pós-graduação), podendo ser utilizada para explorar uma variedade de conceitos científicos e matemáticos. Os artigos pesquisados e analisados proporcionaram ganhos significativos à pesquisa realizada nessa tese. Trata-se de uma tecnologia mundialmente conhecida, sendo que as primeiras observações do efeito fotoelétrico remontam ao início do século XIX, a partir de obras de Alexandre Edmond Becquerel, Heinrich Hertz, Wilhelm Hallwachs e Joseph John Thomson (DEMMING, 2010) e foi difundida após a publicação do artigo de Albert Einstein (1905) sobre a natureza da luz, o quantum de luz.

2.4.2.1 Ciências e tecnologia do silício

- a) Propriedades Químicas do Silício na Energia Fotovoltaica.

A maioria das células solares é feita de silício, pois apresentam alta eficiência e a matéria-prima para a fabricação dessas células é abundante, já que o silício, geralmente, é obtido por meio da fusão da areia de quartzo puro com carbono, com a possibilidade de manipulação na condutividade (APPLEYARD, 2006). O átomo de silício (Si) tem número atômico 14 e massa atômica 28, portanto, contém 14 prótons e 14 elétrons, com característica cristalina de formato aparentemente de um cubo.

Os semicondutores, que podem ser observados entre metais e isoladores, apresentam algumas propriedades importantes (JENKINS, 2005): (i) a condutividade varia quando o semicondutor é dopado com pequenas quantidades de átomos de impureza; (ii) nos semicondutores a condutividade aumenta à medida que a temperatura do material aumenta, enquanto que nos metais diminuirá com o aumento da temperatura; (iii) a condutividade dos semicondutores pode aumentar na presença de luz, fenômeno conhecido como fotocondutividade (essa propriedade é discutida na próxima seção).

Quanto ao processo de manipulação na condutividade, artigo publicado na década de 1970 apresenta uma explicação simplista para a dopagem do silício (GREAVES, 1970): cada átomo de silício tem quatro elétrons na última camada de valência, que participam de ligação com quatro átomos vizinhos. E, se são adicionados átomos com cinco elétrons na camada de valência, como o silício com o fósforo, quatro desses elétrons serão usados na ligação química ao silício e o quinto se tornará um elétron livre ou elétron de condução (material tipo-n). Por outro lado, se são substituídos alguns dos átomos de silício por alguns átomos com apenas três elétrons na camada de valência, comumente esse material é o boro, haverá um elétron em falta na ligação, agindo como íon positivo ou “buraco⁶” (material é um semicondutor de tipo-p). Em diferentes regiões da mesma peça de silício, os elétrons do tipo-n próximos ao do tipo-p se fundem para suprir o desequilíbrio, produzindo um campo elétrico. A intensidade do potencial elétrico na região de junção é controlada pelo número de átomos de impureza do tipo p (receptores) e pelo número de átomos de impurezas de tipo n (doadores).

Em 2013 outros pesquisadores da Universidade Rutgers (USA) utilizaram a explicação de Greaves (1970) em ensino de ciências, para explorar com os estudantes o processo de ligação n-p nas células solares com semicondutores de silício dopado, utilizando uma dinâmica com atividade sinestésica, conforme relatada anteriormente (RICHARDS; ETKINA, 2013).

⁶ O termo *hole*, do inglês, pode ser traduzido como buraco, furo ou a falta de algo (ou espaço vazio). Nesta pesquisa o termo foi representado por buraco.

De acordo com a teoria quântica da matéria, a quantidade de energia possuída por qualquer elétron, num material, é representada em níveis de energia, sendo que o fluxo de corrente somente ocorre quando os elétrons se encontram na banda de condução ou em ligação covalente (APPLEYARD, 2006). Por conta disso, segundo o autor, em materiais isolantes a diferença de energia é grande, nos metais as bandas de valência e condução se sobrepõem e os semicondutores apresentam baixa condutividade elétrica, sendo necessário o processo de dopagem relatado anteriormente.

Quanto ao tipo de células fotovoltaicas, estas do tipo padrão, são produzidas utilizando um ou mais fragmentos de cristal de silício dopado, que são conhecidos como mono e policristalino (SAGA, 2010). O autor aponta a diferença entre as células de silício: células monocristalino têm dimensão 125 mm^2 (5 polegadas²) e as policristalinas 156 mm^2 (6 polegadas²). Outra diferença está na eficiência energética, nesse caso, as monocristalinas são um pouco mais eficientes. Por fim, o autor relata como ocorre a composição e montagem das camadas do tipo-n (primeira camada) e do tipo-p (última camada) em uma célula de silício, de modo que ocorra a mobilização dos elétrons entre as camadas n-p pelo desequilíbrio entre as cargas.

As primeiras observações do efeito fotoelétrico remontam ao início do século XIX, a partir de obras de Alexandre Edmond Becquerel, Heinrich Hertz, Wilhelm Hallwachs e Joseph John Thomson; a teoria que melhor explica o fenômeno foi esclarecida por Albert Einstein, em 1905 (DEMMING, 2010). A manifestação da quantização ocorre na excitação de elétrons, de modo a serem ejetados para a banda de valência do material, produzindo o que chamamos o efeito fotocondutor ou fotovoltaico.

b) Fotocondutividade no Silício à Luz da Teoria Quântica

Para compreender a origem do uso do silício na tecnologia fotovoltaica, é importante voltar às raízes dos semicondutores do silício, a partir de uma visão da história da ciência, para os semicondutores e a teoria quântica da luz. Em semicondutores, o primeiro estudo foi realizado por Michael Faraday, em 1833, que investigou a influência da temperatura na condutividade elétrica no sulfureto de prata (atualmente denominado sulfeto de prata), que foi um termo utilizado primeiramente por Faraday (JENKINS, 2005).

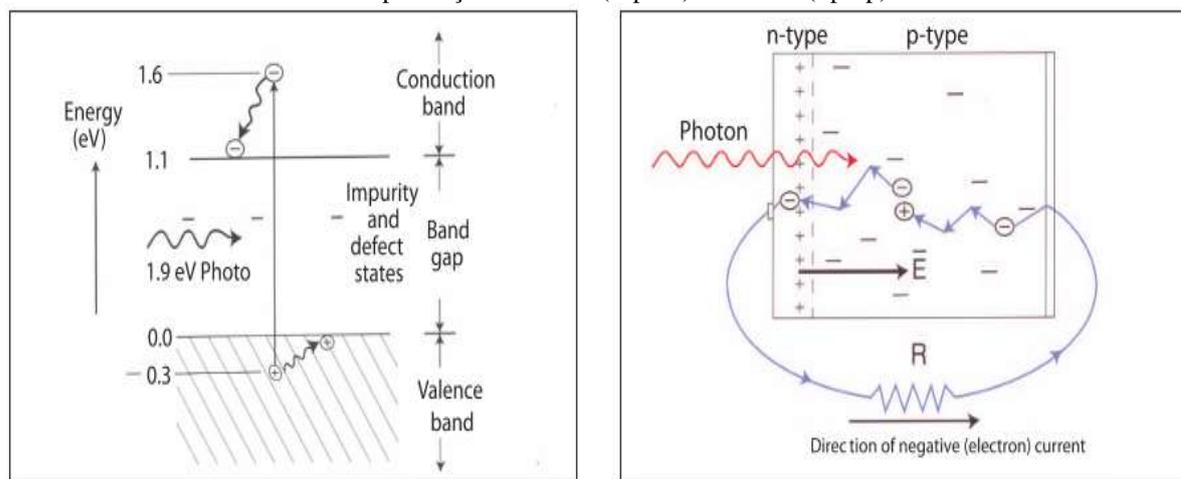
A origem da mecânica quântica reporta à década de 1920. A historicidade em ensino de ciências converge para a teoria quântica da luz, com destaque na pesquisa revolucionária de Albert Einstein (1905) para as ciências (NIAZ et al., 2010). O artigo *Sobre um ponto de vista heurístico relativo à produção e transformação da luz* (EINSTEIN, 1905), que tratava

do efeito fotoelétrico, atribuiu a Albert Einstein, em 1921, o Prêmio Nobel de física. Conforme relato de Niaz et al. (2010), esse reconhecimento teve pouca aceitação científica na época e muitos cientistas relutaram em aceitar a teoria quântica de Einstein, entre eles, Max Planck (fundador da teoria quântica), que reteve a aprovação até quase 1913. Quanto ao uso do termo “fóton”, este foi inventado somente em 1926 pelo químico Gilbert Lewis, ao apresentar de forma equivocada o “quantum de luz” de Albert Einstein e o termo foi adotado pela comunidade científica quando Compton (1927) começou a usá-lo (KLASSEN, 2011).

Mais tarde, outros pesquisadores verificaram que a energia do fóton, que provém da luz e pode ser definida através da equação $E=h.v$ (onde h é a constante de Planck e v é a frequência da radiação), é a energia necessária para manter “elétrons livres” e “buracos” em uma rede semicondutora (GREAVES, 1970). O efeito da luz nas células solares fotovoltaicas, no processo conhecido como fotocondutividade, tem sido explicado em muitos artigos em ensino de Física. Neles é possível destacar que “o coração de uma célula solar é a junção p-n e quando o cristal absorve a luz (o efeito fotoelétrico interno), os pares elétron-buraco aparecem.” (RICHARDS; ETKINA, 2013). E, os elétrons livres e buracos são “ejetados” em direções opostas pelo campo elétrico da junção p-n, resultando em corrente elétrica.

Portanto, a célula solar fotovoltaica é um dispositivo eletrônico que converte energia luminosa em energia elétrica num processo triplo (FELDMAN, 2010): (a) um quantum de luz (fóton) deve ser absorvido por um elétron, aumentando a energia potencial elétrica do elétron; (b) o elétron energizado passa do seu estado inicial de energia inferior antes que a energia potencial elétrica seja toda perdida em calor; (c) o elétron energizado contribui para que haja uma corrente através de um circuito externo. No artigo, o autor apresenta uma figura ilustrativa comparando um fóton que atinge o silício puro (esquerda) e no silício modificado (direita), com a presença do fósforo (+) e do boro (-). Ao ser criado um par de elétron-buraco, a partir da absorção de um fóton na região do tipo-p, é criado um campo elétrico gerando uma corrente que flui na célula solar (Figura 1).

Figura 1 - Esquema demonstrativo do fóton ao atingir uma célula de silício sem a dopagem (esquerda) e dopado com a presença do fósforo (Tipo-n) e do boro (tipo-p).



Fonte: Feldman (2010).

Pesquisas anteriores têm demonstrado que a tecnologia fotovoltaica pode ser utilizada como recurso didático em ensino de ciências para diferentes componentes curriculares: nos circuitos elétricos aplicados à Lei de *Kirchhoff* (GFROERER, 2013); em estudos de eficiência energética (KRAFTMAKHER, 2008; MOLKI, 2010; SARK, 2007) e semicondutores, conforme relatado.

A tecnologia possibilita, por exemplo, avaliar a eficiência quântica (EQ) η , uma propriedade importante em um detector de luz e pode ser determinada no laboratório de Física na graduação (KRAFTMAKHER, 2008). A eficiência quântica (QE) η de um detector de luz, nesse contexto, é definida a partir da razão entre o número de elétrons liberados no efeito fotoelétrico e o número de fótons incidentes ou absorvidos, dependendo da porcentagem de fótons que atingem a área fotossensível, emitindo elétrons ou pares de elétrons-buraco, conforme o comprimento de onda do fóton (ou frequência). Portanto, as tecnologias em energia renovável podem ser utilizadas com estudantes de graduação e pós-graduação, como na solução de problemas em sala de aula para demonstrar a diferença entre a eficiência e o rendimento anual da célula fotovoltaica (SARK, 2007).

Na Universidade investigada, os acadêmicos da 4ª fase dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária utilizam a tecnologia nas aulas experimentais, na disciplina de Física III, no estudo do tema efeito fotoelétrico. Os estudantes que participam dessas atividades desfrutam da oportunidade de rever conceitos estudados em aulas anteriores e aplicá-los em medições, cálculos e aplicações da tecnologia fotovoltaica.

Quando analisados por áreas, havia certa convergência para determinado local (REIS; SERRANO, 2017b). Na classificação historicidade, é possível afirmar que as pesquisas de maior relevância para a história e filosofia da ciência para o efeito fotoelétrico foram desenvolvidas por pesquisadores no Canadá (NIAZ et al., 2010; KLASSEN, 2011; KLASSEN et al., 2012), onde foram encontrados quatro dos nove artigos. Estudos relativos à construção de conceitos, especialmente, quanto às representações ou modelo mental dos estudantes, três dos seis artigos foram encontrados na Turquia. No uso de recursos didáticos, no uso de laboratório computacional a desenvolvida pelo grupo PhET foi a mais indicada para a construção dos conceitos (5 dos 6 artigos tratavam do uso dessa simulação). Quatro dos seis artigos eram de pesquisas realizadas nos Estados Unidos da América, na Universidade do Colorado, com este grupo, conforme anteriormente relatado (seção 2.3). E, no uso de laboratório experimental, especificamente para conceitos subjacentes à transformação da luz ou natureza da luz ou quantum de luz, verificamos que os dois artigos de maior relevância para esta pesquisa estavam nos Emirados Árabes Unidos.

A composição do estado da arte sobre a historicidade, aprendizagem de conceito e contexto, nas pesquisas relacionadas à produção e transformação da luz no efeito fotoelétrico, proporcionou-nos algumas respostas relevantes à nossa pergunta de pesquisa e uma contribuição amplamente favorável à construção dos instrumentos utilizados na pesquisa.

Quanto às datas históricas (2005 e 2015), estas demonstraram influência significativa em mudanças no ensino de ciências. A evidência, na relevância dos eventos, para as pesquisas sobre efeito fotoelétrico foi observada em todas as áreas investigadas no trabalho: na historicidade, construção de conceitos e uso de materiais didáticos (simulações computacionais e laboratório real). A partir dos dados pode-se concluir que um evento histórico na ciência pode engajar educadores e estudantes ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia e, como nesse caso, contribuir para mudanças no Planeta e no uso dos recursos.

Quanto à aprendizagem de conceito, não encontramos uma resposta clara a respeito da representação conceitual dos estudantes em efeito fotoelétrico. Algumas pesquisas demonstram que o modelo mental do conceito de fóton, utilizado pelos acadêmicos, é comumente associado a “esferas de luz” (MASHHADI; WOOLNOUGH, 1999). Ao explicar a natureza da luz, a hipótese dos autores é que os estudantes utilizam conceitos e princípios clássicos da luz (OH, 2011). A fim de auxiliar os estudantes na construção de conceitos científicos para o efeito fotoelétrico, as pesquisas indicam o uso de simulações computacionais (MCKAGAN et al., 2007). Segundo o autor, a simulação pode auxiliar na

investigação das concepções apresentadas pelos estudantes ou avaliar *insights* apresentados durante a construção dos conceitos.

Quanto aos recursos didáticos utilizados pelos professores na construção de conhecimentos sobre efeito fotoelétrico, constatou-se que no uso das simulações computacionais, como recurso didático para o ensino do tema, a simulação do grupo PhET foi a mais indicada para a construção de conceitos em efeito fotoelétrico. Autores têm apontado que quando utilizada com uma proposta didática (como 5E), esta pode ser um bom recurso na construção de conceito, inclusive, para mudanças nas concepções dos estudantes (TAŞLIDERE, 2015). O uso desse recurso também foi indicado a fim de proporcionar aos estudantes a aprendizagem significativa dos conceitos (CARDOSO; DICKMAN, 2012).

Por último, quanto à pergunta associada ao uso de recursos para laboratório experimental em efeito fotoelétrico, as pesquisas sugerem o uso de tecnologia fotovoltaica em atividades experimentais para o ensino do tema. A análise das pesquisas demonstra que a tecnologia utilizada com aplicação de contexto permite, também, relacionar o experimento com outros componentes curriculares, como: leis aplicadas aos circuitos elétricos; eficiência energética na transformação da luz; semicondutores; entre outros. A expansão da disseminação da tecnologia fotovoltaica em ensino pode, conseqüentemente, motivar a sociedade no uso da energia do Sol, em diferentes aplicações.

Quanto à possibilidade de relacionar historicidade, conceito e contexto em efeito fotoelétrico, ou no estudo da natureza quântica da luz, a pesquisa bibliográfica demonstrou a necessidade de investigação prática e didática, aplicando o uso de tecnologia fotovoltaica como situação de contexto associada ao uso de simulações computacionais. Possivelmente, a união dessas áreas pode ser um ponto importante para uma verdadeira compreensão, por parte de estudantes, da produção e transformação da luz em efeito fotoelétrico, sob a ótica da mecânica quântica. Também, as pesquisas demonstraram a possibilidade do uso da situação contexto para inserir o estudante no movimento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), como tem demonstrado pesquisa no uso dessa tecnologia (DARK, 2011).



3 REFERENCIAL TEÓRICO

Na construção da fundamentação teórica para a pesquisa de tese sobre o efeito fotoelétrico em ensino de Física, priorizou-se por uma articulação entre a Teoria da Aprendizagem Significativa, apresentada originalmente por David Ausubel, também utilizada como referencial teórico por Marco Antônio Moreira (MOREIRA, 1999a, 1999b), e Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) de Bruno Campello de Souza, apresentada em sua tese de doutorado (2004). Também foram utilizados artigos e teses posteriormente publicados. Entre as teorias que seguem a proposta construtivista, buscou-se apropriar-se das que possam avaliar como os estudantes aprendem quando submetidos à Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), com uso de laboratório computacional.

A proposta de pesquisa para o trabalho de tese está em construir e investigar o uso de uma UEPS (MOREIRA, 2011), por meio de uma sequência didática fundamentada em historicidade, construção de conceito e contexto em ensino de Ciências. Nesse caso, a pesquisa utilizaria como marco teórico a teoria da aprendizagem significativa, pelo fato de a UEPS ser fundamentada nesse referencial teórico. E, a Teoria da Mediação Cognitiva, apresentada por Souza (2004), é um referencial teórico apropriado para investigar como o uso de artefatos tecnológicos pode auxiliar os estudantes na aprendizagem dos conceitos, propostos através da UEPS – sejam eles simulações computacionais ou experimentos.

Os procedimentos para desenvolvimento textual ocorreram em duas etapas: Inicialmente, por meio de sítios de busca e acesso a trabalhos de teses na área, foram localizados os documentos. Após a seleção da literatura e estudo exploratório dos

documentos, estes foram identificados e classificados a partir das contribuições para o presente trabalho. Como ferramentas na organização e análise dos dados foi utilizada a Plataforma *Mendeley*, proporcionando acesso das informações pelas entradas de termos utilizados na classificação das informações, conforme as teorias a serem apresentadas.

Os critérios utilizados na seleção das pesquisas foram: (i) uso de aprendizagem significativa ou Teoria da Medição Cognitiva (TMC) como marco teórico; (ii) pesquisas em ensino de Ciências; (iii) publicações avaliadas por pares e/ou bancas; (iv) de livre acesso, como no portal de periódicos da Capes e/ou banco de teses. Foram selecionadas, nesta busca, publicações em livros, artigos de revistas nacionais e internacionais e teses de doutorado.

3.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA – TAS

A teoria da Aprendizagem Significativa, fundamentada por David Paul Ausubel⁷ (AUSUBEL, 1978; AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 1968) foi posteriormente apresentada por Moreira (1999a, 1999b), o qual registra aplicações e implicações da teoria de Ausubel para o ensino e a aprendizagem em sala de aula.

Moreira (1999) contextualiza três tipos de aprendizagem: (i) *aprendizagem cognitiva*, sendo a que resulta da apropriação organizada das informações na estrutura cognitiva do aprendiz; (ii) *aprendizagem afetiva*, a que resulta dos sinais internos, relacionada a experiências, como prazer, dor, satisfação, alegria, ansiedade; (iii) *aprendizagem psicomotora*, associada a respostas musculares por meio de treinos e práticas. Entretanto, o foco na teoria de Ausubel está na aprendizagem cognitiva, a qual será utilizada neste trabalho.

Para Ausubel, um professor que adota inicialmente princípios estabelecidos a partir da aprendizagem de sala de aula, poderá escolher racionalmente novas técnicas de ensino, onde o conjunto de princípios relacionados, constituindo uma teoria compreensiva da aprendizagem da classe é nitidamente superior a uma coleção de princípios discretos adotados por um professor, ainda que aplicado na maioria das situações educacionais. Consequentemente, uma teoria cognitiva apresenta bons resultados, independentemente do professor.

Para Ausubel, “aprendizagem significa organização e interação do material na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 1999b), sendo essa estrutura conhecida como organização,

⁷ David Paul Ausubel foi professor Emérito da Universidade de Columbia, viveu em Nova Iorque de 25 de outubro de 1918 a 09 de julho de 2008. Médico psiquiatra de formação, porém se dedicou à psicologia da educação. Ao aposentar-se Ausubel volta à psiquiatria, assumindo, deixando Novak como sucessor na divulgação da teoria de aprendizagem significativa.

conteúdo, ideias ou conhecimentos. E, no contexto de sala de aula, o que mais influi na aprendizagem é o que o estudante já sabe e como o professor vai identificar o que o estudante sabe e como vai ensinar os novos conhecimentos, por influência do novo material.

O conceito de aprendizagem significativa, segundo a teoria de Ausubel (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980),

Uma relação não arbitrária e substantiva, significa que as ideias são relacionadas a algum aspecto relevante existente na estrutura cognitiva do estudante, como, por exemplo, uma imagem um símbolo, um conceito ou uma proposição. A aprendizagem significativa pressupõe que o aluno manifeste uma disposição para a aprendizagem significativa, ou seja, uma disposição para relacionar de forma não arbitrária e substantiva o novo material a sua estrutura cognitiva e, que o material aprendido seja potencialmente significativo, principalmente incorporável a sua estrutura de conhecimento através de uma relação não arbitrária e não literal.

Desse modo, os novos conceitos e conhecimentos podem ser aprendidos (e retidos) e interagir com outros conceitos, proposições e teorias na estrutura cognitiva do aprendiz, por influência da interação (não por uma simples associação) entre os conhecimentos ancorados e novos materiais, modificando-se em razão de sua ancoragem (MOREIRA, 1999a).

Portanto, duas características são essenciais na aprendizagem significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980): “(i) o material de aprendizagem, por si, só pode ser relacionado a qualquer estrutura cognitiva apropriada, de forma não arbitrária e não literal; (ii) novas informações podem ser relacionadas às ideias básicas relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aluno.”

Cabe destacar, como relata Ausubel, que a aprendizagem significativa não é sinônimo de material significativo. Em primeiro lugar, o material de aprendizagem é apenas potencialmente significativo. Em segundo lugar, deve ter uma disposição para a aprendizagem significativa. Dessa forma, a simples utilização do material significativo de forma inadequada (decorar) é desassociada da aprendizagem significativa.

Consequentemente, “uma das condições para a ocorrência da aprendizagem significativa é que o material a ser aprendido seja relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não-literal.” (MOREIRA, 1999a). Um material com essa característica é considerado potencialmente significativo.

Ausubel define, também, *aprendizagem mecânica* ou automática “como aquela em que nova informação (ou conceitos) se aprende praticamente sem interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, sem se ligar a conceitos ‘subsunçores’ específicos.” (MOREIRA, 1999a).

Na visão de Ausubel, a aprendizagem automática em desuso, ou na condição de esquecimento, ainda assim pode ter promovido mudanças cognitivas e um potencial adicional que facilite a aprendizagem de outros assuntos novos e relevantes. No entanto, o esquecimento da aprendizagem automática não produziu mudanças cognitivas, “é praticamente provável a inibição de nova aprendizagem de assunto análogo.” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). Essa analogia proposta pelo autor demonstra que a aprendizagem automática (mecânica) pode contribuir como facilitadora para novos construtos, em outras áreas.

Ao definir conhecimento prévio existente na estrutura cognitiva do aprendiz, que pode ser um conceito, modelo, imagem, proposição, especificamente relevante à nova aprendizagem, Ausubel (1968) faz uso do termo “subsunçor” ou âncora (MOREIRA, 2012). “‘Subsunçor’ é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto” (p. 30). Nesse processo, o “subsunçor” pode apresentar-se em diferentes graus de estabilidade, diferenciação ou elaboração, porém com significado na interação.

Moreira (2012) utiliza, como exemplo, a Lei da Conservação da Energia na Mecânica, onde o estudante aplica em atividades de resolução de problemas a transformação de energia potencial em energia cinética (ou vice-versa), o conhecimento prévio corrobora dando-lhe mais clareza. Porém, ao ser apresentada a Primeira Lei da Termodinâmica (independente do recurso didático), a Lei de Conservação da Energia aplicada à Física térmica, ao “acionar” o “subsunçor” Conservação da Energia da Mecânica e aplicar em fenômenos Termodinâmicos, o estudante atribuirá significados aos seus conceitos, deixando-os mais ricos, elaborados, estáveis e claros. Desse modo, o “subsunçor” Conservação da Energia terá o significado de uma lei geral da Física e o aprendiz terá a concepção de que a energia se conserva.

Portanto, ao avaliar se houve aprendizagem significativa, busca-se evidenciar o processo de aquisição e organização dos significados na estrutura cognitiva do estudante. Esse processo foi introduzido por Ausubel como *teoria da assimilação*,

Assimilação é o processo que ocorre quando uma ideia, conceito ou proposição, potencialmente significativo, é associada a uma ideia, conceito ou proposição, isso é, um “subsunçor”, já estabelecido na estrutura cognitiva, como exemplo, extensão, elaboração ou qualificação do mesmo. (MOREIRA, 1999, p. 24).

Para Ausubel, o conhecimento prévio é a variável mais importante para que ocorra a aprendizagem significativa de novos conhecimentos (MOREIRA, 2012). No entanto, segundo

Moreira, nem sempre o conhecimento prévio é uma variável facilitadora. Em alguns casos ela pode atuar como variável bloqueadora.

Para que se estabeleça uma aprendizagem significativa, o professor precisa conhecer as concepções prévias do estudante para que possa conduzir o ambiente de aprendizagem e conectá-las às estruturas conceituais do fenômeno ou ao conceito físico em estudo (SALES et al., 2008).

Outros pesquisadores defendem, também, para que ocorra a aprendizagem significativa de conceitos, algumas condições se fazem necessárias: além da relevância dos atores (professor e estudante), “a Teoria da Aprendizagem Significativa é enormemente frutífera na hora de analisar e desenhar, nas situações de ensino, a relação entre o processo educativo e os materiais.” (SANTOS; OTERO; FANARO, 2000, p. 52). Há, pois, um processo de interação no qual conceitos mais relevantes e inclusivos interagem com o novo material, servindo de ancoradouro, incorporando-o e assimilando-o; porém, ao mesmo tempo, modificando-se em função dessa ancoragem (MOREIRA, 2009). Segundo o autor, “um material com essa característica é potencialmente significativo.” (p. 21).

Uma consideração pertinente à teoria da aprendizagem significativa: não é sinônimo de aprendizagem “correta” (MOREIRA, 2012). Segundo o autor, “quando o aprendiz atribui significados a um dado conhecimento prévio, a aprendizagem é significativa, independente de se estes são os aceitos no contexto de alguma matéria de ensino.” (p. 11). Nesse caso, temos a aprendizagem construída a partir das concepções alternativas, que comumente são aprendizagens significativas.

Especialmente em ensino de ciências, Mortimer (2000) considera que todos os significados, os que são aceitos e os que não são aceitos cientificamente, estão presentes nas concepções do estudante. Porém, ele deve ser capaz de discriminá-los contextualmente, à medida que ocorre a aprendizagem significativa a concepção se desenvolve. Nesse caso, significados já estabelecidos não são substituídos ou apagados: eles podem ser cada vez menos ou não serem mais utilizados, mesmo com algum resíduo presente e escondido na concepção desenvolvida.

O autor (MORTIMER, 2000) contextualiza utilizando exemplo da Física, onde é comum um estudante (em razão da linguagem cotidiana) apresentar corretamente o conceito de isolante térmico em contexto de sala de aula ou em outras situações, porém em situações cotidianas, utilizar a concepção alternativa. Nesse caso, a perspectiva de ensino de ciências centrado na evolução, desenvolvimento, enriquecimento conceitual e discriminação de

significados são ideias mais promissoras para as pesquisas em ensino e aprendizagem, visto que não implicam mudanças de conceitos ou de significados.

3.1.1 Assimilação de matérias abstratas

Assimilação é definida por Ausubel e, posteriormente, por Moreira como “o resultado da interação que ocorre na aprendizagem significativa entre o novo material a ser aprendido e a estrutura cognitiva existente é uma assimilação de antigos e novos significados a qual contribui para a diferenciação dessa estrutura” (MOREIRA, 1999a, p. 24).

Quanto ao produto dessa assimilação, Ausubel afirma que:

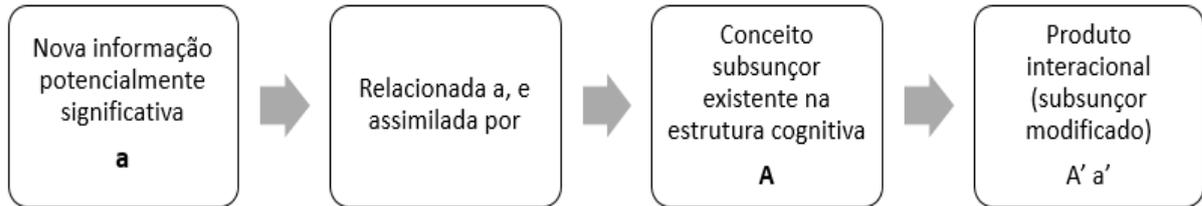
De acordo com a teoria da assimilação, as mesmas variáveis influenciam o produto da aprendizagem significativa e os mesmos fatores responsáveis pela superioridade do processo de aprendizagem significativa sobre o automático continuam a operar durante o período de memorização e afetar seus produtos. Portanto, mesmo quando as informações são aprendidas automáticas e significativamente segundo os mesmos critérios de compreensão, a superioridade do processo de memorização significativa pode ser o reflexo de escores mais altos de memorização. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

No ensino de ciências é comum o estudante preferir a aprendizagem automática, ao memorizar conceitos, leis e modelos matemáticos. Segundo Ausubel, para indivíduos dominados pela ansiedade, inseguros quanto à capacidade de compreender novos conceitos abstratos e desconhecidos, como é nosso caso em efeito fotoelétrico, a aprendizagem automática sempre parece mais fácil que a aprendizagem significativa. Nesse contexto, a inserção da historicidade e contexto no ensino do tema pode motivar o estudante a apoderar-se da aprendizagem significativa, em oposição à automática.

Considerando que os conhecimentos internalizados significativamente estarão sempre presentes na estrutura cognitiva do indivíduo (de modo não arbitrário e não literal), não é possível realizar uma mudança conceitual, no sentido de substituir um conhecimento prévio (MOREIRA; GRECA, 2003). Logo, o que acontece é um processo de assimilação em que o “subsunçor” é modificado (mais ricos em detalhes) e, ao final do processo de aprendizagem significativa, ainda existem resíduos dos conhecimentos originais.

A “teoria da assimilação”, proposta por Ausubel (MOREIRA, 1999b), torna mais claro o processo de aquisição e organização dos conceitos na estrutura cognitiva do estudante. Essa “teoria” demonstra valor exploratório, tanto para a aprendizagem quanto para a retenção cognitiva dos conceitos (Figura 2).

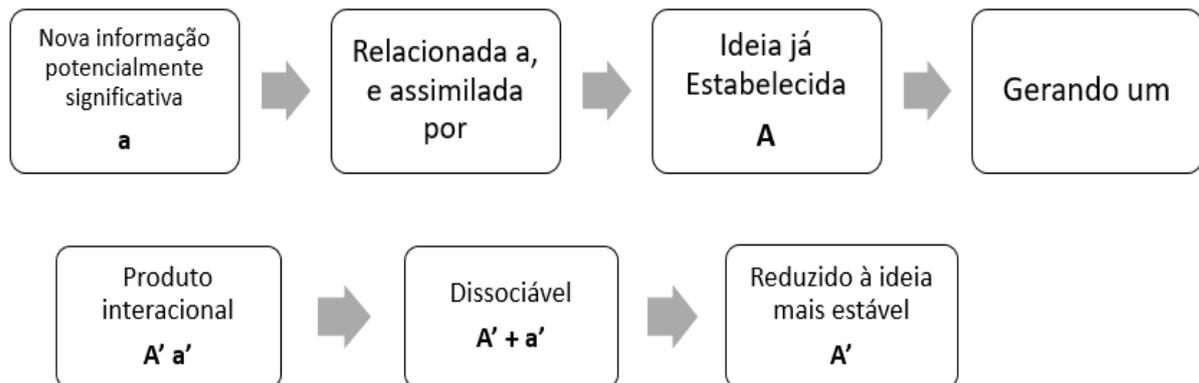
Figura 2 – Processo de assimilação de conceitos na aprendizagem significativa



Fonte: Moreira (1999, p. 157).

“Quando as estratégias de mudança conceitual são bem-sucedidas, em termos de aprendizagem significativa, o que fazem é agregar novos significados às concepções já existentes, sem apagar os significados que já tinham.” (MOREIRA; GRECA, 2003). Como resultado, na visão dos autores, os estudantes apresentam concepções mais elaboradas, diferenciadas, ricas em termos de significados agregados ou evoluem sem perder sua identidade (Figura 3).

Figura 3 – Construção do novo significado, na assimilação de uma nova ideia, conforme Ausubel e Novak



Fonte: Moreira e Greca (2003, p. 305).

Desse modo, o produto interacional $A'a'$, com o passar do tempo pode ser dissociável em A' ou a' , favorecendo a retenção do mais significativo ou de ambos. Essa ideia mais estável, modificada, é denominada *resíduo*. “É como se o indivíduo tivesse sua história cognitiva pessoal e não apagável.” (MOREIRA; GRECA, 2003). Supondo que o processo de assimilação continue ocorrendo, pode ser mais simples reter apenas o “subsunçor” mais significativo. Nesse caso, é possível considerar que houve uma mudança conceitual.

Três anos depois, Moreira apresenta em Madrid a teoria da aprendizagem significativa, da visão clássica de Ausubel à visão crítica, de maneira histórica e prospectiva, com uma versão final do autor (MOREIRA, 2006). Segundo o autor, a teoria de Ausubel

(1963, 1968) e revisada por Ausubel (2000), propõe que a “interação cognitiva não-arbitrária e não-literal entre o novo conhecimento, potencialmente significativo, e algum conhecimento prévio, especificamente relevante, o chamado ‘subsunçor’, existente na estrutura cognitiva do aprendiz.” (MOREIRA, 2006). Nessa versão, também são destacadas duas condições para a aprendizagem significativa: materiais potencialmente significativos e predisposição do sujeito à aprendizagem, conforme já relatado anteriormente.

3.1.2 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

Para diferentes níveis de escolaridade, repete-se o cenário onde os estudantes copiam conhecimentos como se fossem informações a serem memorizadas, reproduzidas nas avaliações e esquecidas logo após (MOREIRA, 2011). Esta é, na visão do autor, “a forma clássica de ensinar e aprender, baseada na narrativa do professor e na aprendizagem mecânica.” (p. 2). Com base nessa verdade, o autor propõe uma proposta para o desenvolvimento de componentes didático-pedagógicos para o ensino, a fim de promover aprendizagem significativa.

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são sequências de ensino baseadas na aprendizagem significativa. Moreira fundamenta as UEPS em diversas teorias da aprendizagem (Ausubel, Novak, Gowin, Vergnaud, Johnson-Laird e Vygotsky), além dos autores que contribuíram à aprendizagem significativa, e suas publicações. A partir delas, define os princípios da UEPS, que merecem destaque na construção da sequência didática a ser apresentada ao estudante.

As UEPS fortalecem a ideia que o mais importante na aprendizagem significativa é o conhecimento prévio do estudante; pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no aprendiz; é o aprendiz que decide quando e como quer aprender; os organizadores prévios relacionam conhecimentos já existentes e os novos; o que dá sentido aos novos conhecimentos são as situações-problema; situações-problemas podem ser usadas como organizadores prévios; as situações-problemas devem ser propostas de maneira crescente quanto às complexidades; ao resolver uma nova situação é necessário fazer um modelo mental funcional, que é um análogo dessa situação; na organização do ensino devemos observar a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação; na avaliação da aprendizagem significativa devemos buscar evidências da aprendizagem significativa progressiva; o professor propõe as situações-problema e media os significados dos alunos; a

interação social e a linguagem são fundamentais na construção de novos significados; o ensino envolve a relação entre aluno, professor e materiais educativos, proporcionando ao aluno captar e compartilhar significados; a aprendizagem dos discentes deve ser crítica e significativa e não mecânica e, por último, a aprendizagem significativa crítica deve estimular na busca de respostas a questionamentos (MOREIRA, 2011).

Conseqüentemente, a UEPS é uma sequência didática de ensino, fundamentada na aprendizagem significativa, voltada diretamente à sala de aula e com potencial em pesquisas em educação. E, ao explorar organizadores prévios, por intermédio de dinâmicas de grupo e aulas expositivas, é possível despertar a predisposição para a aprendizagem da física, que é uma das duas condições para a aprendizagem significativa de Ausubel (FERREIRA; DAMASIO; RODRIGUES, 2014) a qual se utiliza do uso de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) para o ensino de Física Moderna.

Conforme relatado no início deste trabalho, o formato proposto para a pesquisa de tese está no uso de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), construída conforme os princípios relatados, de forma triádica em historicidade, construção de conceito e contexto, a fim de obter traços de aprendizagem significativa junto aos estudantes. A tríade foi anteriormente pesquisada em trabalho de tese (RAUPP, 2015), onde a autora elabora uma estratégia didática voltada à aprendizagem dos conceitos no campo da estereoquímica, a fim de se obter a compreensão dos processos de aprendizagem de conceitos.

3.1.3 Tecnologias computacionais na aprendizagem significativa de conceitos

Considerou-se relevante, inicialmente, definir o que é conceito na aprendizagem significativa. Ausubel define conceito como “objetos, eventos, situações ou propriedades que possuam atributos essenciais comuns que não designados por alguns signos ou símbolo.” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). Os “conceitos”, para Ausubel, podem ser definidos como “um aspecto importante na teoria da assimilação, uma vez que a compreensão e a solução criativa de problemas dependem amplamente da disponibilidade na estrutura cognitiva do aluno ou de conceitos.” (p. 72).

Nesse sentido, torna-se evidente que os estudantes interpretem a experiência e gerem perspectivas por intermédio de seus conceitos e seu entendimento interno. Os conceitos internos, portanto, são “a matéria prima” para resolução de problemas, conforme será proposto nas atividades apresentadas aos estudantes nesta pesquisa de tese.

Nos anos oitenta, Ausubel retratou a influência dos modelos de funcionamento cognitivo baseados em computador, onde sugere que “uma posição teórica cada vez mais popularizada nos últimos anos é uma variante da teoria da informação ou cibernética baseada no modelo da organização e funcionamento cognitivo do computador.” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

Ausubel afirma que o modelo de funcionamento cognitivo do computador apresenta aspectos específicos da cognição humana, como: (i) pode processar informação; (ii) não há problemas de esquecimento; (iii) não apresenta problema na mudança de assimilação e armazenamento de informação; (iv) falta de pensamento independente. Desse modo, é possível sugerir que os modelos computacionais estão associados a modelos de assimilação automática, possibilitando ao estudante utilizar-se do modelo de aprendizagem automática ou do modelo de aprendizagem significativa. Essa abordagem será dissertada ao apresentar a teoria da mediação cognitiva (ver na próxima seção).

Para a visão cognitiva contemporânea, explicada por Moreira ⁽²⁰⁰⁶⁾, fundamenta-se na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983), na qual Moreira sugere o uso do computador como instrumento de aprendizagem significativa.

Na ótica da psicologia cognitiva atual, a mente humana é vista como um sistema computacional representacional. A mente recebe informações sensoriais do mundo, processa tais informações, i.e., computa, e gera representações de estados de coisas do mundo. Essas representações mentais são maneiras de representar internamente o mundo externo. As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais (quer dizer, internas dele). O aluno quando “recebe” novos conhecimentos, e se predispõe a aprender, constrói representações mentais desses conhecimentos, como, por exemplo, os modelos mentais (quando a situação é nova). Na construção dessas representações a variável mais importante são suas representações prévias, quer dizer, representações internas, com um certo grau de estabilidade, que podem modificar-se na medida que incorporem novas informações. A ideia é a mesma proposta por Ausubel há mais de quarenta anos, porém em vez de falar-se em “subsunçores”, que muitas vezes são interpretados como conhecimentos pontuais, fala-se em representações mentais que decorrem de computações mentais não-conscientes. Não se trata de complicar a proposta de Ausubel sobre a enorme influência dos conhecimentos prévios na aprendizagem de novos conhecimentos, mas sim de ter uma visão melhor e contemporânea da estrutura desses conhecimentos prévios. (MOREIRA, 2006).

O autor não deixa uma explicação conclusiva acerca de como ocorre a aprendizagem significativa, quando o estudante desenvolve atividades computacionais. Ao explicar como ocorre a aprendizagem significativa na modelagem computacional na Física, Moreira sugere que “o aluno constrói modelos de situações físicas usando determinada ferramenta computacional. A isso chama-se modelagem computacional.” (MOREIRA, 2006, p. 11).

Contudo, há a possibilidade de que esse modelo seja construído mecanicamente, sem que haja a compreensão do conceito físico modelado.

Especialmente em ensino de Física o uso de simulações computacionais tem sido indicado por pesquisadores (SANTOS; OTERO; FANARO, 2000) na construção de conceitos, que sugerem a tecnologia, a fim de obter resultados de aprendizagem significativa. Entre muitos exemplos, nosso grupo pesquisou a aprendizagem significativa na construção de conceitos em colisões mecânicas, por meio das leis de conservação (REIS, 2004; WOLFF, 2015). Ao avaliar a compreensão dos conceitos em colisões mecânicas, Wolff constatou nos seus resultados da pesquisa a eficácia das simulações computacionais para auxiliar os estudantes na construção e compreensão dos conceitos, podendo atuar como recursos pedagógicos na aprendizagem significativa de fenômenos físicos.

Entre os documentos para uso de computadores em ensino analisados nesta pesquisa, foi observado que a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel também tem sido utilizada com marco teórico no ensino do efeito fotoelétrico, a partir do uso de simulações computacionais (CARDOSO; DICKMAN, 2012). Os autores sugerem a inclusão de situação contexto em efeito fotoelétrico nas atividades para pesquisas futuras. A justificativa dos autores se fundamenta na concepção de que o aprendiz quando somente faz uso de aprendizagem mecânica, terá uma imensa dificuldade em resolver problemas novos, pois esses requerem competências e habilidades a serem desenvolvidas em uma aprendizagem significativa.

3.2 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA – TMC

Utilizamos como referencial teórico, para a construção da TMC para este trabalho, a pesquisa de tese de Bruno Campello de Souza (SOUZA, 2004) e suas derivações (MEDEIROS; BARGHINI; VANIN, 2017; RAMOS, 2015; ROAZZI et al., 2016; SOUZA et al., 2012; WOLFF, 2015), em educação.

3.2.1 Impacto da Tecnologia da Informação e da Comunicação

O século XX foi marcado por mudanças no uso e disseminação das tecnologias da informação e das comunicações. Especialmente em educação, a bagagem cultural mais importante e impactante que os estudantes trazem à sala de aula comumente é resultante da sua interação com a tecnologia da informação e da comunicação. De modo geral, a literatura

relativa ao uso de computadores em educação aponta para uma associação positiva entre o uso de computadores e a aprendizagem, particularmente, no contexto do conhecimento escolar e formal.

Souza (2004), ao propor a TMC, relaciona diversas teorias de aprendizagem, entre elas a Teoria dos Campos Conceituais, ao supor que a elaboração de Conceitos, Esquemas e Competências nos indivíduos ocorre mediante as relações dinâmicas com o ambiente, como mecanismos computacionais. O modo como um estudante “interage com o mundo e constrói representações que o ajudam a produzir interações mais eficazes com ele ganha um processo de *feedback* que produz um ganho cognitivo.” (p. 118). O autor destaca a Teoria dos Campos Conceituais como uma das teorias-chave na compreensão dos mecanismos internos de mediação.

Conseqüentemente, houve múltiplas transformações na vida dos seres humanos e em como estes se comunicam. Entre elas, o aumento na eficácia das tecnologias da informação e da comunicação ao coletar, armazenar, manipular e comunicar dados, informação e conhecimento, de modo que é natural associar a evolução das tecnologias ao crescimento na quantidade de saber disponível e circulante no planeta (SOUZA, 2004).

Nos anos oitenta já se comentava que antes do ano 2000 o trabalho intensivo com computadores seria o principal modo por meio do qual o estudante de todos os níveis iria aprender, em todas as áreas do conhecimento (ESQUEMBRE, 2002). A justificativa do autor é que num mundo dominado pelo uso e busca de informações, fatos e processos que se ensinam na escola, rapidamente podem se tornar obsoletos.

A “Revolução Digital” promoveu mudanças sem precedentes na história da humanidade. A era digital proporcionou mudanças cognitivas e comportamentais, promovendo mudanças culturais e sociais nos indivíduos (SOUZA, 2004). Nesse contexto, o autor destaca: aceitação da Diversidade (gênero, sexo, atitude, religião); aumento na curiosidade, devido à transmissão para o mundo Web interativo; assertividade e autoconfiança; uso intensivo da rede; aprendizagem global (diferentes perspectivas sociais e culturais, com grande rapidez e praticidade). Num período de 20 anos surgia uma série de tecnologias que promovia significativas transformações sociais e culturais em todo o planeta, como na economia, política, legislação, costumes e nos valores individuais, como crenças e hábitos (SOUZA; SILVA; ROAZZI, 2010)

No entanto, “muitos aspectos importantes da Informática, tais como aqueles associados à Internet, ainda precisam ser investigados com relação ao seu impacto sobre os

processos de aprendizagem.” (SOUZA, 2004). Também, conforme o autor, pouco foi avaliado no que se refere ao impacto pedagógico da informática. Especialmente, no ensino da Física, o surgimento da Hiperultura pode proporcionar novas formas de pensamento com ganhos cognitivos, independentemente do sexo, da classe social ou do nível de educação. E, na aquisição desses ganhos cognitivos, é preciso ter não apenas um conhecimento dessas tecnologias e da sua lógica subjacente, mas uma perspectiva clara de como funciona a cognição humana.

3.2.2 A Mediação Digital e a hiperultura

A “Revolução digital” que emergiu em curto período com a disseminação da tecnologia digital gerou transformações sociais, culturais e intelectuais na vida dos seres humanos, com mudanças na produção, na sociedade e na cultura. A combinação de vários fatores associados ao uso das tecnologias da informação sugere que a interação com essas tecnologias traz impactos para o pensamento humano (SOUZA, 2004). O autor afirma que a Revolução Digital é uma evidência da emergência de uma Hiperultura, entre mecanismos externos de mediação (dispositivos computacionais), mecanismos internos (competências para o uso eficaz de tais mecanismos externos) e “extracerebral”.

Para a evolução de tais mecanismos, Souza (2004) considera que há uma evolução na cognição humana nos diferentes processos de mediação (psicofísica, social, cultural e hiperultural), para os mecanismos internos e extracerebral (Figura 4). De modo que “cada novo passo representa uma verdadeira revolução cognitiva, uma enorme expansão quantitativa e qualitativa no alcance da mente humana.” (p. 79).

Figura 4 – Evolução das formas de mediação

<i>Ordem de Emergência</i>	<i>Forma de Mediação</i>	<i>Mecanismos Externos</i>	<i>Mecanismos Internos</i>	<i>Processamento Extracerebral</i>
1a	Psicofísica	Física do Objeto e do Ambiente	Sistemas Sensoriais	Percepção
2a	Grupo Social	Interação em Grupo	Habilidades Sociais	Percepção e Memória
3a	Cultura	Sistemas Simbólicos e Artefatos	Conhecimento Tradicional e/ou Formal	Percepção, Memória, Categorização e Aprendizagem

Fonte: Souza (2004).

- a) Mediação Psicofísica: Considerada por Souza (2004) como forma básica de mediação cognitiva, uma vez que está associada com a interação do indivíduo com os objetos os quais se relaciona, com uso de características fisiológicas de seu sistema nervoso central. Conforme o autor, quando os mecanismos externos de mediação se referem a eventos da ciência “agregando 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, pode-se chamar a isso de mediação psicofísica.” (p. 72).
- b) Mediação Social: É a mediação que ocorre na interação com outros indivíduos num mesmo ambiente, como numa sala de aula. No processo “não há necessidade de uma percepção ou consciência da parte dos envolvidos acerca do fenômeno.” (p. 75). O autor utiliza o termo “percepção” como sinônimo de “memória”. Portanto, a necessidade de coexistência de um grupo e a participação neste para ocorrer o processamento extracerebral. Esse processo de mediação era possível ocorrer em todas as etapas da UEPS: no laboratório computacional (as atividades eram realizadas em dupla), no laboratório real (em grupos) e na sala de aulas.
- c) Mediação Cultural: O autor considera que grupos sociais constituem para a criação de mecanismos mais sofisticados de comunicação e relacionamento, o que contribui para o desenvolvimento de processos mentais mais complexos. Nesse sentido, é possível supor que a combinação da sinergia cognitiva com os processos na comunicação resultou na criação de sistemas simbólicos importantes, como a linguagem e a fala. Leva, por sua vez, a práticas sociais mais sofisticadas para a realização de diversos fins. O conjunto de todos esses fatores e dos seus inúmeros desdobramentos compõe aquilo que se convencionou chamar de “cultura”. Quanto ao processamento de informação no indivíduo, uma superestrutura extracerebral pode ser capaz de realizar operações de percepção, memória, categorização e aprendizagem, proporcional às peculiaridades de cada cultura.

Fazemos uso de mecanismos externos de mediação, por exemplo, ao realizar atividades diárias. Nosso cérebro é limitado e incapaz de processar todas as informações que estão ao nosso alcance e a cognição humana ocorre pela interação com o ambiente, fornecendo à estrutura cognitiva uma capacidade adicional de processamento. E, com

mecanismos externos, capazes de processar, armazenar informações e tomar decisões (como os computadores), houve mudanças no processo de mediação em nossa cognição (RAMOS, 2015).

Os computadores e a Rede Mundial de Informações, do ponto de vista funcional, podem proporcionar ao indivíduo aquisição e produção de conhecimento em quantidade e sofisticação nunca dantes imaginadas, em razão de sua extrema plasticidade lógica e progressiva (SOUZA, 2004). Entretanto, em tese, para o autor, o motivo pelo qual a mediação cognitiva entre os cérebros humanos, por meio dos computadores, não ocorre, diz respeito ao modo de processamento em rede.

Ao se tratar de seres humanos, há a necessidade de um controle na capacidade de conduzir um indivíduo a levar outra pessoa a raciocinar sobre o conteúdo que interessa ao primeiro e da forma que ele deseja (SOUZA, 2004). Na mediação cognitiva, o autor apresenta que “mudanças no pensamento sejam de natureza estrutural, afetando a dinâmica dos fenômenos cognitivos, incluindo sua interação com variáveis psicológicas relacionadas, tais como valores, estratégias, escolhas, preferências e comportamentos.” (ibidem, p. 87).

Com base no impacto do ambiente nos fatores mentais para a cognição humana, pode-se inferir que os mecanismos de mediação cognitiva evoluíram de natureza psicofísica para social e cultural, sendo que isso não corresponde apenas à ordem em que tais coisas surgiram na história humana, mas também é a ordem da menor para a maior complexidade (SOUZA et al., 2012). Sob a lógica, “cada etapa complementa a anterior para formar uma estrutura completamente nova.” (ibidem, p. 2322). Dessa forma, qualquer mecanismo interno pode acessar e usar, com diferentes níveis de eficácia, um ou mais mecanismos externos com potencial específico, proporcionando ainda mais vantagens cognitivas. O processo tem sido apresentado em trabalhos anteriores como *Drivers* (RAMOS, 2015; SOUZA et al., 2012; WOLFF, 2015), que será discutido posteriormente.

3.2.3 Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) e Teoria da Mediação Cognitiva em Redes (TMCR)

A TMC tem como tese “que os seres humanos complementam o seu processamento cerebral por meio de diversos tipos de recursos disponíveis no ambiente, ou seja, por meio de algum tipo de cognição extracerebral, denominado ‘Mediação Cognitiva’.” (ROAZZI et al., 2016). Como resultado da mediação, segundo os autores, a raça humana evoluiu e foi capaz

de sobreviver e prevalecer devido à sua capacidade de gerenciar o conhecimento por meio do uso de elementos externos aos indivíduos.

A cognição humana é algo decorrente de uma necessidade imposta pela seleção natural, de modo que a criação de mecanismos de mediação faz parte de um processo evolutivo do indivíduo (SOUZA, 2004). Nesse processo, a expectativa é que tal desenvolvimento ocorra como uma sucessão de etapas (ROAZZI et al., 2016), para estruturas de mediação cognitiva mais poderosas e sofisticadas. Consequentemente, nos processos mentais da cognição humana, mecanismos de mediação cognitiva evoluem de natureza psicofísica para social e para cultural, conforme relatado anteriormente.

A teoria da mediação cognitiva é conceituada a partir do pressuposto que a inteligência humana resulta de processos cerebrais, com complementação por processamento auxiliar, realizado por estruturas externas ao indivíduo, que inclui objetos, artefatos, grupos sociais e culturais (SOUZA, 2004). Com a revolução digital, novos conceitos, lógicas, valores, práticas e hábitos socioculturais constituem uma nova forma de mediação, denominada hipercultura. Por meio dela, ocorrem novas formas de pensamento e um salto evolutivo em desempenho cognitivo.

A partir da influência da hipercultura na evolução cognitiva, os recursos tecnológicos ocupam uma posição importante na sociedade. É possível destacar, nas falas do autor, “resultados observáveis, como: habilidades, competências, conceitos, modos de agir, funcionalidade e mudanças culturais ligadas ao uso de computadores e da Internet.” (SOUZA, 2004, p. 86). E, tais elementos constituem um conjunto de eventos que difere daquilo que tradicionalmente é definido como cultura.

Quanto à teoria da medição cognitiva em rede (CMNT), no processamento das informações pela mediação dos computadores com a cognição humana, pesquisa sugere o uso dos seguintes componentes (SOUZA et al., 2012): objeto ou item físico (conceito, problema ou outra situação que o indivíduo usa pra construir conhecimentos); *processamento interno* (através da fisiologia cerebral que executa a operação lógica); *mecanismos internos* (estrutura mental que gerencia algoritmos, códigos e dados que permitem a conexão, interação e integração entre o processamento interno do cérebro e o processamento extracerebral feito pelas estruturas no meio ambiente, trabalhando tanto como um “*driver de hardware*” e, em especial, dentro da versão ampliada da TMC – a TMCR – um “protocolo de rede”); *mecanismos externos* (objetos físicos simples, como dedos, pedras ou indivíduos e grupos com atividades sociais complexas).

“A teoria da Mediação Cognitiva em Redes demonstra haver um efeito positivo no uso disseminado da tecnologia e suas implicações socioculturais (Hiperultura) sobre a capacidade cognitiva individual.” (SOUZA et al., 2012). Dada a relevância da TMC e a “teoria em redes” para as mudanças na cognição humana pelos impactos da Revolução Digital, os mesmos autores sugerem, para estudos futuros: (a) fornecer maior confirmação, (b) avaliar habilidades cognitivas, e (c) explorar os mecanismos de mediação propostos pela teoria e suas implicações. Nos resultados desta pesquisa de tese são apresentadas evidências do impacto da tecnologia na aprendizagem dos conceitos explorados dentro do campo do efeito fotoelétrico.

3.2.4 Mecanismos internos de mediação – Drivers

No dicionário de informática *driver* é definido como programa ou rotina usada para interfacear um dispositivo de entrada/saída de outros periféricos (SAWAYA, 1999). “São os *drivers* que permitem a comunicação entre o sistema operacional do computador e os respectivos dispositivos, permitindo que os aplicativos instalados no computador possam interagir com este hardware.” (RAMOS, 2015).

Ao acessar uma informação, por intermédio do processamento de informações feito pelo cérebro com uso de mecanismos externos, torna-se necessário haver algum vínculo lógico com esses dispositivos computacionais (entradas/saídas), algo similar ao que ocorre em um *driver* de dispositivo em um sistema de informática (SOUZA et al., 2012). Na comparação dos autores, para se utilizar um dispositivo externo há a necessidade de um software para que ele possa reconhecer e implantar uma peça específica de *hardware* externo, como uma impressora, um *scanner* ou dispositivo de armazenamento de dados.

Nos seres humanos, o processo pode ser realizado “por meio de uma representação mental de um sistema físico que é composto por um conjunto de ‘teoremas-em-ação’, estabelecido pela Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, e processo descrito na Epistemologia Genética de Piaget.” (SOUZA et al., 2012).

Um exemplo análogo pode estabelecer uma relação comparativa entre o drive na máquina (algoritmo) com o *driver* na cognição do indivíduo (biológico). A diferença entre os *drivers* pode ser relacionada da seguinte forma: no computador o uso incorreto produzirá entradas/saídas indesejadas e no ser humano o *driver* pode evoluir seu algoritmo.

3.3 RELAÇÃO ENTRE AS TEORIAS

Souza (2004) destaca como uma das grandes virtudes da TMC a possibilidade de conciliar posturas teóricas construtivistas, como as teorias de Piaget e Vergnaud, da interação social de Vygotsky e do processamento da informação de Sternberg. Souza et al. (2012) chegam à conclusão que o conhecimento é construído por meio da interação na mediação cognitiva, que se inicia com a existência de um conjunto de estruturas no ambiente que relaciona o conhecimento individual e o objeto a ser conhecido, de forma evolutiva (SOUZA et al., 2012).

Entretanto, ao apresentar a Teoria da Mediação Cognitiva, Souza (2004) não faz referência à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Porém, como também ocorreu em pesquisa anterior a esta (WOLFF, 2015), considera-se a teoria da Aprendizagem Significativa como fundamentação suprateórica para a fundamentação de nossa pesquisa.

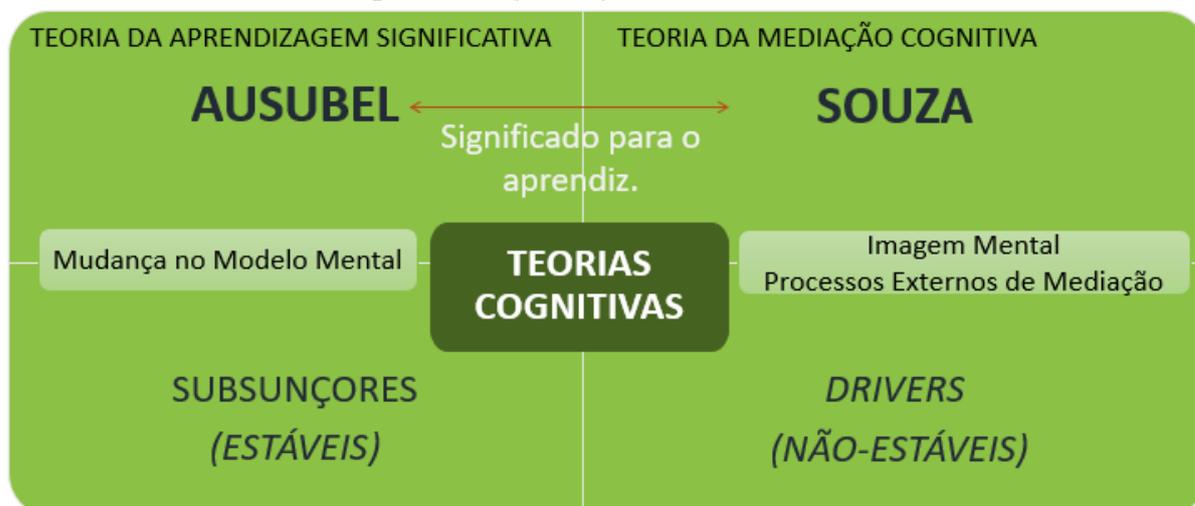
Na teoria da mediação cognitiva o objeto (situação, conceito ou problema) possui papel importante no processo de aprendizagem, pois relaciona o Mecanismo Externo, que fará a mediação com os *drivers* existentes (Mecanismos Internos). De modo semelhante, na Teoria da Aprendizagem Significativa, o novo conhecimento se relaciona de modo não arbitrário e não literal com “subsunçor”. E, os *drivers* poderão estar intimamente relacionados com os “subsunçores” (WOLFF, 2015).

A aprendizagem significativa foi definida por Moreira como:

[...] aprendizagem com significado, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento adquirido a novas situações; resulta da interação cognitiva não-arbitrária e não-literal entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos; depende fundamentalmente de conhecimentos prévios que permitam ao aprendiz captar significados (em uma perspectiva interacionista, dialética, progressiva) dos novos conhecimentos e, também, de sua intencionalidade para essa captação. (2011, p. 49).

Ao estabelecer comparativo entre as duas teorias, é relevante lembrar a essência da fundamentação para o novo conhecimento no processo de aprendizagem. Ausubel (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980) afirma que os “subsunçores” são estáveis, sua evolução demanda de assimilação dos conhecimentos externos com os internos (Figura 5). Enquanto que na Teoria da Mediação Cognitiva (SOUZA, 2004), os *drivers* têm seu uso similar aos *drivers* de computador, contudo estes podem ser substituídos, modificados ou até deletados, o que não ocorre na cognição humana. Wolff (2015, p. 75) sugere, também, que “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.”

Figura 5 - Relação comparativa entre as teorias.



Fonte: A pesquisa, 2018.

Esta tese também busca integrar as duas teorias cognitivas: Teoria da Mediação Cognitiva (SOUZA, 2004) com a Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 1968). A justificativa é que por meio da sequência didática (UEPS) possamos identificar as modificações na estrutura cognitiva dos estudantes, após a utilização de simulações computacionais, experimentos contextualizados e historicidade. Conforme anteriormente relatado, Souza (2004) desenvolveu um conjunto de conceitos, em sua tese, chamado de mecanismos externos e internos de mediação. Tais mecanismos (externos e internos) são relacionados à cognição humana, os quais nos apropriaremos combinado ao uso de uma UEPS construída com foco nos princípios da aprendizagem significativa de Ausubel. Assim, parte do que se espera de resultados deste trabalho de doutoramento é uma proposta de mudança das UEPS, onde se incorpore o uso de artefatos tecnológicos como fontes de um tipo específico de *resíduo* da aprendizagem significativa: *drivers* (advindos tanto de mediação social em aulas, mediação cultural pela interação com experimentos contextualizados e mediação hipercultural pelo uso de simulações computacionais). Para tanto, a colaboração estabelecida com os professores Bruno Campello de Souza e Marco Antônio Moreira, em conjunto com esta pesquisadora, será oportuna para este desenvolvimento.

Conclui-se, portanto, que esta pesquisa tem como propósito investigar como os estudantes aprendem conceitos pertinentes à compreensão do efeito fotoelétrico quando submetidos à Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que utilize a tríade simulações computacionais, historicidade e experimentos contextualizados. Utilizou-se, neste trabalho,

como referenciais teóricos a teoria da aprendizagem significativa e da teoria da mediação cognitiva. Ausubel (1980) considera razoável admitir que habilidades, imaginação e sensibilidade são qualidades desejáveis de um professor ao organizar e elaborar uma atividade de aprendizagem e manipular variáveis, a fim de promover resultados de aprendizagem nos estudantes.

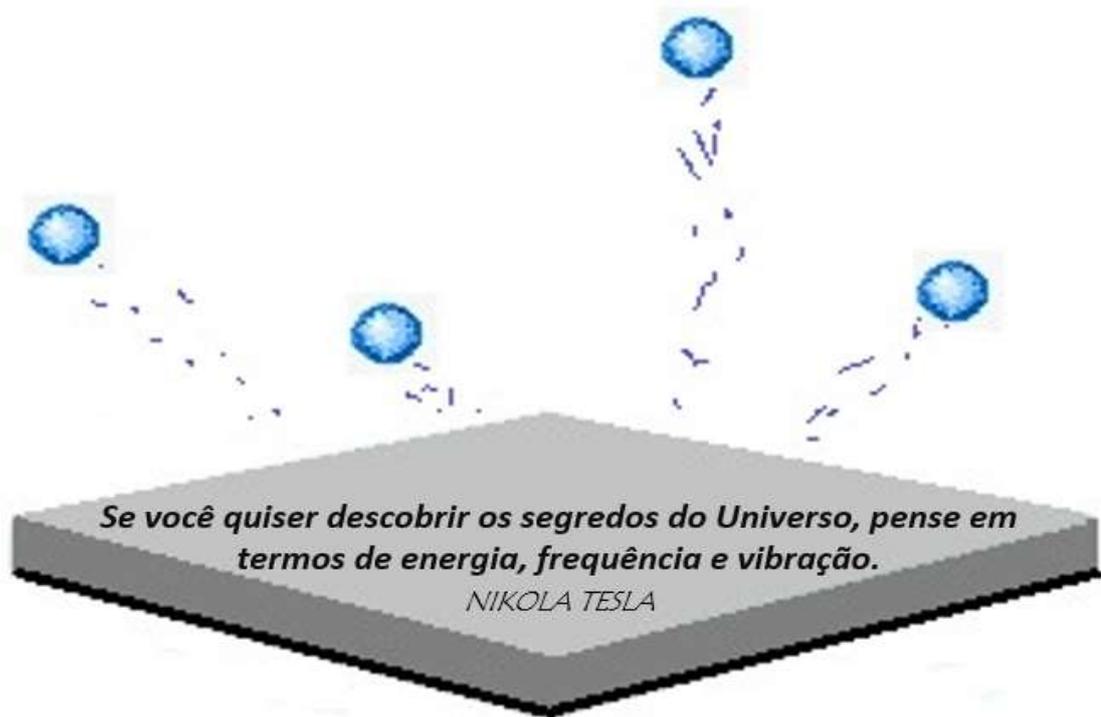
As publicações selecionadas como fundamentação na TMC, de modo geral, apontam para a influência da hipercultura na mediação digital para a construção do conhecimento. No entanto, “há uma janela de desenvolvimento para a mediação cognitiva via Hipercultura, de modo que o *timing* de qualquer intervenção é importante para determinar a sua eficácia.” (SOUZA, 2004). E, na fala do autor, a melhor forma de evitar o abismo digital é impedindo que ele ocorra.

O avanço da tecnologia tem demonstrado relevância para a sociedade, proporcionando agilidade na comunicação, otimização dos processos de produção, modernização de equipamentos e gerando grande facilidade na execução de procedimentos nos mais variados campos de conhecimento (CARDOSO; DICKMAN, 2012). O grande desafio da utilização de tecnologias computacionais no processo de aprendizagem está em fazer dela uma ferramenta de ensino. Especialmente, no uso de simulações computacionais em efeito fotoelétrico, este trabalho sugere a teoria de Ausubel para avaliar a retenção de conhecimento, em longo prazo, após intervenção com recurso tecnológico.

Ao mesmo tempo, como afirma Raupp (2015), as dificuldades dos estudantes remetem a questões pedagógicas que transcendem o uso amplo de tecnologias de informação e comunicação. O uso de historicidade e do contexto parece ter um papel fundamental em facilitar a aprendizagem dos estudantes (RAUPP, 2015). Dessa forma, a construção (ou reconstrução) de um modelo de UEPS que abrace o uso desta tríade de elementos e ancore-se também na TMCR pode fornecer um modelo pedagógico mais consistente em utilizar tecnologias e alcançar a tão desejada – e elusiva – aprendizagem significativa.

Ainda que esta pesquisa esteja ancorada em teorias sólidas, largamente difundidas como marco teórico em muitos trabalhos e teses, por se tratar de teorias que discorrem sobre a cognição humana, por meio de uma psicologia educativa nos processos de aprendizagem, ainda há muito a se pesquisar a fim de compreender como o estudante aprende significativamente. E, em se tratando do uso de tecnologias da informação, esse cenário torna-se ainda mais amplo. Souza (2004) sugere que essa agenda científica terá décadas de pesquisas e desenvolvimento para ser atendida. Quiçá séculos, ou, ainda, considerando as

mudanças sociais e culturais com o advento da tecnologia que ainda está por vir o marco teórico desta tese possa ser uma área inesgotável de pesquisa.



4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

A metodologia da pesquisa em ensino de ciências é a mesma da pesquisa em educação, dominada ao longo do século XX por dois paradigmas clássicos: um por observações empíricas quantificáveis, inspirado na metodologia das ciências naturais, possibilitando o uso de tratamentos estatísticos; o outro com ênfase em informações holísticas e qualitativas e em abordagens interpretativas, originado da área humanística (MOREIRA; ROSA, 2016).

Por conta disso, os fundamentos metodológicos norteadores da pesquisa foram de caráter predominantemente qualitativos, que comumente é do tipo microetnográfica e/ou estudo de caso (ERICKSON, 1986). Conforme Erickson (1986), as técnicas e métodos para pesquisa qualitativa em ensino podem ser chamadas etnográficas, participante observacional, estudo de caso, interação simbólica, fenomenologia, construtivista ou interpretativa. E essas abordagens são todas ligeiramente diferentes, porém contêm semelhanças familiares entre elas, inicialmente exploradas na década de 1960 na Inglaterra e na década de 1970 nos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Alemanha.

4.1 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

A fim de proporcionar melhor acessibilidade à leitura, o delineamento metodológico da pesquisa de tese derivou-se em quatro fases, fundamentadas na pesquisa bibliográfica e fundamentos teóricos apresentados nos capítulos anteriores: (i) procedimentos utilizados na escolha do material didático (simulações computacionais e experimento real), no caminho percorrido na definição da UEPS; (ii) procedimentos na elaboração dos instrumentos de coleta de dados, utilizados na intervenção junto aos acadêmicos, bem como as alterações ocorridas experimento teste (piloto); (iii) procedimentos da UEPS (iv) delineamento da metodologia na análise de dados nos experimentos finais, com uso da UEPS.

Em todas as intervenções, os participantes eram acadêmicos dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária, cursando a disciplina de Física III⁸, que contempla o componente curricular investigado. Somente serão apresentados resultados dos dois testes-piloto, sem as devidas representações de informações pertinentes aos estudantes. O motivo de não contemplar tais dados é que a pesquisa ainda estava em fase de avaliação do comitê de ética, sendo que a tese começou a ser desenvolvida na fase inicial da implantação da documentação e atividade do grupo nas Universidades (ULBRA e UnC). Por conta disso, houve maior morosidade na aprovação da pesquisa, que foi aprovada nos dias que antecederam a aplicação do experimento final. Entretanto, as aplicações ocuparam uma função de significativa relevância na validação dos instrumentos, experimentos e processos para a consolidação do experimento final.

Historicidade, conceitos e contextualização foram explorados a partir de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS), elaborada a partir das indicações da pesquisa bibliográfica realizada e ajustada mediante resultados dos testes-piloto (Figura 6). Como situação contexto em efeito fotoelétrico na produção e transformação da luz, nesta pesquisa foi priorizada a transformação da luz em energia com uso de células fotovoltaicas, em conformidade à pesquisa bibliográfica realizada e por se tratar de tecnologia de interesse para acadêmicos dos cursos investigados, atuando como motivador na construção de conhecimentos em Física e na pesquisa vinculada a esses cursos.

⁸ A disciplina, na Universidade estudada, contempla o seguinte ementário: Transformadores. Ondas eletromagnéticas, interferências, fótons, refração, aplicações, relatividade e conceitos da física moderna, princípios básicos da física nuclear e Física Quântica.

Figura 6 - Etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: A pesquisa (2018).

4.2 DEFINIÇÃO DO EXPERIMENTO COMPUTACIONAL

Conforme relatos nos capítulos anteriores, os recursos didáticos utilizados nesta tese tiveram origem na pesquisa bibliográfica, iniciada em 2015, onde foram avaliadas as concepções dos estudantes apresentadas em pesquisas sobre o tema, historicidade, tecnologias computacionais e experimentos de laboratório real para ensino do efeito fotoelétrico, com foco na produção e transformação da luz aplicado às engenharias. O estudo foi posteriormente publicado em periódico (REIS; SERRANO, 2017b) e evento (REIS; SERRANO, 2017a). Nesta seção será relatado o caminho percorrido e métodos utilizados na construção e validação dos recursos didáticos utilizados na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, construída com foco na aprendizagem significativa em efeito fotoelétrico.

4.2.1 Simulações computacionais para ensino do efeito fotoelétrico

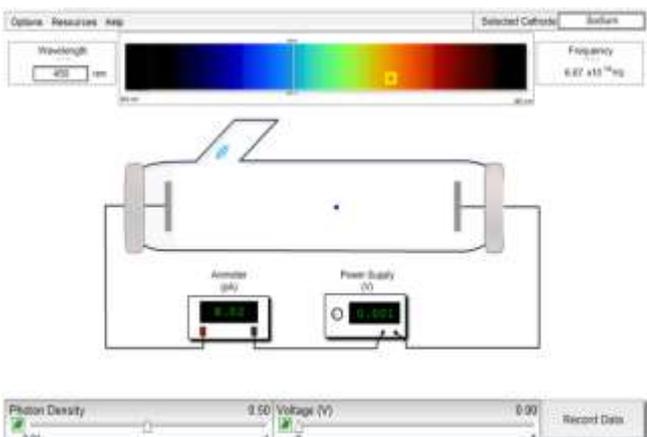
Em buscas na rede mundial de computadores por simulações computacionais para ensino do efeito fotoelétrico, constatou-se que existem bons aplicativos para o ensino na temática da pesquisa. Quanto à seleção das simulações, esta ocorreu com foco em ensino de ciências para cursos de graduação em Engenharias, onde o efeito fotoelétrico é componente curricular relevante para o ensino da Física Moderna, por explicar uma variedade de aplicações e processos associados à emissão e à transformação da luz. Sendo que

conhecimentos dessa natureza podem contextualizar um aparato de aplicações tecnológicas que despertam interesse para o entendimento da temática.

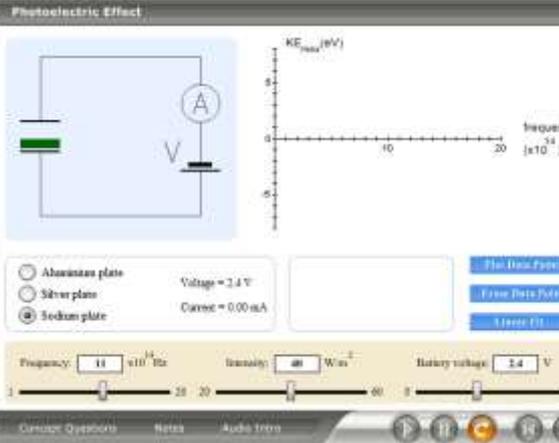
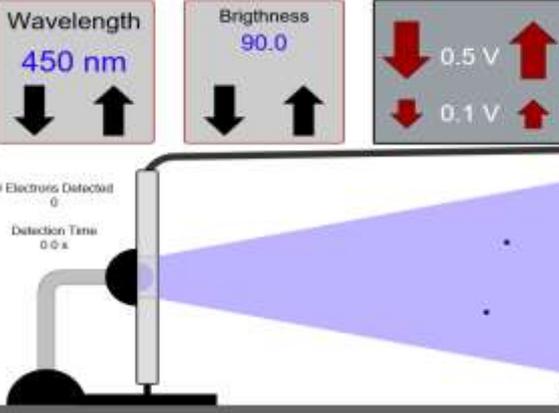
Foram selecionados 10 (dez) aplicativos (simulações), os quais foram submetidos a uma avaliação por critérios, a fim de selecionar as simulações que fariam parte do experimento computacional da UEPS. Os critérios utilizados na escolha dos aplicativos foram: (a) modelo da luz incidente, onde foi avaliada a representação da luz que incide no cátodo; (b) interação e visualização das variáveis, como corrente, tensão, intensidade de luz e frequência, durante a realização do experimento; (c) apresentar um designer atrativo e legível para a obtenção dos dados; (d) possibilidade de seleção de cátodos na placa de incidência da luz (possibilitando alterar os materiais) (e) Representação gráfica das variáveis (corrente, tensão e frequência) e (f) acessibilidade no uso da simulação, evitando a necessidade de instalação com o uso de *software* adicional para a execução do aplicativo.

As simulações serão apresentadas a seguir na ordem em que foram identificadas (Tabela 1). Quanto à nomenclatura, praticamente todas foram disponibilizadas na rede como “efeito fotoelétrico” ou “*The Photoelectric Effect*”, por conta disso foram representadas como formato de identificação: Simulação [1]; Simulação [2]; Simulação [3]; e assim por diante. A busca demonstrou a existência de outras simulações para ensino do tema, no entanto, optamos por aplicativos que melhor atendessem nossas necessidades e público (ensino na graduação).

Tabela 1 – Apresentação das simulações buscadas na web

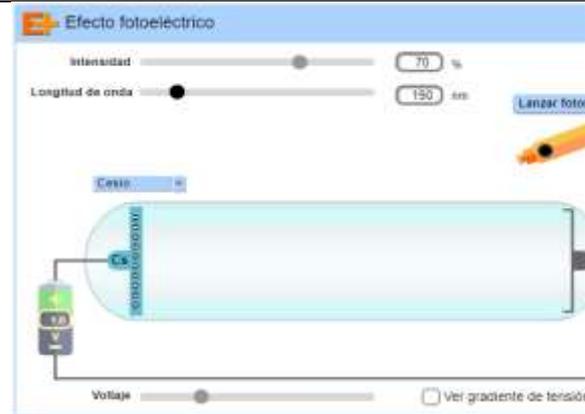
APRESENTAÇÃO	IMAGEM DO LAYOUT DA SIMULAÇÃO
<p>Simulação [1] localizada trata da experiência de Philipp von Lenard (na Alemanha) e Robert Andrews Millikan (nos EUA), proporcionando comprovação e compreensão experimental do efeito fotoelétrico, contribuindo para a aceitação da hipótese quântica de Einstein⁹. O <i>applet</i> oferece uma biblioteca de cátodos metálicos conhecidos e utilizados no dia a dia dos estudantes, permitindo que ao simular o experimento possa acessar dados experimentais em efeito fotoelétrico nestes materiais, como frequência de corte.</p>	

⁹ A hipótese da iluminação de gases por luz ultravioleta, comprovando a teoria do quantum de energia luminosa para ionizar uma molécula de gás.

Disponível em: http://www.kevs.ca/site/projects/physics_files/photoelectric/photoelectricEffect.swf Acesso em 06 de junho de 2018.	
<p>Simulação [2] foi desenvolvida por pesquisadores do departamento de Química da Universidade do Texas (EUA). Programada para uso específico em computadores, permitindo ao usuário visualizar a função trabalho de partículas ejetadas de superfícies metálicas (sódio, zinco, cobre, platina e cálcio) quando expostas a diferentes frequências luminosas. Permite ao estudante avaliar a relação intensidade e frequência mínima, para que ocorra a função trabalho no efeito fotoelétrico em sólidos. Ao iniciar a simulação o estudante escolhe o material, depois seleciona um comprimento de ondas e intensidade, até atingir a energia suficiente para liberar as partículas.</p>	
Disponível em: https://ch301.cm.utexas.edu/simulations/photoelectric/PhotoelectricEffect.swf Acesso em 12 de maio de 2018.	
<p>Simulação [3] desenvolvida na Wiley¹⁰, não apresenta uma apresentação visual do fenômeno efeito fotoelétrico, somente representação gráfica. Para compreender o experimento, o estudante poderá clicar no botão nota, que irá surgir uma explicação teórica (em inglês) do fenômeno simulado. Ou, também, poderá acessar a um áudio (ícone à direita) com a explicação do experimento, também em inglês. No experimento o estudante poderá visualizar o circuito elétrico as variáveis: frequência, intensidade e tensão. Ao optar por um dos materiais (alumínio, prata ou sódio) obterá os valores numéricos de corrente e tensão.</p>	
Disponível em: https://www.wiley.com/college/halliday/0470469080/simulations/sim49/sim49.html Acesso em 20 de abril de 2018.	
<p>Simulação [4] refere-se a um laboratório virtual onde os estudantes podem observar os fatores que interferem a ejeção de elétrons de um metal com a incidência de luz, bem como os fatores que interferem na energia destes quando expostos à luz.</p>	
Disponível em: http://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/PhotoelectricEffect/index.html . Acesso em 10 jul. 2018.	

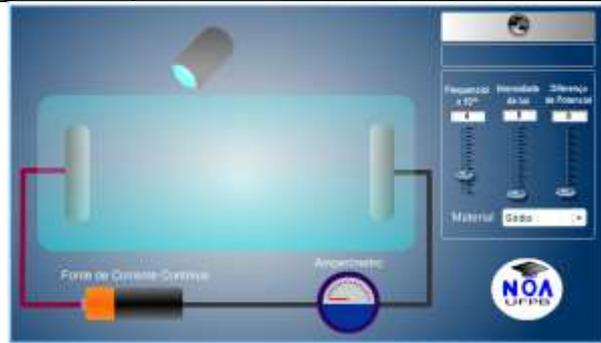
¹⁰ Empresa de desenvolvimento de tecnologias e soluções digitais para a educação, aprendizagem, avaliação e certificação para universidades e empresas.

Simulação [5] está disponível na *Web* em uma página que descreve o modelo quântico da luz, com breve relato dos fatos e eventos históricos que marcaram a origem da Física Quântica, bem como a publicação “*Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz, de Albert Einstein (1905)*”. Juntamente com o simulador, o estudante pode visualizar equações matemáticas e explicações sobre o fenômeno efeito fotoelétrico.



Disponível em: <http://www.educaplus.org/luz/lcomopartícula.html>. Acesso em 19 jul. 2018.

Simulação [6] foi desenvolvida por dois estudantes vinculados ao Núcleo de Objetos de Aprendizagem (NOA) do Departamento de Física da UFPB. Encontra-se em uma página da web, com informações sobre a temática a ser explorada. No lado esquerdo da tela, para o usuário, são apresentados hiperlinks com: breve descrição sobre o fenômeno; animação (simulação); textos; nota histórica e guia para o professor.



Disponível em:

<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>.

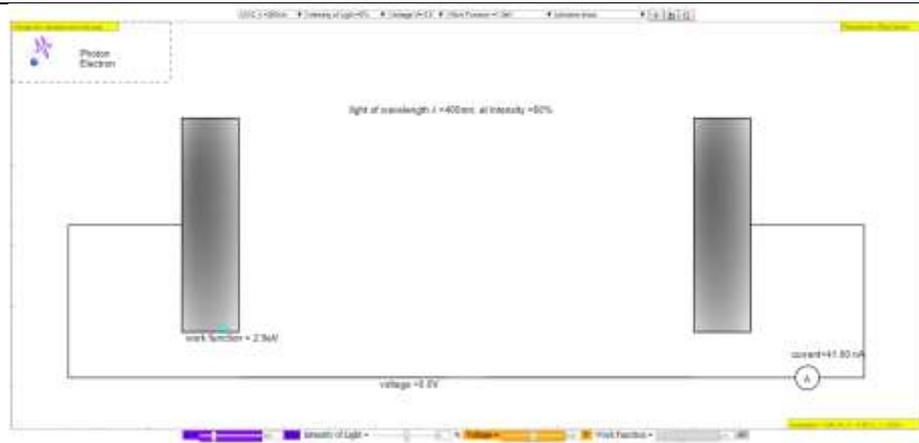
Acesso em: 20 jul. 2018.

A **simulação [7]**, desenvolvida por *Jose Ignacio Fernández Palop*, se a energia dos fótons for maior do que a função de trabalho do metal (W), os elétrons são ejetados e podem formar uma corrente em um circuito externo, onde é registrada por amperímetro. O simulador de Efeito Fotoelétrico foi criado usando a ferramenta de modelagem *Easy Java Simulations (EJS)*. É distribuído como um arquivo Java pronto para execução (compactado), requerendo versão 1.5 Java (no mínimo) instalado nas máquinas para que possa executar o experimento.



Disponível em: <https://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=10272>. Acesso em: 15 jul. 2018.

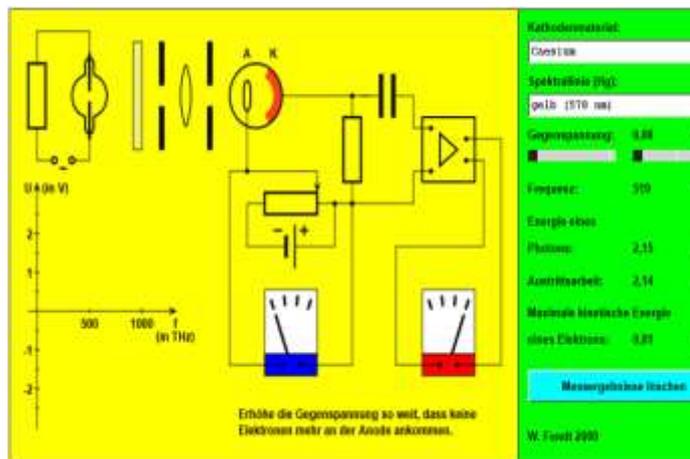
Simulação [8] apresenta um layout pouco atraente e com problemas na visualização de dados, dificultando o uso para fins didáticos. Entretanto é um bom modelo na representação do modelo dual da luz e ejeção dos elétrons.



Disponível em:

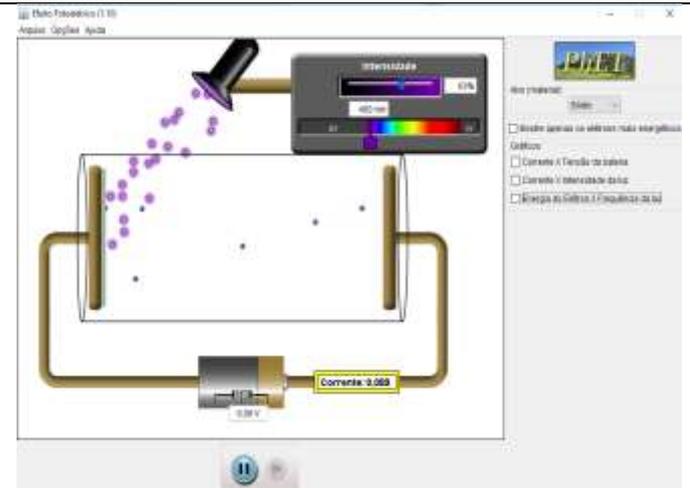
[http://iwant2study.org/lookangejss/06QuantumPhysics/ejss_model_photoelectricfffectweel_Simulation.xhtml](http://iwant2study.org/lookangejss/06QuantumPhysics/ejss_model_photoelectriceffectweel/photoelectricfffectweel_Simulation.xhtml). Acesso em: 21 jul. 2018.

Simulação [9] é um aplicativo HTML5 que simula teste para determinar a constante de Planck e a função trabalho, proporcionada por uma lâmpada de mercúrio. A luz que atinge o cátodo (K) de uma fotocélula (de césio ou sódio) pode desencadear, ou não, o efeito fotoelétrico, conforme o material e frequência da luz incidente. A energia cinética máxima dos elétrons emitidos é aumentada até que haja uma inversão de tensão, que pode ser controlada por um potenciômetro, até que os elétrons cheguem ao ânodo (A). Além da energia cinética, ao simular, o estudante poderá também alterar o comprimento de onda da luz incidente.



Disponível em: http://www.walter-fendt.de/html5/phde/photoeffect_de.htm. Acesso em: 12 jul. 2018.

Simulação [10] encontrada na busca e analisada para uso no guia computacional, foi desenvolvida pelo grupo *PhET*, da Universidade do Colorado. Fundado em 2002 com recursos do Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto *PhET* desenvolve simulações interativas gratuitas para ensino de ciências e matemática. As simulações desenvolvidas são submetidas à pesquisa em educação e envolvem os alunos através de um ambiente cognitivo, porém com estilo de jogo, onde os alunos aprendem através da exploração e da descoberta.



Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric. Acesso em: 15 jan. 2018.

Fonte: A pesquisa, com dados das simulações (2018).

A metodologia utilizada na classificação das simulações encontradas foi a partir do uso de critérios preestabelecidos, como realizado em pesquisa com simulações para o ensino de colisões mecânicas (REIS; SERRANO, 2002). Os critérios analisados foram: Interação ou a interatividade do estudante ao simular o experimento; Aspecto visual, se é apropriado ao estudante de ensino superior; *Designer* do aplicativo; A variedade de materiais fotossensíveis (cátodo); A representação gráfica das variáveis; A facilidade de acesso ao uso do aplicativo.

Definidos os critérios, estes foram submetidos a uma classificação com pontuação de zero a três, de modo semelhante à metodologia utilizada para avaliação da historicidade em instruções para laboratórios (KLASSEN et al., 2012): Excelente (E) = 3; Muito Bom (MB) = 2; Bom (B) = 1; Não Contém (NC) = 0, em conformidade com a tecnologia e realidade a ser aplicada. Quanto ao modelo da Luz, representada na simulação, foi aplicada a seguinte classificação (Tabela 1): (MO) para modelo ondulatório; (MC) modelo corpuscular da luz; (MOC) para modelo misto ou híbrido, ou onde era possível o estudante visualizar a luz como pacotes de ondas e (NE) quando não era representada a luz incidente.

Tabela 2 – Seleção das simulações computacionais para efeito fotoelétrico com uso de critérios predefinidos

Simulação	Modelo	Interação	Visual	Designer	Cátodo	Gráfica	Acesso	Total
Simulação [1]	MOC	3	3	3	3	1	2	15
Simulação [2]	MO	2	2	3	3	1	2	13
Simulação [3]	NE	2	1	2	2	0	1	8
Simulação [4]	MC	2	3	2	3	2	2	14
Simulação [5]	MC	3	3	3	3	2	3	17
Simulação [6]	MO	2	2	3	3	2	3	15
Simulação [7]	MO	2	2	3	1	1	1	10
Simulação [8]	MOC	2	2	2	0	3	1	10
Simulação [9]	NE	1	1	1	1	1	1	6
Simulação [10]	MO	3	3	3	3	3	2	17

Fonte: A pesquisa (2018).

A classificação com o uso dos critérios demonstrou que, para nossa pesquisa, as simulações mais indicadas para aplicação na engenharia foram: 1, 2, 5 e 10. Em especial, a simulação 10, desenvolvida na Universidade do Colorado, pesquisa bibliográfica desenvolvida em trabalho publicado em periódico na área (REIS; SERRANO, 2017b) demonstrou evidências de resultados na aprendizagem significativa de conceitos após seu uso

tanto no Brasil (CARDOSO; DICKMAN, 2012) quanto no exterior (MCKAGAN et al., 2007, 2009).

4.2.2 Validação do experimento computacional

O resultado da avaliação originou um experimento computacional com as quatro simulações, as quais fizeram parte de um teste-piloto para a pesquisa de tese (Teste-piloto 1), em uma turma com mais de 30 estudantes de Engenharia. Em duplas, no período de aula, os estudantes realizaram as atividades em laboratório de informática, guiados por um instrumento (Guia Computacional).

Os resultados obtidos com o teste-piloto demonstraram que o experimento era extenso para um período de aula (4 horas/aulas), comprometendo nos resultados da aprendizagem. Por conta disso, optou-se em reduzir o experimental computacional em três atividades (primeira, segunda e décima). Os critérios adotados na escolha da simulação a ser retirada do guia foram: avaliação inicial (somatória dos critérios); apresentou maiores desafios no uso e demonstrou menor impacto na aprendizagem dos estudantes. Por conta de problemas técnicos apresentados na página da *Web*, onde ela se encontrava disponível, a simulação retirada foi a Simulação [5]. A página estava em mudanças na estrutura e designer, durante a realização do experimento, conseqüentemente, demonstrou menor aceitação junto aos estudantes e, por esse motivo, foi suprimida do experimental de tese.

4.3 DEFINIÇÃO DO EXPERIMENTO DE LABORATÓRIO REAL

Conforme relatado em capítulos anteriores, o uso de laboratório real para o ensino do efeito fotoelétrico é recente e escasso. Na pesquisa bibliográfica, Klassen et al. (2012) apontam que o trabalho experimental sobre efeito fotoelétrico passou a ser utilizado após o desenvolvimento da tecnologia em eletrônica do estado sólido, por volta de 1960, com a superação de dificuldades técnicas. Nos dias atuais ainda há poucos trabalhos com foco específico em aspectos pedagógicos no uso de laboratório experimental. Entre os exemplos, no Brasil, foi encontrado experimento com uso de lâmpada de Hg, realizado na Universidade Federal de São Carlos (SP) em cursos de Licenciatura de Física (PARANHOS; LOPEZ-RICHARD; PIZANI, 2008). O uso de lâmpadas havia também sido utilizado em uma pesquisa com experimentos caseiros para ensino da Física Moderna, para a temática efeito fotoelétrico (ARRUDA; FILHO, 2004). E, mais recentemente, ainda para o ensino de Física

Moderna, uma pesquisa com lâmpadas de neon e LED foi realizada para ensino do efeito fotoelétrico (EBERHARDT et al., 2017).

Nesta pesquisa a aplicação de contexto produção e transformação da luz, associado a quantum de luz e/ou quantum de energia em efeito fotoelétrico foi explorada com o uso do laboratório real com uso de células fotovoltaicas, conforme sugerida na bibliografia analisada. Segundo apresentado em capítulos anteriores, o uso da tecnologia foi impulsionado, nos últimos anos, em razão das tratativas acordadas no protocolo de Quioto no período de 2008 a 2012 (SARK, 2007) e do movimento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), com uso da tecnologia em educação (DARK, 2011).

4.3.1 Descrição e montagem do experimento

O laboratório de Física da Universidade do Contestado dispõe de um *kit* experimental com painel fotovoltaico de 5W, que possibilita ser utilizado em período diurno, com iluminação solar, ou noturno, com dois pontos luz artificial. O conjunto¹¹ apresenta um conversor de corrente com acumulador de cargas. O equipamento pode ser acoplado a equipamentos de medição (Voltímetro e Amperímetro), diretamente conectados no painel, possibilita a verificação de variáveis, como tensão, corrente e resistência (Figura 7).

Figura 7 – Montagem do experimento fotovoltaico com iluminação artificial (esquerda) e solar (direita)



Fonte: A pesquisa (2018).

¹¹ Disponível em: <http://www.cidepe.com.br/index.php/br/produtos-interna/conjunto-conversor-de-energia-solar-em-eletrica-com-reostato-e-acumulador-carro-e-motor-2139>. Acesso em: 04 dez. 2018.

4.3.2 Validação do experimento real

No término de 2016/2 foi realizado o experimento-piloto com duas turmas da 4ª fase de Engenharia Civil (Turma A com 16 estudantes e a Turma B com 15 estudantes). O teste-piloto para o experimento de laboratório real foi realizado no período noturno, com quatro atividades: (i) transformação da luz de lâmpadas incandescentes (60W) em energia elétrica; (ii) transformação da luz de lâmpadas fluorescentes (15W) em energia elétrica; (iii) transformação da luz de lâmpadas de LED (8,5W) em energia elétrica e, na última, (iv) atividade de avaliação da eficiência em conversão da luz em eletricidade. Todas as lâmpadas eram de luz branca, com intensidade luminosa de aproximadamente 800 lm/m^2 . Nas três primeiras atividades os estudantes avaliavam corrente, tensão e calculavam potência e resistência, semelhante às do experimento definitivo. Na última atividade, para cada caso, os estudantes realizavam os cálculos da eficiência (η) na transformação da luz em energia elétrica.

Os resultados do experimento-piloto na aprendizagem dos estudantes não foram satisfatórios, uma vez que os estudantes forneciam respostas incorretas nos pós-testes e na prova de final do semestre. Também, muitos demonstravam a concepção alternativa de que a radiação infravermelha (calor) era responsável pela produção de energia, exemplificando que a luz incandescente gerava mais corrente. Essa concepção é equivocada, uma vez que essa lâmpada apresenta um pico de produção inicial e à medida que o painel de silício aquecia a corrente diminui significativamente, aumentando a resistência elétrica. Esse resultado não ocorre com as demais (fluorescente e LED), apresentando uma corrente estável. Com o propósito de solucionar esse problema, o experimento foi alterado (Apêndice E), adicionando ao experimento lâmpadas com luz de maior comprimento de onda (vermelha) e com menor comprimento de onda (azul), com intensidade semelhante às anteriores (Figura 8).

Figura 8 – Lâmpadas utilizadas no experimento final



Fonte: A pesquisa (2018).

As atividades foram orientadas por um roteiro (guia), desenvolvido após o ensino com aulas teóricas. O experimento-piloto foi avaliado mediante pré-teste e pós-testes. Como no experimento-piloto computacional, o piloto do experimento real foi muito importante para os ajustes no experimento final, de modo que resultou em evolução significativa na aprendizagem dos estudantes. Portanto, as intervenções utilizadas como teste-piloto tiveram como propósito a validação dos experimentos realizados em laboratório real e virtual.

4.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS UTILIZADOS NA UEPS

Os métodos utilizados na elaboração da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) em efeito fotoelétrico para o ensino superior estiveram em concordância com o referencial teórico e a pesquisa bibliográfica (Capítulos 1 e 2). Os instrumentos construídos para uso nos processos experimentais foram: pré-teste (Apêndice B); pós-teste (Apêndice C); materiais para as aulas teóricas (Apêndice F)¹²; roteiro de atividade para guiar os estudantes nas aulas práticas com uso de simulações computacionais (Apêndice D); laboratório real (Apêndice E) e entrevistas. Nesta seção serão apresentados os métodos e técnicas, bem como a fundamentação que orientou a elaboração dos recursos didáticos utilizados nesse processo.

¹² Os slides utilizados na aula teórica sobre a temática encontra-se disponível em: <<https://drive.google.com/drive/folders/18VLkTJIQqGQQmk8EfuJOa6wuA3zN6JZg?usp=sharing>>. Acesso em 12/03/2019.

4.4.1 Caracterização dos instrumentos utilizados como pré-teste e pós-teste

As questões de 01 a 05 eram iguais para o instrumento utilizado para avaliar as concepções iniciais na UEPS (pré-testes) e os utilizados na avaliação pós-teste. As questões 01 e 02, de caráter objetivas, foram elaboradas e utilizadas para avaliar as concepções de professores de Física sobre conceitos associados à dualidade da luz e efeito fotoelétrico (PEREIRA; CAVALCANTI; OSTERMANN, 2009). Nesta pesquisa as questões foram utilizadas para avaliar as concepções dos estudantes a respeito da influência da intensidade e da frequência da luz no efeito fotoelétrico. A questão 03, também objetiva, relaciona corrente e efeito fotoelétrico à situação contexto. Na elaboração desta questão utilizou-se, como modelo, o formato das questões utilizadas para avaliar as concepções de estudantes, na Turquia, no ciclo de aprendizagem 5E para a temática efeito fotoelétrico (TAŞLIDERE, 2015).

Na questão 04 os acadêmicos poderiam dissertar sobre conhecimentos associados à história da ciência, bem como a contribuição de Albert Einstein para a teoria quântica da luz em efeito fotoelétrico. A necessidade da elaboração desta questão teve origem no estudo bibliográfico desenvolvido durante a pesquisa (REIS; SERRANO, 2017a), a fim de avaliar a historicidade no estudo de efeito fotoelétrico, em conformidade com as considerações bibliográficas (ESHACH, 2009; KLASSEN et al., 2012; NIAZ et al., 2010).

As questões 05 e 06 foram elaboradas para avaliar o uso de situação contexto na construção de conhecimentos em efeito fotoelétrico. Na questão 05 foram avaliadas as concepções dos estudantes sobre efeito fotoelétrico, bem como a representação de conhecimentos quanto à teoria quântica da luz. A questão foi elaborada de modo que possibilitasse ao estudante o uso de diferentes representações, como: texto, equações matemáticas ou ilustração. O propósito dessa questão era avaliar, também, possíveis relações entre as concepções dos estudantes que participaram desta pesquisa com estudantes que participaram de uma pesquisa anterior na Turquia (ÖZCAN, 2015). E, na questão 06, ainda na aplicação contexto, foi elaborada para constatar como os estudantes ligavam as variáveis intensidade, frequência e corrente ao explicar a situação contexto.

No pós-teste houve a adição da questão 07, com foco na avaliação quanto à aceitação dos estudantes no que diz respeito ao uso de uma UEPS no estudo do tema. Ao responder, o estudante poderia dissertar sua opinião sobre a(s) contribuição(es) da UEPS na formação acadêmica, bem como a relevância da proposta didática no ensino e aprendizagem.

4.4.2 Elaboração do guia para laboratório computacional

Durante as buscas das pesquisas e das simulações analisadas para esta pesquisa de tese foram encontrados guias e/ou *workhome*, disponíveis na rede mundial de computadores¹³. Os instrumentos para atividades com uso de simulações computacionais foram analisados, sendo verificado que a maioria dos roteiros encontrados se designava ao uso da simulação do grupo PhET e, portanto, foi necessário construir um guia para o uso de simulações virtuais selecionadas para esta pesquisa. Os guias encontrados foram de grande relevância, a fim de avaliar o que tem sido explorado junto a estudantes com uso de simulações computacionais.

O instrumento utilizado para guiar os acadêmicos na realização dessas atividades computacionais foi elaborado a partir de um roteiro estruturado na metodologia P.O.E. (*Predict-Observe-Explain*), que significa prever-observar-explicar (WHITE; GUNSTONE, 1992 apud TAO; GUNSTONE, 1999). Desse modo, em duplas, os estudantes deveriam prever suas crenças iniciais em relação aos eventos a ser simulados no ambiente virtual, simulavam desenvolvendo os experimentos e, finalmente, registrando suas explicações comparando o que haviam previsto na etapa inicial com o observado nos experimentos (Apêndice C). Assim, guiados pelo instrumento, os acadêmicos poderiam registrar seus modelos e crenças em relação aos conceitos (Prever), simular os experimentos computacionais observando o fenômeno (Observar) e, por último, explicar e concluir, a partir dos modelos prévios e observados (Explicar). Dessa forma, o estudante poderia alterar concepções prévias, quando não compatíveis com o modelo científico, promovendo a construção de conceitos de forma significativa. A experiência com esse tipo de guia foi construída durante a pesquisa de mestrado (na temática colisões mecânicas), ao se apropriar da técnica P.O.E., utilizando como metodologia de confecção dos guias nesta pesquisa de tese (REIS, 2004).

Na etapa de predição oportunizaram-se subsídios para que os estudantes correlacionassem o tema por meio da tríade (historicidade, conceito e contexto). Ao responder poderiam utilizar diferentes modelos e representações, respondendo com equações

¹³ Endereço eletrônico dos instrumentos encontrados: http://central2.spps.org/uploads/shine_a_light_1.pdf;
<https://studylib.net/doc/6689333/to-move-home-photoelectric-effect-phet-lab>;
http://www.cabrillo.edu/~jmccullough/physics4c/files/4c_lab10_photoelectric_effect.pdf;
<http://content.njctl.org/courses/science/ap-physics-2/quantum-physics-and-atomic-models/photoelectric-effect-lab-phet/photoelectric-effect-lab-phet-2015-07-02.pdf>.

matemáticas, representações gráficas (ilustrações) e/ou dissertar os conhecimentos de forma textual.

Conforme descrito anteriormente, a etapa de observação sofreu alteração após o teste-piloto computacional, reduzindo o número de atividades e retirada de uma das simulações do guia, em razão de ter se apresentado extensivo para o período de intervenção. O guia utilizado no primeiro experimental definitivo foi elaborado contemplando três atividades experimentais, onde foi proporcionada a aquisição de conceitos na temática de estudo.

Na primeira simulação o foco de observação para os conceitos estava na transformação da luz em energia, bem como influência da frequência, comprimento e intensidade no fenômeno, quando aplicados em diferentes materiais, onde o estudante poderia visualizar a luz no modelo corpuscular. A segunda foi realizada com o propósito de simular o experimento realizado Lenard e Millikan, que comprovava a hipótese de Einstein do quantum de energia para a emissão de partículas no efeito fotoelétrico. E, na terceira simulação o estudante poderia observar a frequência de corte, definindo assim a energia cinética mínima necessária para que uma placa metálica ejetasse partículas, alterando a frequência de radiação incidente.

Na etapa de explicação o estudante deveria responder a três perguntas conceituais referentes aos conceitos explorados nas atividades. As questões qualitativas possibilitavam aos estudantes dissertar utilizando conhecimentos prévios apresentados na etapa de predição com os conhecimentos observados ao realizar as atividades virtuais, utilizando diferentes modelos.

4.4.3 Instrumento guiar para as atividades em laboratório real

Como no guia computacional, o instrumento utilizado para guiar os estudantes nas atividades de transformação da luz em energia com uso de células fotovoltaicas (Apêndice E), em laboratório de física, também foi elaborado estruturado na metodologia P.O.E. (*Predict-Observe-Explain*). Inicialmente, o guia apresentava uma breve introdução sobre o funcionamento da tecnologia fotovoltaica, as descrições do equipamento a ser utilizado e as características físicas do semicondutor de silício quando exposto à radiação eletromagnética.

Após a leitura do texto apresentado na introdução, na etapa de predizer, em duplas os estudantes poderiam responder a duas questões abertas: na primeira externando seus conhecimentos sobre os conceitos subjacentes à transformação da luz pela tecnologia

fotovoltaica. Na segunda questão deveriam descrever as características físicas da tecnologia a ser utilizada nos experimentos, contextualizando a tecnologia a ser utilizada nos experimentos.

Na etapa de experimentação (observação) os experimentos foram elaborados a partir de resultados de pesquisas anteriores (DARK, 2011; GFROERER, 2013; GREAVES, 1970; MOLKI, 2010; RICHARDS; ETKINA, 2013) e apostila proporcionada pelo fabricante com instruções de uso do equipamento (CIDEPE, [s.d.]). Nessa etapa, os estudantes eram submetidos a dois experimentos: No primeiro a transformação da luz artificial em eletricidade, com uso de lâmpadas de LED, fluorescentes e incandescentes. Após as verificações e registros dos valores da corrente e tensão, os estudantes calculavam potência e resistência. Depois das observações, à medida que os estudantes realizavam os cálculos e discutiam os resultados em pequenos grupos, o professor realizava a substituição das lâmpadas. Esse experimento tornou-se mais moroso na realização, uma vez que havia a necessidade de aguardar um período até estabilizar a corrente. No segundo experimento os estudantes deveriam realizar o experimento comparando os resultados observados quando houvesse mudanças na frequência da luz incidente.

Na etapa de explicação os estudantes deveriam externar os conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores, relacionando a situação de contexto com os conhecimentos explorados nas atividades práticas. O foco dessa etapa era levar os estudantes a refletir acerca dos resultados, constatando não somente que a corrente sofre influência pela transformação da luz em energia, como também tensão e resistência, uma vez que a tensão diminui à medida que aumenta a temperatura (DARK, 2011). Outras pesquisas também sugerem a exploração dessas variáveis em ensino, como foi observado em pesquisas com atividades computacionais (WITTMANN; STEINBERG; REDISH, 2002) e nas atividades com o uso da tecnologia fotovoltaica na Austrália (MORGAN; JAKOVIDIS; MCLEOD, 1994) e na França (BOITIER; CRESSAULT, 2011).

4.5 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) utilizada nesta pesquisa foi construída seguindo uma sequência didática fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, conforme relatado no capítulo anterior, com foco na concepção de que o ensino é o meio para que ocorra a aprendizagem (MOREIRA, 2011). De acordo com a

proposta do autor, a UEPS deve atender aos seguintes princípios: (i) A aprendizagem deve ser significativa e crítica, centrada no aluno de modo a estimular a busca por respostas, possuir uma diversidade de materiais e estratégias; (ii) o conhecimento prévio deve ser a principal variável a ser utilizada como parâmetro na evidência de aprendizagem; (iii) o uso de organizadores prévios para auxiliar na relação entre os conhecimentos prévios na estrutura cognitiva do aprendiz e novos conceitos a serem aprendidos; (iv) pensamentos, sentimentos e ações necessitam ser considerados; (v) as situações-problemas, cuidadosamente selecionadas, apresentadas em nível crescente de complexidade, devem ser utilizadas para potencializar a predisposição à aprendizagem significativa; (vi) a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora devem fazer parte da unidade de ensino; (vii) o papel do professor é o de mediador, deve promover a captação e compartilhamento de significados entre estudante, professor e material educacional.

A intervenção com a unidade de ensino ocorreu em quatro encontros (16 horas/aulas), na disciplina de Física III, para os cursos de Engenharia Civil e Engenharia Sanitária Ambiental da Universidade do Contestado (UNC), que contempla a temática Efeito Fotoelétrico entre as componentes curriculares na Física Moderna e Contemporânea. Durante as oito etapas das intervenções, os estudantes poderiam ausentar-se sempre que necessário, podendo continuar posteriormente as atividades. Conforme relatado, a UEPS foi construída contemplando a aprendizagem de efeito fotoelétrico apoiada na tríade historicidade, conceito e contexto (RAUPP, 2015). Portanto, a UEPS foi desenvolvida objetivando construir de forma significativa conceitos e eventos associados ao efeito fotoelétrico, a partir de uma proposta didática que relacione historicidade, conceito científico e no contexto de produção e transformação da luz por células fotovoltaicas (Figura 9).

Figura 9 – Esquema ilustrativo sobre a ligação entre os elementos no delineamento metodológico.



Fonte: A pesquisa (2018).

Os conteúdos explorados mediante a UEPS foram: (i) Fóton, o Quantum de Luz; (ii) Dualidade onda-partícula; (iii) Quantização da Carga Elétrica (Experimento de *Millikan*); (iv) Radiação do Corpo Negro; (v) Efeito fotoelétrico e aplicações de contexto; (vii) Efeito fotoelétrico em semicondutores de silício. Como material de apoio, além do material disponibilizado pelo professor, como testes (Apêndices B e C), guias (Apêndices D e E), *slides* e Lista de problemas (Apêndice F). Os problemas foram extraídos do livro texto utilizado por eles nessa disciplina (HALLIDAY; RESNICH; WALKER, 2011).

4.5.1 Delineamento das etapas da UEPS para o experimento definitivo

O delineamento para o experimento piloto foi anteriormente relatado e, nesta seção, serão apresentados os procedimentos para o experimental definitivo 1, realizado com o uso da UEPS, com as etapas organizadas em quatro momentos: Problematização inicial; Organização do conhecimento e construção de conceitos; Problematização do conhecimento e avaliação da aprendizagem.

Problematização Inicial

Etapa 1: Obtenção de conhecimentos prévios (1 hora/aula).

A avaliação ocorreu com uso de Instrumento de Coleta de Dados pré-teste (Apêndice A), elaborado com questões objetivas e discursivas, a fim de avaliar as concepções dos estudantes antes da execução das atividades propostas na UEPS.

Organização do Conhecimento

Etapa 2: Aula expositiva e dialogada, com perguntas e problemas conceituais (2 horas/aulas).

A etapa contemplou aula expositiva e dialogada na construção de conhecimentos para tema da UEPS. Após a realização da etapa anterior, por intermédio de aula expositiva e dialogada, foram proporcionados conhecimentos teóricos, considerando a tríade: historicidade, conceito e contexto (RAUPP, 2015). Para a execução da atividade, os acadêmicos utilizaram como material de apoio os *slides* (Apêndice E), que foram disponibilizados na central do aluno, e livro texto utilizado na disciplina (HALLIDAY; RESNICH; WALKER, 2011). Nessa etapa, os estudantes responderam questões propostas (Apêndice F), também disponível com o material de apoio e no livro texto citado.

Etapa 3: Atividades com uso de simulação computacional (4 horas/aulas).

Na etapa foram desenvolvidas atividades com uso das três simulações computacionais em efeito fotoelétrico, anteriormente apresentadas. Conforme relatado, as simulações estão disponíveis na rede mundial de computadores, desenvolvidas e testadas por Universidades renomeadas. As simulações utilizadas são de domínio público e demandam apenas a instalação de um aplicativo JAVA Flash ou HTML5.

Problematização Final

Etapa 4: Atividades em laboratório real com uso de células fotovoltaicas (4 horas/aulas).

Essa etapa ocorreu em um Laboratório de Física, com atividades experimentos em células fotovoltaicas. Como no teste-piloto, as atividades também foram desenvolvidas no período noturno, com uso de um painel fotovoltaico com células de silício policristalino de

5W, utilizando dois pontos de luz artificial com lâmpada com diferentes tecnologias (fluorescente, incandescente e LED) e diferentes frequências luminosas (brancas, azuis e vermelhas), todas com intensidade luminosa semelhante (aproximadamente 800 lm/m²). O experimento era realizado com a supressão da iluminação do ambiente (Figura 10). Conectado a um voltímetro e um amperímetro, o experimento proporcionava os valores para corrente e a tensão gerada pela placa, de modo que os estudantes poderiam verificar a transformação da luz em eletricidade.

Figura 10 – Esquema do experimento (à esquerda) e amostra das lâmpadas utilizadas durante os experimentos



Fonte: A pesquisa (2018).

Etapa 5: Atividade resolução de problemas aplicados ao efeito fotoelétrico (2 horas/aulas)

Foram disponibilizados, juntamente com as perguntas conceituais da aula teórica (Etapa 2), uma seleção de problemas do livro texto utilizado na disciplina (HALLIDAY; RESNICH; WALKER, 2011). A atividade de resolução de problemas ocorreu em pequenos grupos, relacionando conhecimentos teóricos e práticos. Durante a atividade os estudantes poderiam relacionar os problemas propostos com os conhecimentos construídos nas etapas anteriores, fazendo uso de diferentes modelos (modelo físico, matemático e prático).

Avaliação da aprendizagem

Etapa 6: Avaliação da aprendizagem da UEPS com pós-teste

O instrumento de coleta de dados pós-teste (Apêndice B), onde foram avaliadas as concepções dos estudantes após a aplicação da proposta didática, bem como a sua relevância para a construção dos conhecimentos.

Etapa 7: Entrevista

As entrevistas foram gravadas pela pesquisadora após o pós-teste, utilizando as respostas fornecidas pelo estudante ao responder às questões do instrumento. O propósito da entrevista estava em avaliar as concepções e modelo mental nos estudantes com mais de uma ferramenta e, nesse caso, com o método protocolo *Report Aloud*, adaptado no grupo de pesquisa (RAMOS, 2015; WOLFF, 2015), a partir do método *Think Aloud* (VAN SOMEREN; BARNARD; SANDBERG, 1994), conforme será relatado na próxima seção.

Etapa 8: Aplicações de contexto da temática na Engenharia (Seminário)

Em duplas, em atividade extraclasse, os acadêmicos realizaram uma pesquisa sobre aplicações de contexto das áreas temáticas estudadas na Física III¹⁴. As apresentações ocorreram no final da disciplina, onde as aplicações de contexto dos conteúdos foram apresentadas na forma de seminário e por meio de um resumo estendido (seguindo metodologia científica), de modo que possam ser apresentados em eventos na área¹⁵. Das doze temáticas, as aplicações de contexto na temática da UEPS foram:

- a) Uso de sensores (de presença e de iluminação);
- b) Efeito fotoelétrico na iluminação artificial;
- c) Efeito fotoelétrico na iluminação com lâmpadas de LED (Diodo emissor de luz);
- d) Aplicações de células solares para edificação em sistema *on grid*;
- e) Células solares em sistemas *of grid*.
- f) *Laser* na construção civil.

Etapa 9: Prova Final

¹⁴ No grupo experimental 1 foram realizadas 13 duplas, contemplando todas as temáticas trabalhadas em Física III.

¹⁵ Na UnC ocorrem, no mínimo, três eventos: Semana Acadêmica das Engenharias, Jornada de Iniciação Científica (JINC) e Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão (Sipex). Os estudantes podem utilizar as publicações como horas de atividade complementar no curso.

Na última das etapas da UEPS, durante a prova final (que contempla Física Moderna e Física Nuclear), foram proporcionadas quatro questões relacionadas aos conhecimentos desenvolvidos na UEPES, duas questões teórico-práticas e duas de situação problema, com foco em historicidade, conceito e contexto em efeito fotoelétrico. Desse modo, a UEPS foi utilizada na avaliação M3¹⁶ na disciplina de Física III, com base no desenvolvimento das atividades e da prova.

Portanto, as etapas de validação e aplicação do experimental da tese ocorreram em três momentos: experimento piloto computacional, piloto do experimento real e experimento com a UEPS. Considerando que os dois primeiros experimentos (piloto computacional e piloto real) foram realizados com intenção de avaliar a eficácia dos experimentos para o aprendizado, os estudantes tiveram aula teórica e foram submetidos ao pré-teste, realizavam o experimento prático e, em seguida, foram submetidos ao pós-teste. No entanto, no experimento final com a UEPS o pré-teste era realizado antes que o estudante tivesse qualquer contato com o material (Tabela 3). Nesse último era possível avaliar a eficácia da sequência didática, bem como a contribuição de cada etapa da UEPS para o ensino e aprendizagem do tema.

Tabela 3 – Etapas de intervenção junto aos estudantes em cada experimento

Encontro	Piloto Computacional	Pilos Experimento Real	Experimento final com UEPS
1º	Aula teórica e atividades com resolução de problemas	Aula teórica e atividades com resolução de problemas	Pré-teste Aula teórica (historicidade, conceitos e contexto)
2º	Pré-teste	Pré-teste	Experimento computacional
3º	Experimento computacional	Experimento Real	Experimento Real Problematização
4º	Pós-teste	Pós-teste	Pós-teste e entrevista
Avaliação Final	Seminários 2 questões da prova	Seminários 3 questões da prova	Seminários 4 questões da prova

Fonte: A pesquisa (2018).

¹⁶ Resolução UnC-Consun 040/2010 que dispõe sobre os Procedimentos e Critérios para Verificação da Aprendizagem no âmbito da UnC, resultando em três médias parciais. Na M3 os estudantes são avaliados mediante prova escrita (peso 6) e apresentação de aplicações de contexto dos conteúdos da disciplina (peso 4).

4.6 METODOLOGIA NA COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Inicialmente, as informações obtidas com o uso dos instrumentos de coleta de dados (pré-teste, pós-teste e guias) foram analisadas em planilhas eletrônicas, relacionando os dados obtidos antes e após o uso das atividades proporcionadas na UEPS. Os resultados desses dados foram analisados com o uso de análise comparativa, representados em gráficos. Essa análise quantitativa possibilitou contrapor os resultados globais na evolução conceitual para a aprendizagem para cada conceito explorado. As informações proporcionadas pelos acadêmicos, por meio de questões e instrumentos qualitativos, também foram classificadas e categorizadas, com base na análise de conteúdos (BARDIN, 1977), posteriormente representadas em gráficos, como nas questões objetivas. Em trabalho anterior, desenvolvido pelos autores deste projeto (REIS, 2004), foi comprovado que essa técnica pode contribuir para a avaliação dos resultados da pesquisa e proporcionar o uso de programas estatísticos em dados qualitativos.

Todos os dados adquiridos foram analisados e armazenados em forma de categorias, conforme será relatado na seção 5.1 do próximo capítulo. Antes de iniciar as atividades, os estudantes assinaram um termo de consentimento (Apêndice A) de participação da pesquisa, previamente aprovado no comitê de ética em pesquisas com humanos (Anexo A). Também foram orientados no uso de um código de identificação, a fim de preservar sua identidade antes, durante e depois da pesquisa.

4.6.1 Metodologia utilizada na realização das entrevistas

Durante as entrevistas foram coletados dados onde o estudante se expressava utilizando linguagem verbal e gestual ao ser interrogado sobre suas respostas expressas ao responder o instrumento de pós-teste. A entrevista foi realizada individualmente e documentada com gravação de vídeo (áudio e imagem). Inicialmente, o estudante era submetido a um diálogo (conhecido como *rapport*¹⁷), onde o entrevistador conversava sobre boas-vindas, questões pertinentes ao protocolo de ética, procedimentos da entrevista e outros comentários, quando eram necessários para que o estudante ficasse descontraído para responder aos questionamentos.

¹⁷ *Rapport* um termo usado na psicologia que faz uso uma técnica para criar uma ligação de sintonia e empatia com outra pessoa. A palavra é de origem francesa *rapporter*, significa "trazer de volta".

A técnica utilizada na entrevista *Report Aloud*, adaptada de pesquisas anteriores (RAMOS, 2015; WOLFF, 2015), com base no método *Think Aloud* (VAN SOMEREN; BARNARD; SANDBERG, 1994) proporcionou relacionar as metodologias aplicadas em diferentes etapas da UEPS com a fundamentação teórica na aprendizagem cognitiva. A técnica *Think Aloud* foi explorada nas pesquisas do grupo e recentemente aprovada para publicação em periódico na área (TREVISAN et al., 2019), onde a análise gestual descritiva surge como um importante aliado metodológico na identificação da compreensão de conceitos científicos nos estudantes em pesquisa qualitativa. Como na pesquisa citada, utilizamos a metodologia para identificar a representação de imagem mental (ou simulação mental) usada pelo estudante para responder os instrumentos, considerando o relato verbal e gesto das mãos. Desse modo, era possível verificar se o estudante relacionava o conceito construído na mediação psicofísica, social, cultural ou hipercultural (SOUZA, 2004), explorada nas etapas da UEPS.

Durante a entrevista o pesquisador questionava sobre a resposta do estudante no instrumento de pós-teste. A entrevista teve um aspecto muito menos intervencionista que normalmente se utiliza para esse tipo de pesquisa, permitindo que as imagens mentais emergissem naturalmente. Por conta disso, seria possível que nem todos os estudantes demonstrassem o processo de mediação (psicofísica, social, cultural ou hipercultural) utilizado durante a construção do conceito.

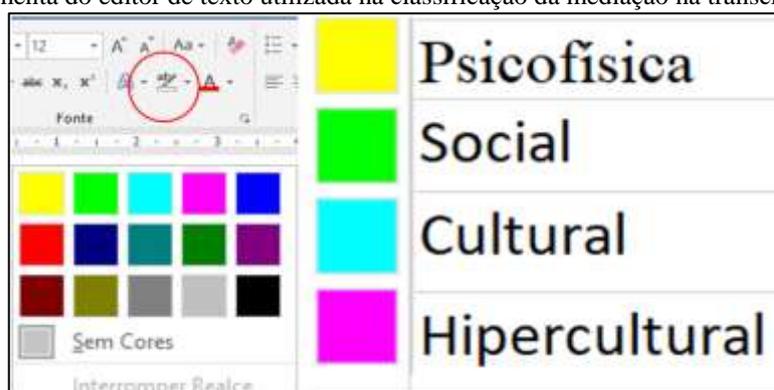
4.6.2 Metodologia utilizada na análise das entrevistas

Após a transcrição na íntegra dos relatos (linguagem verbal) e gestos (não verbal ou gestual), apresentados nos apêndices da tese, iniciavam as análises dos conceitos, de modo individual a cada estudante. A análise gestual foi desenvolvida a partir da visualização das imagens de vídeo do momento e do contexto em que o gesto foi produzido no processo de ensino e aprendizagem. A linguagem verbal expressa nas transcrições das entrevistas foi submetida à análise de conteúdo, onde as categorias e subcategorias foram geradas e analisadas conforme proposto por Bardin (2007). A análise, segundo propõe o autor, ocorreu em quatro etapas: (a) leitura flutuante, onde foi realizado o contato inicial com todos os documentos da coleta de dados, com o propósito de conhecer o contexto com os quais as ideias dos acadêmicos se relacionavam; (b) organização dos documentos, selecionando por

características e critérios a serem analisados; (c) elaboração de indicadores por meio de recortes de texto nos documentos de análise.

Na primeira fase, para cada questionamento (conceito) era identificado qual mecanismo de mediação externa predominava na resposta do estudante. Como ferramenta de destaque foi utilizada a cor de realce do editor de texto, sendo destacada conforme sua classificação: amarelo para a mediação psicofísica; verde, social; azul, cultural e rosa hipercultural (Figura 11).

Figura 11 – Ferramenta do editor de texto utilizada na classificação da mediação na transcrição das entrevistas



Fonte: A pesquisa (2018).

Juntamente com a análise verbal foi realizada a análise da linguagem não verbal caracterizada por gestos descritivos (análise gestual), onde foi aplicada a metodologia utilizada por Stephens e Clement (2010) e Monaghan e Clement (1999). Nas pesquisas citadas, autores se utilizam de alguns indicadores, como os movimentos de mãos, a fim de presumir que os estudantes por eles investigados utilizam imagens de simulações mentais durante as gravações das entrevistas.

Portanto, nesse processo, como na pesquisa realizada por Monaghan e Clement (1999), as entrevistas realizadas com os estudantes da Engenharia foram submetidas às seguintes intervenções: (1) Após a transcrição da fala dos estudantes, foi identificado quando ocorreu um processo de raciocínio com uso de gestos, bem como em que categoria ou forma de mediação este pode ser classificado, registrando momentos na transcrição que ilustram os critérios analisados; (2) Relato dos resultados dos casos (estudantes) que representam a categoria, conjuntamente com transcrições com a presença do raciocínio representado com gesto representativo no processo; (3) Descrever gestos representativos como um tipo de indicador para a presença de imagens mentais e dar exemplos; (4) Por fim, o relatório de resultados obtidos por meio de análise exploratória de vários tipos de representação com

gesto, articulando com as evidências de aprendizagem significativa, conforme apresentada em capítulos anteriores da tese.

Na análise, os gestos foram relatados e listados em ordem alfabética, representados por um código. A classificação das representações dos gestos possibilitava, sempre que necessário, sua citação durante o relato da fala do estudante no texto. Nesse caso, entre colchetes, o tempo no vídeo em que ocorreu a representação gestual (entre parênteses), o símbolo # e o código do gesto¹⁸, conforme classificado no Apêndice online¹⁹.

Na análise das categorias foram avaliadas as subcategorias, a partir das entrevistas e observação de drives que indicam os diferentes tipos de mediação discutidos na fundamentação teórica desta pesquisa. Nesse processo foram consideradas as seguintes subcategorias: (i) mediação psicofísica, quando o estudante se utilizava de drivers relacionados ao uso de situação contexto explorada nas aulas práticas em laboratório real; (ii) mediação social, quando o estudante se referia ao convívio com colegas ou professor ao fundamentar sua resposta; (iii) mediação cultural, quando usava informações pertinentes às aulas expositivas e/ou exercícios e (iv) mediação hipercultural, quando o estudante se referia à aula prática com uso de computador. Desse modo, era possível avaliar a ação de cada estratégia utilizada na UEPS para o processo de aprendizagem.

Na interpretação e classificação dos gestos, para representar as formas de mediação, foram considerados os formatos nas representações implícitas ou explícitas nas respostas dos estudantes, conforme proposto por Monaghan e Clement (1999, p. 929): (a) Relato de imagens: Quando o sujeito faz referências espontâneas em primeira pessoa para “ver” ou “visualizar” ou “imaginar” uma cena, por exemplo, “em minha mente, estou vendo o um painel fotovoltaico”; (b) Movimentos de mão criativos: Estes ocorrem quando um movimento da mão representa um evento na solução do problema, como a toca dos materiais de incidência da luz; (c) Referências a percepções: São semelhantes aos relatórios de imagens, mas não são diretos. O sujeito se refere explicitamente à sensação de percepção enquanto descreve aspectos visuais ou outros aspectos perceptivos da cena durante o pensamento, usando frases, como, “na radiação ultravioleta”, que somente era visualizada no experimento computacional.

¹⁸ Como exemplo, [(04:03) # DA] significa que em 04 minutos e 03 segundos de gravação o estudante: Diferentes Ambientes (DA), utiliza-se de gestos para indicar diferentes ambientes; diferentes locais.

¹⁹ As transcrições na íntegra encontram-se disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1QlxSbzk0Ea4sYFhQxy-KgJ7FuvK6ox64/view?usp=sharing>. Acesso em 20/02/2019.



5 RESULTADOS DO EXPERIMENTO COM A UEPS

O primeiro experimento realizado com uso da UEPS em efeito fotoelétrico na produção e transformação da luz, construído com a tríade (historicidade, conceito e contexto) e contemplando todas as etapas da unidade didática, foi desenvolvido na disciplina de Física III. As atividades ocorreram no período de quatro encontros noturnos (16 horas/aulas), com início em 10 de outubro e término em 31 de outubro de 2017, onde a pesquisadora era professora da disciplina. Participaram do experimental 24 acadêmicos do 4º período de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Contestado, que tiveram nas aulas acesso às atividades com uso da UEPS. Entretanto, devido à ocorrência de atividades acadêmicas nas aulas em que foram realizadas as últimas etapas, somente 18 estudantes realizaram todas as etapas²⁰ do experimento.

Como relatado em capítulos anteriores, após a realização das atividades da UEPS os acadêmicos foram convidados a participar de uma entrevista, onde eram questionados sobre as respostas fornecidas ao responder o instrumento de pós-teste. As entrevistas aconteceram em dois momentos: na última etapa UEPS²¹ e no final do semestre, após o término da prova de cálculo numérico III (seis semanas após o encerramento das atividades da UEPS). Essa intervenção foi oportunizada aos 8 estudantes que estavam ausentes na última etapa da UEPS.

²⁰ Uma acadêmica estava em licença-maternidade e alguns acadêmicos estavam representando a Universidade nos jogos universitários (JUCs).

²¹ Após o intervalo, enquanto alguns estudantes concluíam as atividades de resolução de problemas, na sala ao lado eram realizadas as entrevistas com os acadêmicos que haviam concluído a atividade.

Desse modo, conforme concluíam a prova poderiam dirigir-se à sala de aula vaga (ao lado da sala de cálculo), para realizar a entrevista.

As entrevistas tiveram duração média de quatro minutos (4 min) cada, resultando em um total de 64,98 minutos (aproximadamente uma hora) de gravação. Elas foram realizadas com objetivo de avaliar como ocorreram os processos de mediação nos estudantes, ao fazer uso de diferentes mecanismos no processamento das informações com a UEPS. Nesse processo, buscou-se avaliar evidências de processos de mediação na aprendizagem dos conceitos, bem como a busca de evidências em aprendizagem significativa dos mesmos. Juntamente com a transcrição integral das falas gravadas nas entrevistas, foram interpretadas as representações gestuais evidenciadas nos relatos dos estudantes, identificados juntamente com os tempos em que ocorreram durante a entrevista (Apêndice C).

As gravações das transcrições das entrevistas, apresentadas em mídia eletrônica, foram analisadas juntamente com os demais instrumentos de coleta de dados utilizados na pesquisa. A análise de conteúdo (BARDIN, 1977) realizada por intermédio de categorias e subcategorias possibilitou a construção de universais concretos e abstratos (ERICKSON, 1986; MOREIRA; ROSA, 2016), conforme discutido no delineamento metodológico desta pesquisa, que resultaram dos processos de mediação, que orientarão os resultados apresentados neste capítulo.

5.1 EVOLUÇÃO NOS ACERTOS DE RESPOSTAS ENTRE PRÉ-TESTES E PÓS-TESTES

Ao avaliar as respostas dos estudantes nos pré-testes e pós-testes, para os conceitos investigados, foi observado evolução no acerto para as respostas dos estudantes. Cada conceito foi avaliado a partir do uso de ferramentas da *Microsoft Office Excel*, com a intenção de estabelecer um comparativo entre as respostas apresentadas nos instrumentos de coleta de dados (pré-testes e pós-testes), incluindo, nesse processo, os estudantes que não participaram das entrevistas. Essa análise demonstrou evidências para os seguintes universais:

Universal abstrato

Após o uso da metodologia didática, os estudantes, em sua maioria, relacionam corretamente o efeito fotoelétrico à frequência da radiação incidente e não à intensidade.

Universal concreto

- a) A maioria responde no pós-teste, após a realização da UEPS, que energia das partículas emitidas em efeito fotoelétrico independe da intensidade da Luz;
- b) Respondem no pós-teste que a energia das partículas emitidas no efeito fotoelétrico depende da frequência da luz;
- c) Ao avaliar a influência da intensidade e frequência da luz sobre a corrente em efeito fotoelétrico, a maioria responde no pós-teste (especialmente na questão descritiva) que a corrente está associada à frequência e não à intensidade.

5.1.1 A maioria dos estudantes responde que energia das partículas independe da intensidade da Luz

A influência da intensidade luminosa no efeito fotoelétrico foi o primeiro conceito a ser explorado em todas as atividades da UEPS. O conceito foi investigado com questão objetiva, a fim de avaliar se os estudantes reconheciam que somente a mudança da intensidade da luz não é suficiente para alterar na energia dos elétrons emitidos. Em pesquisas anteriores foi observado que os estudantes no ensino da temática frequentemente demonstram “dificuldade de diferenciar intensidade da luz (fluxo de fótons) da frequência da luz (energia do fóton).” (REIS; SERRANO, 2017, p. 505). Assim, tanto no pré-teste quanto no pós-teste, depois de uma breve contextualização do experimento realizado, os estudantes poderiam responder à questão objetiva apresentada nos instrumentos (Quadro 2).

Quadro 2 – Questão referente à intensidade da luz

INTRODUÇÃO ÀS QUESTÕES

Duas lâmpadas ligadas estão presas por um suporte sobre uma placa de silício (conforme figura ao lado). O silício é um semicondutor que se comporta como isolante até que haja uma fonte de energia externa capaz de "dar um impulso" em seus elétrons da banda de valência para a banda de condução, produzindo corrente. Quando as lâmpadas ligadas, através de equipamentos de medição (Voltímetro e Amperímetro), foi possível verificar esse fato. A partir dessas informações e conhecimentos construídos na atividade, responda as questões a seguir:



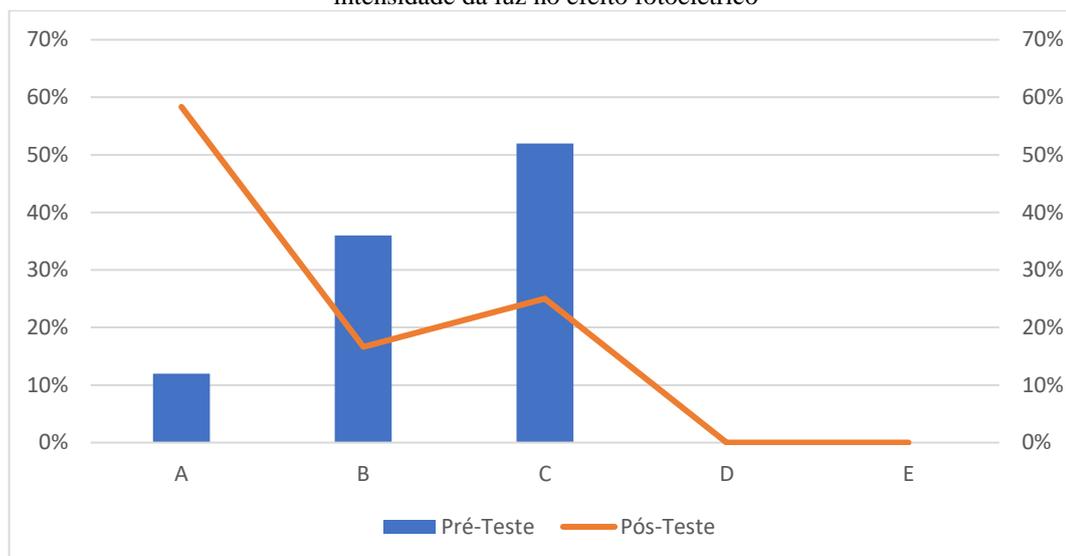
01. Suponha que a **intensidade** do feixe de radiação seja aumentada (aproximando as lâmpadas do painel). Pode-se afirmar que a energia dos elétrons emitidos:

- (A) permanecerá inalterada.
- (B) aumentará imediatamente.
- (C) permanecerá inicialmente inalterado e, em seguida, aumentará gradualmente.
- (D) diminuirá imediatamente.
- (E) irá imediatamente a zero.

Fonte: A pesquisa (2018).

A análise comparativa entre os instrumentos aplicados no início da UEPS (Pré-teste) e após as atividades da UEPS (Pós-teste) demonstrou uma evolução significativa no acerto das respostas para essa questão. No pré-teste (gráfico de barra) prevalecia entre os estudantes a resposta na alternativa C (mais de 50%), que se a intensidade da luz fosse aumentada a energia dos elétrons permaneceria inicialmente inalterada e, em seguida, aumentaria gradualmente (Gráfico 2). E nos resultados dos pós-teste (representado no gráfico por linha) prevalecia a opção da resposta A, em quase 60% dos estudantes, que a energia permaneceria inalterada.

Gráfico 2 – Respostas dos estudantes quando questionados no pré-teste e pós-teste sobre a influência da intensidade da luz no efeito fotoelétrico



Fonte: A pesquisa (2018).

Nota: Considerada correta a resposta A, sendo que a maioria responde corretamente no pós-teste.

Durante a entrevista, quando submetidos ao questionamento [“[...] *se a intensidade da luz for alterada, [...] o que aconteceria com os elétrons emitidos, você respondeu que permanecerá inalterada. Por quê?*”] muitos estudantes demonstravam evidências de aprendizagem nas justificativas pela opção de resposta apresentada ao responder o pós-teste (Quadro 3). Frequentemente era externado, nas falas dos estudantes, que o aumento na intensidade luminosa não era responsável por alterar a energia dos elétrons, sendo necessária uma mudança na frequência. Nas respostas fornecidas durante as entrevistas (verbal ou não verbal), para o conceito de intensidade, muitos estudantes não evidenciavam algum processo de mediação específico (psicofísica, social, cultural ou hipercultural), que fosse responsável para sua justificativa de resposta.

Quadro 3 – Respostas dos estudantes ao justificar a escolha da resposta A, sem haver evidência de algum mecanismo de mediação na construção do conceito intensidade.

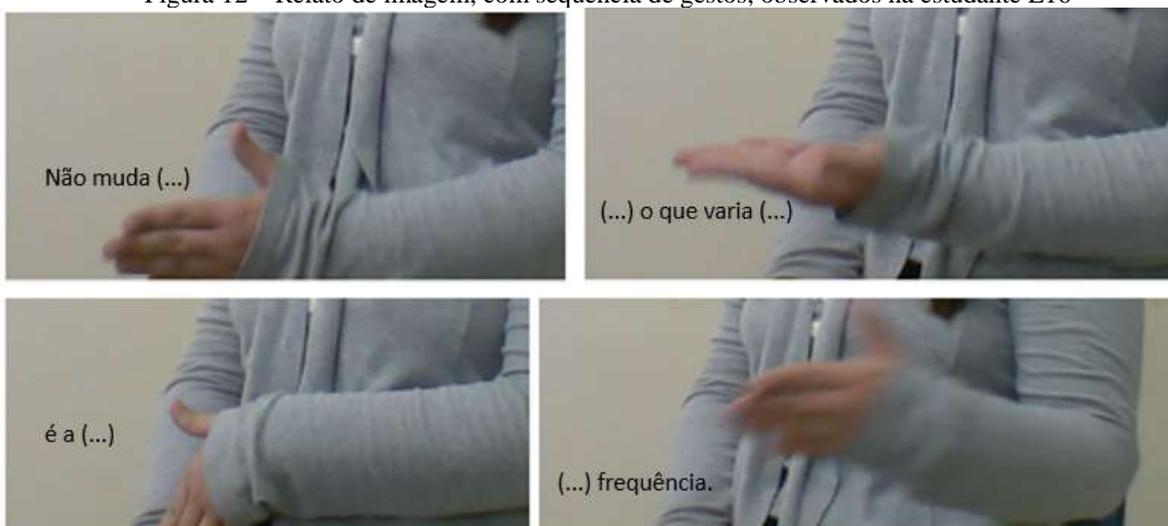
E2	“[...] a intensidade não afeta nos elétrons e sim a frequência vai alterar na corrente, que tecnicamente seria os elétrons.”
E5	“Porque o que mais conta para energia gerada é a frequência da luz e não a intensidade dela.”
E14	“Porque a intensidade não influencia muito, quase nula, o que influencia é a frequência.”
E16	“[...] eu acho que ela não muda né. O [utiliza uma sequência de gestos indicando mudança] que varia seria se fosse a frequência, a intensidade não vai alterar isso nada (risos).”

Fonte: A pesquisa (2018).

Na representação não verbal utilizada pela estudante E16, ao utilizar a sequência de gestos ao explicar, foi um exemplo dos estudantes. A estudante sem se reportar a um processo externo de mediação, demonstra aprendizagem do conceito ao explicar utilizando uma

sequência de gestos “[...] eu acho que ela não muda né. O que varia seria se fosse a frequência, a intensidade não vai alterar isso nada (risos).” Com gestos demonstra oscilações e limites na faixa de frequência, quando associados à mudança na energia dos elétrons emitidos no efeito fotoelétrico.

Figura 12 – Relato de imagem, com sequência de gestos, observados na estudante E16



Fonte: A pesquisa (2018).

5.1.2 A energia das partículas emitidas no efeito fotoelétrico depende da frequência da luz

Conforme já relatado, frequentemente há dificuldade expressa por estudantes no conceito anterior. Como relatado também na pesquisa bibliográfica, estudantes de diferentes escolaridades têm dificuldade em diferenciar intensidade da luz com a frequência luminosa quando associada à energia da partícula emitida no efeito fotoelétrico. Conseqüentemente, o conceito frequência luminosa no efeito fotoelétrico também foi explorado em todas as etapas da UEPS. Como no conceito anterior, os estudantes eram avaliados a partir de uma questão de múltipla escolha, com cinco opções de respostas (Quadro 4).

Quadro 4 – Questão que investigava a frequência luminosa no efeito fotoelétrico

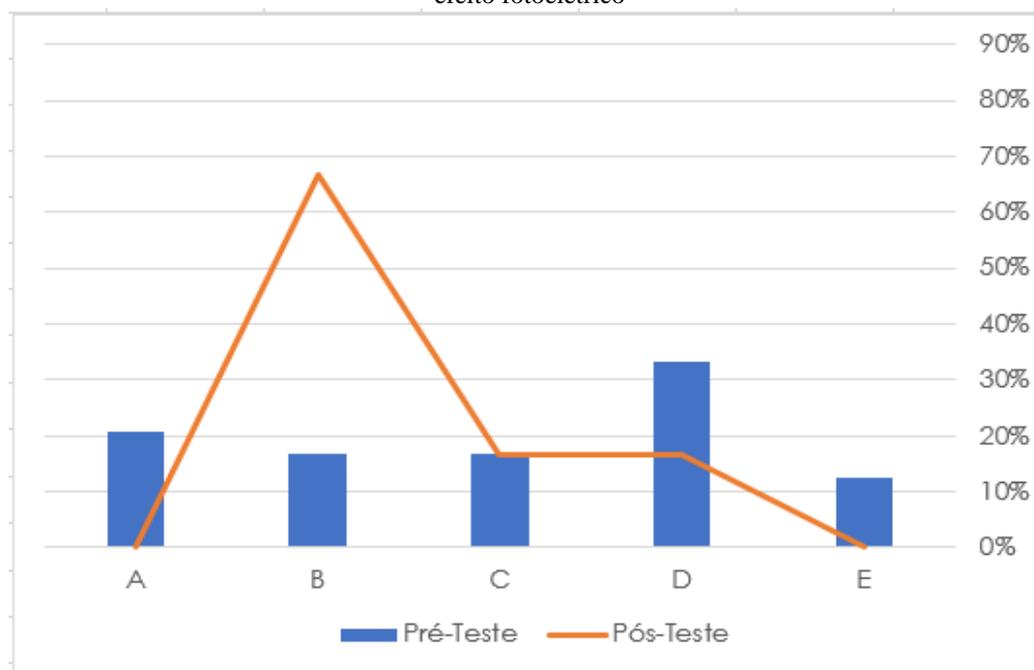
02. Suponha que a **frequência** do feixe de radiação seja aumentada, substituindo as lâmpadas incandescente pela fluorescente. Nesse caso o número de elétrons emitidos pode

(A) permanecer inalterado.
 (B) aumentar gradualmente.
 (C) diminuir gradualmente.
 (D) permanecer inicialmente inalterado e, em seguida, diminuir gradualmente.
 (E) permanecer inicialmente inalterado e, em seguida, aumentar gradualmente.

Fonte: A pesquisa (2018).

Os resultados quantitativos, obtidos por intermédio das respostas dos 24 estudantes que responderam os pré-testes e pós-testes, demonstraram uma evolução significativa nos acertos da questão proposta. Quatro estudantes responderam a “B” no pré-teste (17%), considerada a resposta correta (Gráfico 3). Quando submetidos ao instrumento de pós-teste, no final das atividades da UEPS, dezesseis (16) estudantes (67%) optavam por assinalar a mesma resposta como correta.

Gráfico 3 – Respostas dos estudantes quando questionados no pré-teste e pós-teste sobre a frequência da luz no efeito fotoelétrico



Fonte: A pesquisa (2018). Nota: Considerada correta a resposta B.

Durante a entrevista, os estudantes eram questionados “se trocar a cor da luz vermelha para a luz azul, independente do experimento, o que acontece com os elétrons emitidos? Você respondeu que aumenta gradativamente. Por quê?”. A maioria dos estudantes (10 dos 18 entrevistados) forneceu respostas (verbal ou não verbal) de modo que não

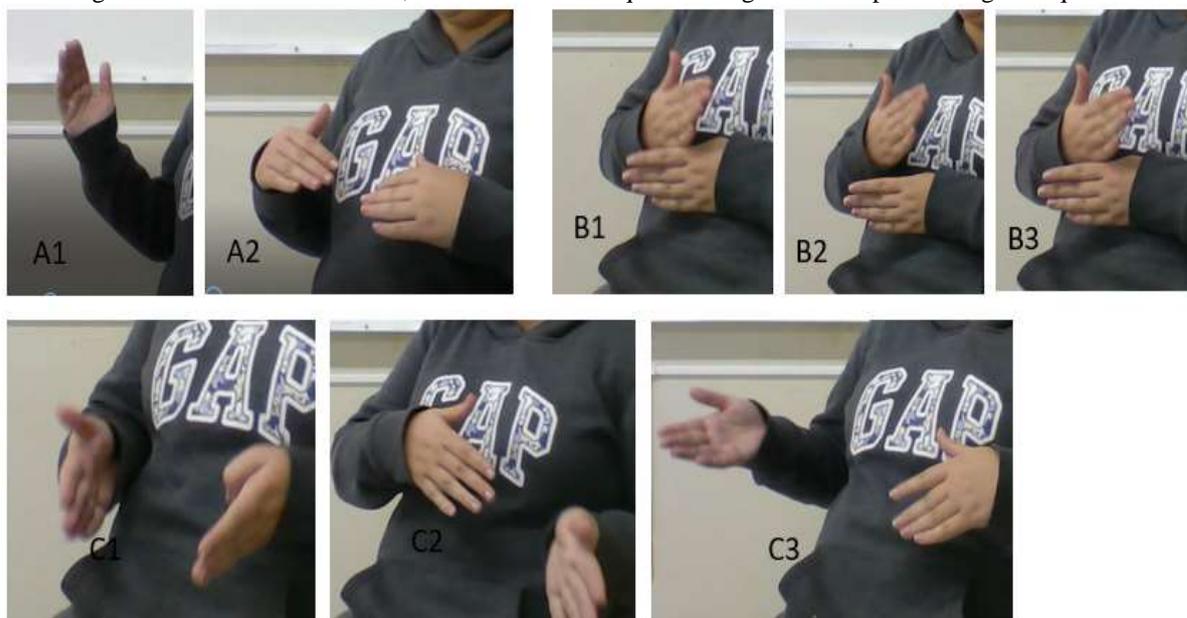
declaravam evidências para algum processo específico de mediação extracerebral (psicofísica, social, cultural ou hipercultural) para a construção do conceito.

Entre os estudantes que evidenciavam esse fato, é possível destacar a estudante E5, que respondeu:

[...] Por causa que a frequência aumenta e como não existe uma [(01:41) # MO] variação no comprimento de onda com a frequência de um para outro, não é algo gradativo, algo estacionário [(01:51) # LFO], quebrado, de uma determinada frequência até determinada frequência é uma cor e outra é outra [(01:58) # DFF]. Então, se mudar a luz não vai aumentar gradativamente, porque não é algo gradual, é algo estático quebrado.

Inicialmente ela permanecia com as mãos nos bolsos, em seguida passa a realizar um movimento criativo com as mãos, quando diz “não existe uma [...]”, inicia movimento oscilatório com uma mão, representando a frequência e, posteriormente, com as duas (Figura 13 - A1 e A2) e, em seguida, limita as faixas de frequência sinalizando a quantização da luz (Figuras B1, B2 e B3), conforme as mudanças na frequência. E, por último, limita as faixas de frequência, associando às cores (Figura C1, C2 e C3).

Figura 13 – Modelo não verbal, com uso de uma sequência de gestos ao explicar a segunda questão



Fonte: A pesquisa (2018).

5.1.3 Influência da intensidade e frequência sobre a corrente em efeito fotoelétrico

Ao investigar a influência da intensidade e frequência sobre a corrente em fenômenos associados ao efeito fotoelétrico, os estudantes poderiam externar seus conhecimentos em

duas questões apresentadas nos instrumentos de pré-teste e pós-testes. Na questão 3, também objetiva, os estudantes deveriam optar entre três afirmações (Quadro 5).

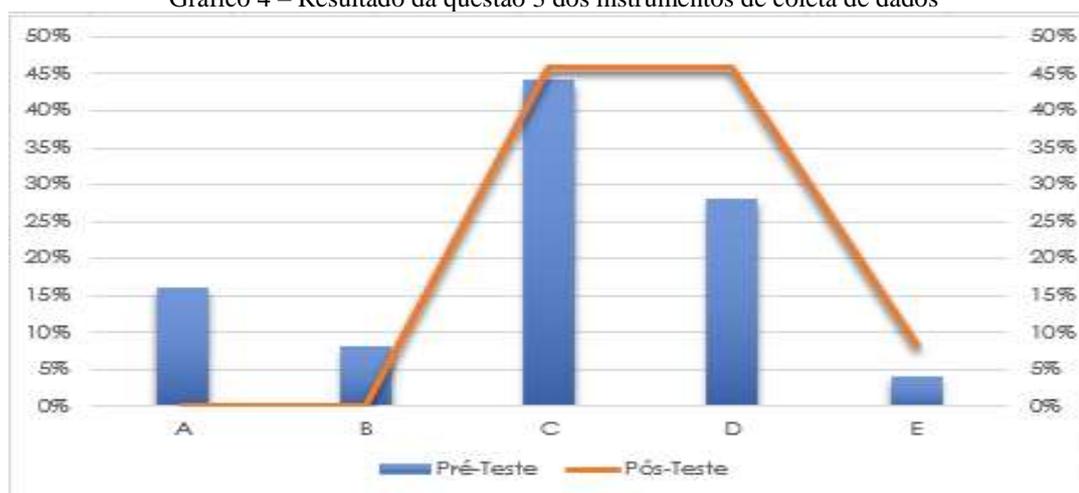
Quadro 5 – Questão 3 apresentada nos instrumentos pré-testes e pós-testes

03. Nas afirmações a seguir é possível afirmar que:
 I. No experimento de efeito fotoelétrico, uma lâmpada incandescente projeta radiação na frequência infravermelho sobre um painel fotovoltaico. Essa energia luminosa é ineficiente no efeito fotoelétrico, devido à baixa frequência da radiação.
 II. Se alterarmos a intensidade da luz, aumentaríamos o efeito fotoelétrico, aumentando a corrente.
 III. Um feixe de luz cuja frequência é maior pode ser mais eficiente que uma luz de menor frequência no efeito fotoelétrico, quando direcionada sobre uma fotocélula.
 (A) Todas as afirmações estão corretas;
 (B) Somente I e II são corretas;
 (C) Somente II e III são corretas;
 (D) Somente I e III são corretas;
 (E) Somente a I é correta;

Fonte: A pesquisa (2018).

Os resultados da análise desses instrumentos demonstraram que houve evolução (fraca) no resultado das respostas para a alternativa “D” na questão objetiva (Gráfico 4), quando comparados os instrumentos pré-teste e pós-teste. Os resultados para essa questão demonstravam baixo número de acertos à resposta (menos de 50%).

Gráfico 4 – Resultado da questão 3 dos instrumentos de coleta de dados



Fonte: A pesquisa (2018). Nota: Pré-teste representado por gráfico de colunas e pós-teste representado por gráfico de linha.

Na questão de número 6 (descritiva), onde os estudantes poderiam apresentar uma resposta descritiva, o resultado também foi positivo. Durante a realização do experimento, com a aplicação de contexto, os estudantes poderiam observar no amperímetro a corrente

gerada no painel fotovoltaico quando duas lâmpadas de determinada potência (15 W), por exemplo, eram substituídas por outras de maior potência (26 W), com mesma faixa de frequência na luz.

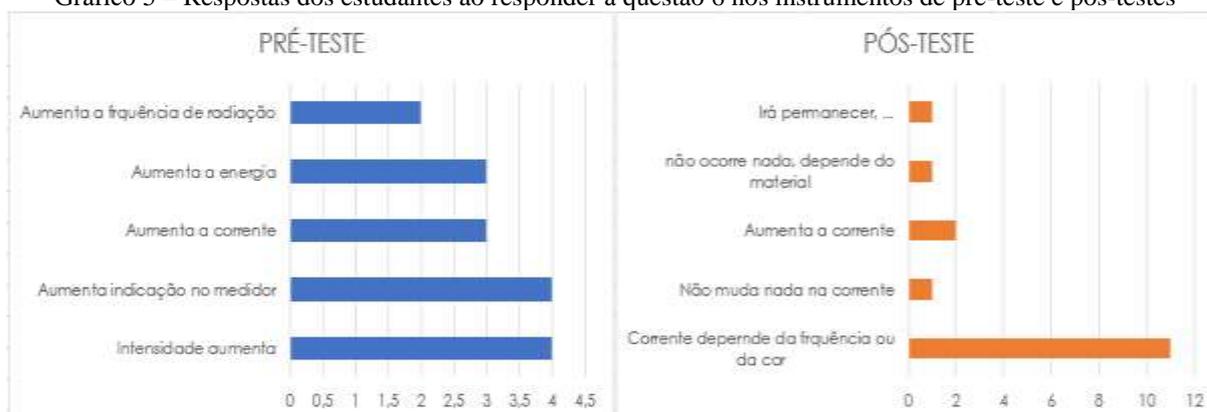
Quadro 6 – Questão 06 utilizada nos instrumentos de coleta de dados

<p>06. Se a intensidade da luz na lâmpada for dobrada, o que observamos nos medidores? Por quê?</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Fonte: A pesquisa (2018).

Ao responder os pré-testes, por exemplo, foram observadas respostas, como: “O medidor irá dobrar conseqüentemente” (E3), ou “se mudar a intensidade aumenta a energia monitorada nos medidores, porque os elétrons se agitam mais.” (E18). Porém, ao responder o pós-teste a maioria dos estudantes atribuía à frequência a mudança na corrente e não à intensidade da luz. Utilizando os exemplos dos mesmos estudantes, “não muda, pois, a corrente depende da frequência” (E3), ou “Irá permanecer igual, pois a intensidade da luz não irá mudar na emissão dos fótons.” (E18). As respostas descritivas fornecidas por estudantes que responderam à questão foram classificadas e apresentadas nos gráficos a seguir (Gráfico 5). Os resultados da análise evidenciam o aprendizado dos estudantes a partir da evolução das respostas por eles dissertadas.

Gráfico 5 – Respostas dos estudantes ao responder à questão 6 nos instrumentos de pré-teste e pós-testes



Fonte: A pesquisa (2018).

5.1.4 Modelo mental dos estudantes sobre a luz no efeito fotoelétrico

Na questão 5 (Quadro 7), apresentada aos estudantes antes (pré-teste) e depois da intervenção com a proposta didática (pós-teste), os estudantes poderiam explicar ou desenhar sua representação mental sobre a luz que sai das lâmpadas até o painel. A questão foi elaborada com intenção de avaliar o modo utilizado por estudantes de Engenharia ao representar a luz. Nos guias das atividades computacionais também eram propostas situações (nas etapas predição e explicação) em que os estudantes poderiam demonstrar suas concepções quanto ao modelo da luz imaginado por eles ou observado nas atividades.

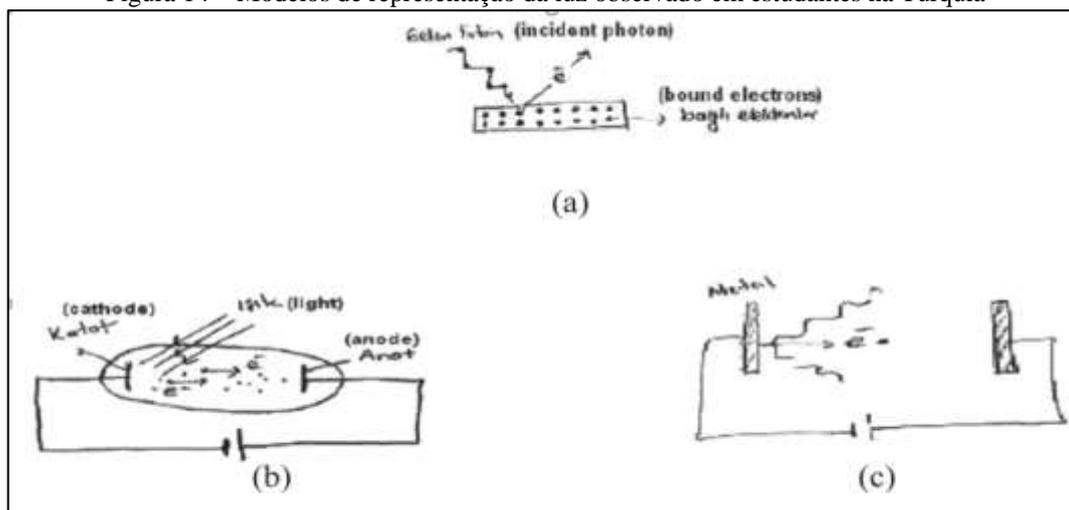
Quadro 7 – Questão que investigava a concepção da luz em efeito fotoelétrico

<p>05. No quadro ao lado faça um esquema, semelhante ao da montagem do experimento realizado no laboratório computacional ou no laboratório de Física. Represente nesse esquema a luz incidindo no painel e o efeito fotoelétrico.</p> <hr/>	
--	--

Fonte: A pesquisa (2018).

Conforme relatado na pesquisa bibliográfica, apresentada em capítulos iniciais desta tese, uma pesquisa realizada na Turquia avaliou o modelo mental de 110 estudantes de Física Licenciatura quando representavam a luz, no estudo da Física Moderna. Na Pergunta sobre efeito fotoelétrico, Özcan perguntava: “Em efeito fotoelétrico, luz que atinge uma superfície de metal rompe os elétrons da superfície e torna-os livre. Explicar este evento com desenhos usando a propagação da luz entre a fonte de luz e superfície de metal?” (2015, p. 8 tradução nossa). A partir das respostas dos professores em formação, o autor classificou os desenhos em dois modelos (Figura 14): (a) modelo híbrido (pacotes de ondas; luz como movimento de onda transversal, propagando-se em partículas ou trajetória de fótons em formato de ondas transversais); (b) e (c) modelo raio de luz.

Figura 14 – Modelos de representação da luz observado em estudantes na Turquia



Fonte: Özcan (2015).

Nessa pesquisa, em razão da diversidade de dados, os resultados apresentavam maior diversidade de modelos. Conforme relatado, os estudantes foram submetidos a uma proposta didática, em que havia diferentes possibilidades de visualizar o fenômeno estudado, maior diversidade nos instrumentos de coleta de dados (pré-teste, pós-teste, instrumento computacional e instrumento real), sendo que na Turquia foi utilizado um teste após o estudo da temática. Conseqüentemente, os desenhos agrupados em planilha Excel poderiam ser classificados em cinco modelos (Figura 15): (A) modelo de feixe de raio, ou feixe de raios de luz; (B) modelo híbrido (onda-partícula); (C) modelo híbrido (raio-partícula), (D) modelo de partícula e (E) modelo ondulatório.

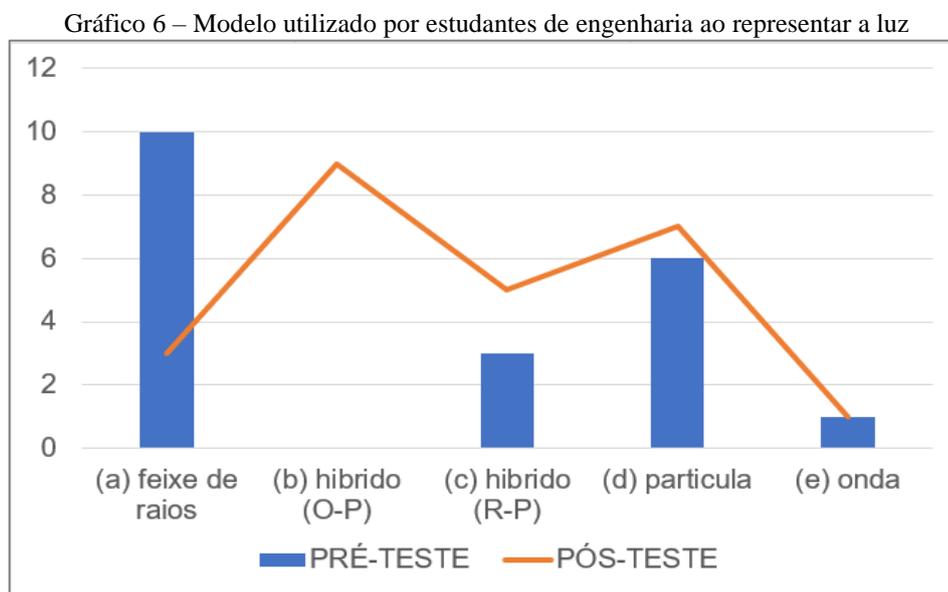
Figura 15 – Modelo de representação da luz desenhado pelos estudantes nos instrumentos de coleta de dados



Fonte: A pesquisa (2018).

O resultado quantitativo da classificação dos modelos demonstrou que nos desenhos apresentados nos instrumentos iniciais (pré-teste) prevalecia o modelo feixe de raios de luz, representado anteriormente na Figura 15 (A), sendo que não foram observadas representações que pudessem ser classificadas para o modelo híbrido onda-partícula antes das atividades da

UEPS, somente três representações para o modelo híbrido raio-partícula (Gráfico 6, representado com gráfico de barras).



Fonte: A pesquisa (2018).

No entanto, na análise dos instrumentos aplicados após o uso da UEPS (pós-testes) predominava o modelo híbrido (onda-partícula), onde os estudantes representavam a luz como pacote de onda transversal, associada às partículas emitidas ou partículas em pacote de ondas. O modelo de partículas também foi representativo no pré-teste. Portanto, os modelos observados nos estudantes do Brasil eram semelhantes aos apresentados por estudantes na Turquia.

Ao término desta seção é possível deduzir que a análise quantitativa proporcionou um comparativo entre a primeira e as últimas etapas da UEPS, com uma perspectiva prévia dos resultados obtidos no experimento para o grupo investigado. Nas próximas seções a análise está direcionada aos 18 estudantes que participaram de todas as etapas do processo proporcionado na execução da UEPS. Nessa etapa da análise foram contempladas as respostas dos estudantes durante as entrevistas, a fim de investigar os processos extracerebrais (mediação psicofísica, social, cultural e hipercultural), conforme proposto por Souza (2004) e discutido no referencial teórico da tese (Capítulo 3).

A classificação de processos de mediação cognitiva nos estudantes, registrados nas entrevistas e classificados por conceitos, possibilitou inferir sobre universais abstratos e concretos, que serão apresentados nas próximas seções, onde para cada conceito são evidenciados os exemplos de estudantes que externavam (de modo verbal ou gestual) essa evidência.

5.2 PROCESSOS DE MEDIAÇÃO OBSERVADOS NOS CONCEITOS

Universal abstrato

A mediação psicofísica está relacionada positivamente ao aprendizado com a relação entre os conceitos intensidade e frequência da luz incidente no efeito fotoelétrico e, negativamente, ao aprendizado do efeito na corrente elétrica resultante. A mediação hipercultural está positivamente associada ao aprendizado da relação entre a frequência da luz incidente e ao modelo microscópico da luz no efeito fotoelétrico.

Universal concreto

- a) Mediação Psicofísica foi evidenciada em 7 estudantes para os conceitos intensidade da luz em efeito fotoelétrico;
- b) Mediação psicofísica foi evidenciada em 8 estudantes e hipercultural em 5 estudantes, demonstrando evidência de ambas as mediações para o conceito frequência da luz no efeito fotoelétrico, sendo que se destacava a mediação hipercultural durante as explicações dos acadêmicos, mesmo quando faziam uso de mediação psicofísica.
- c) A mediação psicofísica foi evidenciada por 6 estudantes ao conceituar intensidade e frequência de radiação na corrente elétrica em efeito fotoelétrico;
- d) Mediação hipercultural foi evidenciada em 10 dos 18 estudantes durante a descrição do modelo microscópico da luz em efeito fotoelétrico.

5.2.1 Evidências de mediação psicofísica para o conceito de intensidade

Na entrevista prevalecia nos estudantes (sete dos dezoito) a mediação psicofísica. Os estudantes que haviam respondido corretamente ao pós-teste e/ou faziam uso do modelo científico, associavam ao laboratório real sua explicação para o conceito de intensidade da luz, predominando o processo de mediação psicofísica. Três associavam o conceito ao uso das simulações computacionais, evidenciando a mediação hipercultural. Dois demonstravam mediação social e um estudante demonstrava mediação cultural. Os demais não demonstraram processo de mediação ou forneciam respostas incoerentes com o conceito investigado.

Os quatro acadêmicos que melhor evidenciaram o processo de mediação psicofísica foram E1, E12, E17 e E18 (Quadro 10). O grupo justifica sua resposta fazendo referência verbal à lâmpada ou ao laboratório, nesse caso se referindo ao laboratório real.

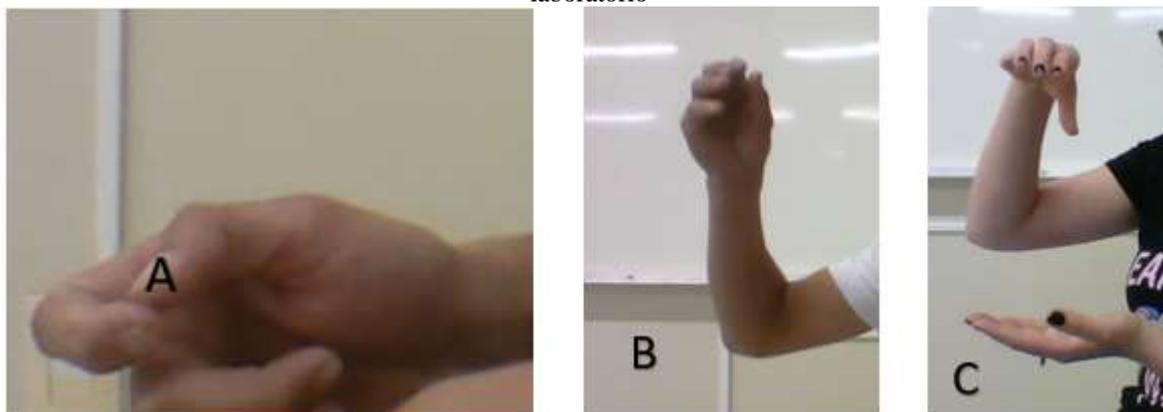
Quadro 8 – Respostas dos estudantes na entrevista que justificam a escolha da resposta A com alguma evidência de ter ocorrido mediação psicofísica para o conceito intensidade

E1	[...] lá no laboratório, quando a professora fez o teste da intensidade da luz, quando teve uma frequência que tava muito baixa, acionei [(00:49) # AL] a luz do celular a incidência aumentou ineditamente, ela aumentou instantaneamente.
E12	[...] Quando a profe aproximou a luz lá no laboratório [(00:34) # FL] a profe diminuiu 100 mm, no caso não mudou na intensidade da luz é a mesma e o que muda é a frequência.
E17	Acho que a influência [(00:56) # MPL] na distância da lâmpada não vai interferir, o que vai interferir é o modelo de lâmpada na minha opinião.
E18	A intensidade da lâmpada indiferente se ela estiver [(00:33) # MPL] perto ou longe, [(00:34) # ACL] mais ou menos, não vai mudar nada, porque a intensidade [(00:39) # EP] é a mesma, o que vai mudar mesmo é a frequência da lâmpada.

Fonte: A pesquisa (2018).

Os gestos utilizados por estudantes que se utilizam da *mediação psicofísica*, ao justificarem suas respostas, frequentemente estão associados à lâmpada ou a algo que se relaciona a representações macroscópicas da luz (ponto, feixe ou incidência). O estudante E1, por exemplo, que auxiliou na montagem do experimento no laboratório de Física, diz que na tentativa de aumentar a intensidade luminosa faz uso de fonte externa (lanterna do aplicativo móvel), relatando com gesto o acionamento da luz (Figura 16 A).

Figura 16 – Gesto não verbal de evidências da mediação psicofísica, associadas a experimento real realizado no laboratório



Fonte: A pesquisa (2018).

Nota: Gestos descritivos dos estudantes: o estudante E1 que representa a ação de acionar a luz da lanterna (A); E17 ao representar um feixe, foco (B) ou a estudante E12 posicionamento da luz; (C), com a mão em formato de concha representando a lâmpada.

Já o estudante E17 (Figura 16B) faz referência à percepção, ao justificar que a mudança na intensidade não interfere na energia dos elétrons, representando com a mão

direita a lâmpada utilizada no laboratório real, quando se referia à variação da posição do feixe de luz (que ocasionava na mudança da intensidade luminosa). O mesmo ocorreu com a estudante E12 (Figura 16C), que explica sua opção de resposta a partir das observações realizadas nas atividades práticas de laboratório, com uso de criativo movimento de mãos ao representar a distância da luz. Conforme relatado no capítulo anterior, nas atividades de laboratório foram utilizadas lâmpadas incandescentes, fluorescentes e de LED, nas frequências das cores brancas, vermelhas e azuis.

E, ainda para a classificação na mediação psicofísica, foi observado na entrevista uso de sequência de gestos, com movimentos de mão de forma criativa, como no estudante E18, por exemplo. Este, ao responder, utiliza esse modelo de gestos em sua resposta, ao negar a influência da intensidade da luz na energia dos elétrons emitidos pela placa (Figura 17).

Figura 17 – Linguagem não verbal com uma sequência de gestos observada no estudante E18, ao demonstrar que a intensidade não influencia na energia dos elétrons emitidos



Fonte: A pesquisa (2018).

Os exemplos relatados demonstram evidências de que os gestos apresentados nos depoimentos frequentemente eram utilizados para demonstrar o posicionamento das lâmpadas sobre o painel (conforme o experimento real), demonstrando a significância das atividades práticas de laboratório na mediação psicofísica para o conceito de intensidade da luz no efeito fotoelétrico.

5.2.1.1 Evidências no uso de mediação hipercultural para o conceito intensidade da luz

Entre as evidências, dois se destacam quanto à influência das atividades desenvolvidas com uso de simulações computacionais para a mediação hipercultural na construção do conhecimento para o conceito intensidade da luz no efeito fotoelétrico. A estudante E13, por exemplo, quando questionada a respeito da origem de sua resposta, ou onde ela teve a oportunidade de visualizar com maior facilidade, esta atribui à simulação computacional.

Quadro 9 – Linguagem verbal de estudantes que evidenciam mediação hipercultural

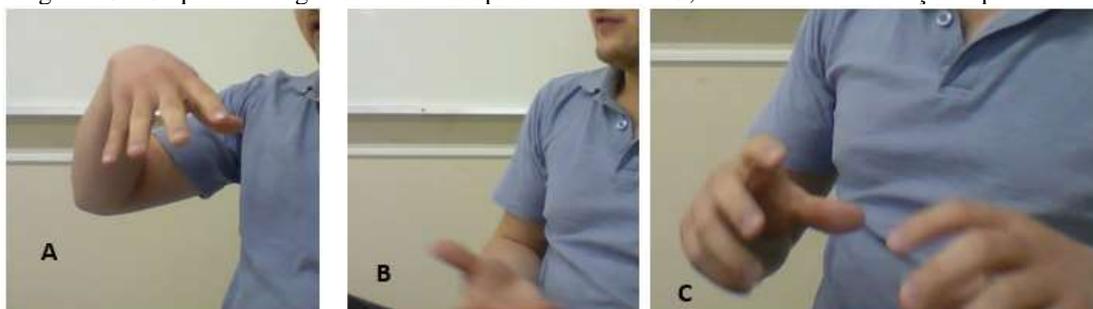
E13	<p>P: [...] quando perguntei supondo que a intensidade da radiação seja aumentada, aproximando as lâmpadas do painel, independente da frequência, o que aconteceria com a energia do painel?</p> <p>Estudante: Eu acho que não aumentaria, não daria tanta diferença porque o que influencia mais é a frequência, do que a intensidade.</p> <p>P: Onde você conseguiu observar com melhor facilidade isso? Foi com o experimento ou com a simulação?</p> <p>Estudante: [(00:52) # Gesto de Afirmação, acenando positivamente com a cabeça]. Sim, foi da simulação.</p>
E15	<p>Porque independente se tu for [(00:35) # FL] no caso aproximar a lâmpada ou não, o que vai mudar é o material que você vai ter né, pra muda tua corrente [(00:44) ME; EP] pra ser maior ou menor.</p>

Fonte: A pesquisa (2018).

O segundo exemplo refere-se ao depoimento do estudante E15, que justifica sua resposta referindo-se ao “[...] material que você vai ter né [...]”, faz referência à percepção sobre o experimento com uso da simulação computacional, explorada na atividade do terceiro experimento no guia de laboratório computacional, experimento com uso de simulação desenvolvida pela Universidade do Texas (Quadro 2)²². Cabe destacar que no experimento real não havia mudança no material da placa. Durante o experimento era alterada a tecnologia utilizada na iluminação artificial, porém a placa era sempre a mesma (placa de silício).

Com uso de movimento criativo de mãos demonstra o evento observado no experimento: inicialmente posiciona a luz incidente sobre a mesa (A) e, em seguida, realiza movimento de mudança do material, como se estivesse trocando as placas (B) e a emissão das partículas por destas (C), simulando o que ocorria na simulação utilizada nas atividades computacionais.

Figura 18 – Sequência de gestos realizados pelo estudante E15, evidenciando mediação hipercultural



Fonte: A pesquisa (2018).

(A) Incidência da luz; (B) Mudança de material; (C) Gesto de emissão (movimento) de partículas.

O estudante esteve ausente no encontro em que as atividades computacionais estavam sendo realizadas, entretanto, solicitou o material para a realização das atividades em casa. A

²² Disponível em: <https://ch301.cm.utexas.edu/simulations/photoelectric/PhotoelectricEffect.swf>.

análise do instrumento de coleta de dados do acadêmico (guia) demonstrou que o estudante considerou com frequência da luz somente as cores visíveis (Quadro 12).

Quadro 10 – Atividade desenvolvida no experimento computacional 3, no guia do estudante E15

Atividade Experimental 3: Da Universidade do Texas.

a) Abra a simulação desenvolvida pela Universidade do Texas através do link <https://ch301.cm.utexas.edu/simulations/photoelectric/PhotoelectricEffect.swf>

b) Através de dois cliques nas placas, selecione o metal sódio. Na cor azul, altere a intensidade da luz e verifique qual a diferença no efeito fotoelétrico (de 0% a 100%). Utilize a representação da onda para realizar a alteração.
se obter uma maior intensidade, obterá um maior fluxo de elétrons

c) Para cada material, verifique a cor (frequência) para que ocorra o efeito fotoelétrico.
 Sódio: *azul*; Zinco: _____; Cobre: _____
 Platina: _____; Cálcio: *lilas*

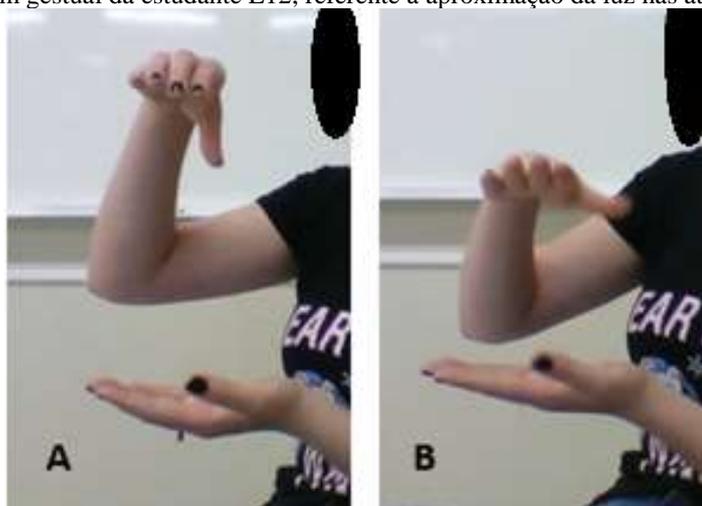
d) Qual dos materiais, disponíveis na simulação, é mais fotossensível? Justifique:
Sódio por ser o primeiro com maior "cor" e frequência.

Fonte: A pesquisa (2018).

5.2.1.2 Evidências no uso de mediação social e cultural para o conceito intensidade

Somente dois estudantes demonstram alguma evidência para a mediação social e uma para o uso de mediação cultural. Para esse conceito não houve representação significativa de evidências para o uso da mediação social durante as entrevistas. Somente uma estudante (E12) fez referência à percepção para mediação psicossocial: “Deixa eu pensar... [(00:29) # BM]”. Quando busca no mental, elevando o olhar. “Quando a profe aproximou a luz lá no laboratório [(00:34) # (FL)]”, posicionado o feixe de luz, “a profe diminuiu 100 mm, no caso não mudou na intensidade da luz é a mesma e o que muda é a frequência.” (E12). Esse fato (posição no posto de luz) era possível ser observado por mediação psicofísica. Também, a estudante refere-se à ação da professora durante o experimento. Portanto, conforme foi observado na entrevista, é possível ter ocorrido mais de um tipo de mediação (psicofísica e social) durante a construção do conceito na estrutura cognitiva da estudante. No uso de gestos de movimentos criativos com as mãos, representa as diferentes posições da lâmpada, conforme foi instalado o experimento no laboratório.

Figura 19 – Linguagem gestual da estudante E12, referente à aproximação da luz nas atividades de laboratório



Fonte: A pesquisa (2018).

Nota: Na figura A representa a posição inicial da lâmpada (realizada pela professora na montagem do experimento) e B a aproximação da lâmpada.

5.2.1.3 Evidência de Mediação cultural

Alguns estudantes, de modo não explícito, apresentam fracas evidências da influência da mediação cultural proporcionada pela UEPS, porém pouco conclusivas. Entretanto, a estudante E11 demonstra com linguagem verbal e não verbal a mediação cultural quando atribui aos exercícios resolvidos em aula a escolha da alternativa correta, quando respondeu o pós-teste. “[...] eu acho que seja a frequência que alteraria a quantidade de energia que ele gera, que vai liberar [(00:38) # EP] uma quantidade de elétrons vai depender da frequência, pelo que a gente viu nos [(00:41) # ASA] exercícios.” (E11). Em linguagem gestual (Figura 17), com uso de movimento criativo com as mãos, representa a emissão de partículas com o aumento na frequência e conclui apontando para sua sala de aula.

Figura 20 – Representação não verbal da possível mediação cultural



Fonte: A pesquisa (2018). Nota: Gestos de emissão de partículas; (B) Estudante aponta para a sala ao se referir aos exercícios.

5.2.2 Evidências de mediação psicofísica e hipercultural na frequência da luz

Para esse conceito, oito dos dezoito estudantes fizeram uso de mediação psicofísica quando associavam a frequência da luz como responsável ao efeito fotoelétrico. E cinco estudantes faziam uso de mediação hipercultural ao relacionar a frequência da luz com o efeito fotoelétrico. Os processos de mediação social cultural não foram evidenciados nas falas ou gestos dos estudantes.

5.2.2.1 Evidências de mediação psicofísica para o conceito frequência da luz em EF

As evidências da mediação psicofísica relacionadas à aprendizagem do conceito de frequência da luz no efeito fotoelétrico eram identificadas quando os acadêmicos demonstravam relação com as atividades desenvolvidas em laboratório real. Quando questionados: “[...] se ao invés da intensidade aumentássemos a frequência, substituindo, por exemplo, a lâmpada vermelha pela azul, o que acontece com a corrente gerada ou a emissão de elétrons?”, as respostas demonstravam evidências explícitas dessa forma de mediação cognitiva.

Quadro 11 – Estudantes que demonstraram ter ocorrido mediação psicofísica

E1	Na lâmpada vermelha que foi usada no laboratório não emitia nenhum sinal de corrente no caso, que a placa não captava nenhum fóton na verdade, na luz azul já deu uma leve diferença.
E2	Porque, se eu não me engano, a frequência da [(01:30) # MO], a frequência de cada cor é diferente uma da outra e por isso, não aumenta do nada e conforme nós observamos [(01:38) # ALF] nos multímetros [(01:39) # RAM] ela aumentava aos poucos.
E4	Isso. De acordo, vou citar o exemplo daquelas lâmpadas antigas ou até mesmo as fluorescentes que hoje estão sendo utilizadas, né, se você pegar aquela lâmpada vermelha, né, ela tem até os 1m que se fizer o cálculo pra tantos volts são mais altos, por isso que geram tanta intensidade.
E17	Porque quando se fez a troca de lâmpada, a lâmpada azul acho que aumenta a produção de fótons né, ou não [(1:47) # GN]? Certo.

Fonte: A pesquisa (2018).

Frequentemente, esses estudantes faziam uso de relato de imagem, quando externavam a respeito do experimento realizado em laboratório real. Entretanto, muitos, durante a entrevista, apresentaram a concepção de que a luz com baixa frequência não emite fótons. Essa evidência nos reporta às simulações computacionais, nas quais os estudantes poderiam observar esse fenômeno microscópico. No estudante E17, por exemplo, há evidências de possível relação entre o experimento real e o computacional, quando este faz referência à percepção, referindo-se à produção de fótons, relacionando o observado no mundo real com o virtual, conforme sugeria a sequência didática proposta na UEPS. E o estudante E4 faz

menção aos “cálculos”, referindo-se à modelagem matemática dos dados fornecidos nas atividades 1 e 2 do guia do experimento realizado no laboratório real (Quadro 14).

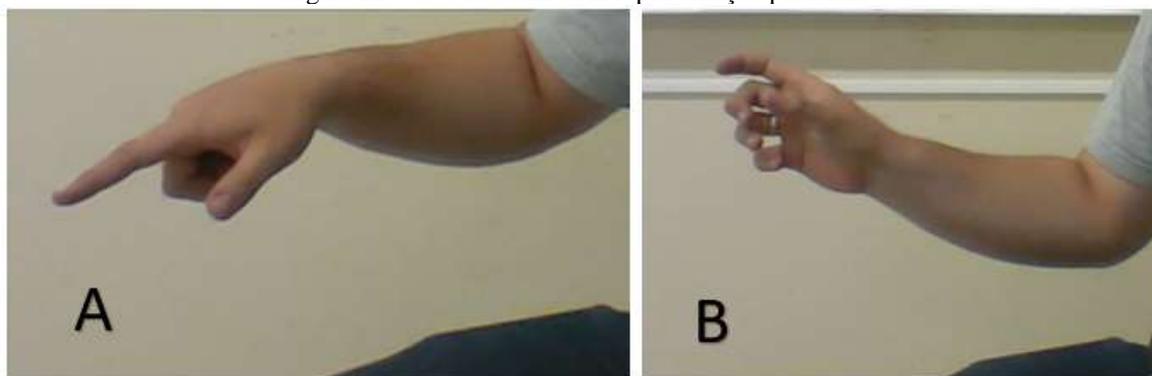
Quadro 12 – Registros do guia utilizado pelo estudante E2 na atividade de laboratório real

CARACTERÍSTICAS DA LÂMPADA	MEDIR			CALCULAR	
	Intensidade luminosa (lm)	v (V)	i (A)	R (Ω)	P (W)
Vermelha - 14W	980	2,9 mV	0,01 mA	280	$2,8 \times 10^{-8}$
Branca 14 W	154	31,5 mV	2,22 mA	14,18	$6,99 \times 10^{-5}$
Vermelha 26 W	1816	8,5 mV	0,6 mA	14,16	$5,1 \times 10^{-6}$
Azul 26 W	1846	18 mV	1,3 mA	13,84	$2,3 \times 10^{-5}$

Fonte: A pesquisa (2018).

No uso de linguagem gestual, associando frequência da luz ao experimento com uso da tecnologia fotovoltaica, a estudante E2, durante a entrevista, evidencia a mediação psicofísica quando faz referência à percepção, ao realizar gesto indicativo, ao apontar para a direção do laboratório experimental de física (Figura 21A). Da mesma forma, representa o aparelho (multímetro), utilizado nas atividades experimentais, quando se refere ao aumento na corrente (Figura 21B).

Figura 21 – Gestos de E2 com representação psicofísica



Fonte: A pesquisa (2018).

5.2.2.2 Evidências de mediação hipercultural para o conceito frequência da luz em EF

Ao serem entrevistados muitos estudantes apresentaram alguma relação com as atividades computacionais, tanto em suas falas quanto na linguagem gestual, quando justificavam as respostas associando-as com observações realizadas nas atividades computacionais. Nesta classificação, por exemplo, os estudantes E8 e E11 fizeram referência à percepção, quando vincularam suas explicações à frequência da luz na escala infravermelha

ou ultravioleta (Quadro 15). Em laboratório real eram exploradas somente as faixas visíveis da luz, no entanto, as ondas nas frequências infravermelha e ultravioleta somente eram visualizadas e exploradas em experimento virtual. A estudante E11, quando se referiu à luz ultravioleta dirigiu o olhar para a tela do computador.

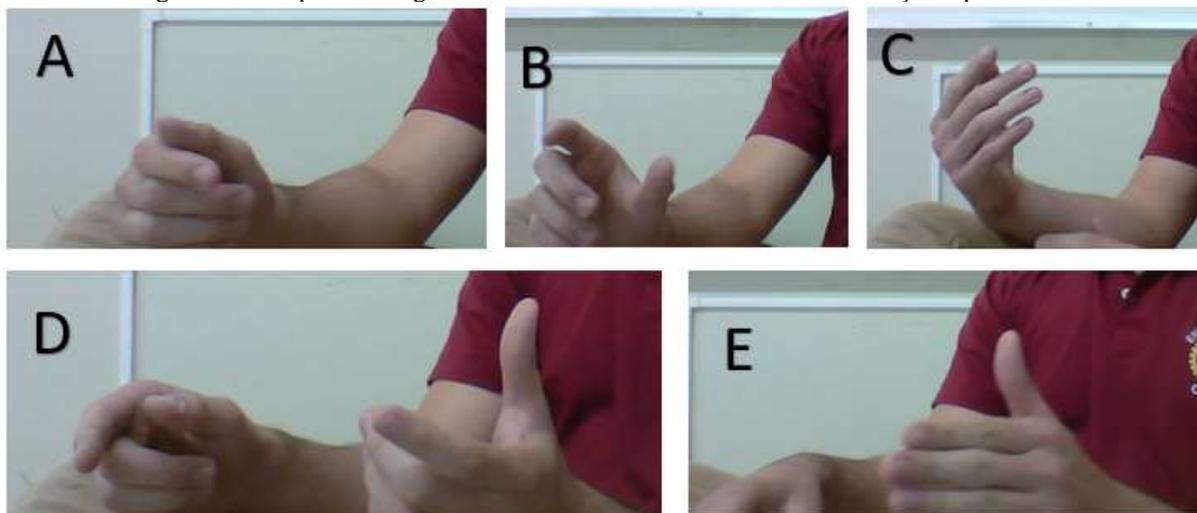
Quadro 13 – Alguma evidência de mediação hipercultural

E8	Porque como a frequência [(01:16) # limita a frequência da onda menor] dos raios infravermelhos é menor, então ao que ela troca [(01:24) # mudança na frequência] para a azul a frequência maior [(01:27) # mudança na frequência] e vai gradativamente [(01:29) # LFO], não uma coisa tão rápida, gradativamente vai aumentar a corrente.
E11	Pelo que a gente viu, a gente analisou as frequências que mais se alteram né, que são as [(01:05) # OTC] ultravioletas que foram as que a gente conseguiu verificar uma corrente maior do que as que são infravermelhos. Então a gente teve uma ideia ali até por material, o que geraria mais. A maior parte ficou nesta onda. Foi o que a gente conseguiu analisar.

Fonte: A pesquisa (2018).

O estudante E8 faz uso de movimento criativo com as mãos, em uma sequência de gestos (Figura 22), de modo que limita a radiação luminosa em diversas frequências, iniciando na radiação infravermelha (A) até certo limite (E), evento que poderia ter sido visualizado durante a realização das simulações computacionais, onde as faixas de frequência poderiam ser exploradas.

Figura 22 – Sequência de gestos do estudante E8 evidenciando a mediação hipercultural



Fonte: A pesquisa (2018).

Nota: Radiação infravermelha (A); aumenta gradativamente (B) gesto de mudança (C); gestos comparativos das faixas de frequência (D); estabelece limite (E).

5.2.3 Evidências da mediação psicofísica na corrente em efeito fotoelétrico

Para o conceito que relacionava corrente elétrica à intensidade e frequência da radiação, no efeito fotoelétrico, seis estudantes fizeram uso de mediação psicofísica ao explicar o conceito ao responder a entrevista. Um estudante fazia uso de mediação social, um cultural e um hipercultural. Oito dos dezoito estudantes não demonstraram qualquer processo de mediação ou não respondiam corretamente ao conceito investigado.

Conforme pode ser observado no quadro a seguir (Quadro 16), quando questionados “[...] o que é efeito fotoelétrico?”, frequentemente os estudantes associavam o conceito à transformação da luz em energia, conforme tinham observado nas atividades com experimento real. Outros relacionavam suas respostas ao fato que a mudança na intensidade não é suficiente para que ocorra o efeito fotoelétrico, conforme relatado para o conceito intensidade de radiação no efeito fotoelétrico.

Quadro 14 – Exemplos de estudantes que representaram mediação psicofísica

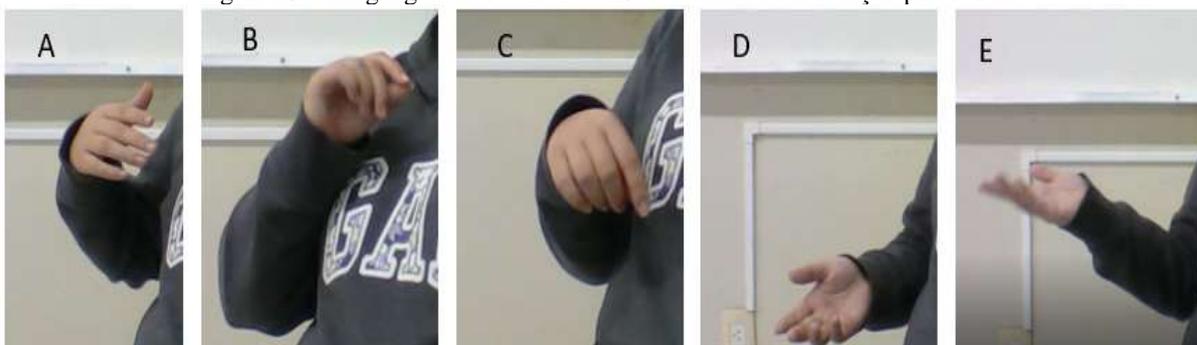
P	E se você tivesse que explicar o que é efeito fotoelétrico?
E5	Risos... Tive que explicar pra... Um feixe de luz, depende de sua cor tem determinado comprimento e, portanto, determinada frequência, por ela ser mais rápida [(02:39) # MO] e oscila várias vezes num [(02:41) # LFL] espaço menor acaba acertando no elétron [(02:41) # EFE] que está na placa ou filme, dependendo o que está utilizando, ele bate no elétron dando assim energia ao elétron e deslocando pra outra faixa da placa gerando assim corrente.
E6	A absorverão [(01:32) # RP], a transformação da iluminação [(01:42) # FL] para energia...
E9	Eu diria que é a transformação de luz em energia.
E14	Quando há incidência da luz em determinado material, esses elétrons que estão no material se energizam [(05:51) # ME] e há uma troca de elétrons e essa movimentação é que a gente considera energia elétrica.
P	Se a intensidade da luz na lâmpada for dobrada, ao trocar a lâmpada vermelha de 14 W por outra também vermelha de 26 W, o que acontece com os medidores, independente da frequência?
E12	Não muda nada, por causa da intensidade é a mesma né, a cor é a mesma [(03:35) # MTL]. A frequência, desculpa, é.
E17	Eles aumentam, porque geram mais energia [(03:00) # FL] para o painel

Fonte: A pesquisa (2018).

A estudante E5 participava da entrevista com certa apatia (mãos no bolso, respostas e pouco criativas), demonstrando comportamento incoerente ao de sua atuação nas aulas. O fato de responder a entrevista de modo introspectivo, fornecendo respostas pouco motivadas e incoerentes com seu conhecimento, não estava no perfil da acadêmica. A maior estranheza em seu comportamento foi pelo fato de a estudante atuar em projeto de pesquisa de inovação tecnológica, numa investigação no uso de filmes finos de silício, conhecidos como terceira geração da tecnologia fotovoltaica. Por conta disso, a pesquisadora questiona: “Como você explicaria à sua filha (criança de seis anos) o conceito de efeito fotoelétrico?”

A estudante E5 tira as mãos do bolso, sorrindo responde “[...]Tive que explicar, risos [...]”. Descreve a explicação dada a filha, fazendo uso de movimento criativo com as mãos (Figura 23), demonstrando a mediação psicofísica na construção do conceito: (A) demonstra movimento oscilatório; “[...] oscilar várias vezes num espaço menor [...]” (B); “[...] acaba acertando no elétron [...]”, aponta para o elétron (C) “que está na placa” (D) “ou no filme” (E).

Figura 23 – Linguagem não verbal de E5 evidenciando mediação psicofísica



Fonte: A pesquisa (2018).

5.2.4 Evidências da mediação hipercultural para o modelo microscópico da luz

Quando o estudante era questionado para representar a luz que sai da lâmpada até o painel, a fim de avaliar o modelo mental sobre as características da luz no efeito fotoelétrico, prevalecendo o processo de mediação hipercultural. O resultado obtido na análise das transcrições demonstra que 10 dos 18 estudantes utilizava modelos observados nas simulações computacionais ao fazer uso de modelo científico para a representação da luz no efeito fotoelétrico, associando o conceito às características do universo microscópico. Quanto ao modelo psicofísico, seis estudantes demonstravam essa mediação. Houve *sutil* evidência de mediação social, sendo que dois estudantes associavam a construção do conceito na construção do conceito.

O estudante E10, por exemplo, fez referência à percepção quando relatou sobre a “emissão de fótons”, observada nas simulações. Resultado similar foi observado nos estudantes E11, E13 e E14, quando se referiam aos fótons e à característica dual da luz.

Quadro 15 – Estudantes que apresentam Mediação hipercultural na representação da luz

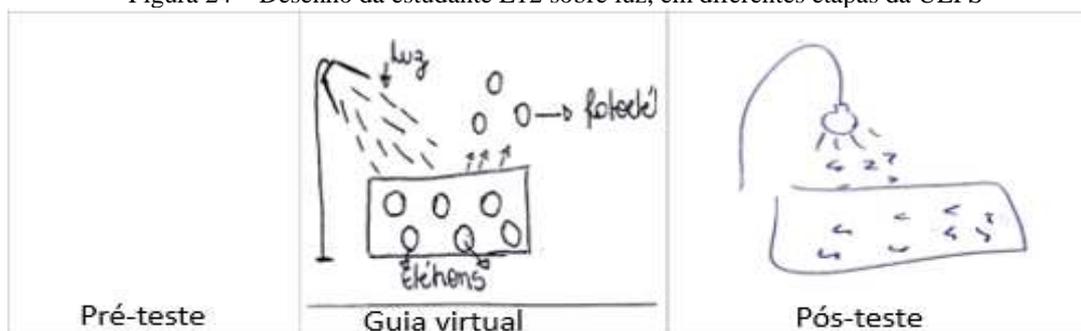
E10	Seria uma emissão de fótons né, sentido a uma placa de metal, que depois é transformada em elétrons, dependendo da intensidade, do tipo da placa de metal. Tem vários fatores que influenciam.
E11	O feixe seria, ele liberaria fótons e estes fótons [(01:49) # EP] liberariam elétrons que gerariam a corrente, a energia [(01:54) # ME] enfim, a corrente elétrica no caso que a gente utiliza nas lâmpadas, que geraria no painel. Também depende da frequência, [(02:05) # DFF]se é maior, menor.

E12	Eu viria os fótons [(02:38) # FL] [(02:29) # FAP] atingindo o painel, a vibração deles pra gerar luz [(02:49) # MO], a energia [(02:50) # RAM], acho que seria isto.
E13	Acho que seria as ondas, que depois serão transformadas nos fótons [(02:58) # EP], que eu representei como as particulazinhas né.
E14	Eu acho que é mista, porque ela é onda que emite partícula, que são os fótons.
E16	Como a gente fez [(01:55) # FL] no computador o exercício, eu vejo que a luz ela [(02:04) # EFC] sai, os fótons chegam depois uma certa quantidade, nem todos né, depende da intensidade, intensidade não, da frequência da cor vai sair mais rápido ou mais devagar ou mais ou menos.

Fonte: A pesquisa (2018).

A estudante E12, que antes das atividades não respondeu à questão, apresentou o esquema demonstrando modelo híbrido durante (nas atividades computacionais) e após as atividades da UEPS, quando fez referência à percepção de ter ocorrido mediação hipercultural psicofísica. Ao responder o pós-teste ela representava as partículas como pacotes de ondas, uma visão micro que somente poderia ser visualizada nas simulações computacionais.

Figura 24 – Desenho da estudante E12 sobre luz, em diferentes etapas da UEPS



Fonte: A pesquisa (2018).

Na linguagem não verbal a estudante fez uso de uma sequência de gestos, com movimentos de mãos criativas, articulando representações do experimento do laboratório real ao modelo observado na simulação computacional (Figura 25): (A) direciona um feixe de luz; (B) demonstra a luz atingindo a placa; (C) movimento oscilatório com a mão direita e, quando se refere à energia, (D) representa o equipamento utilizado em laboratório para as medidas de corrente.

Figura 25 – Sequência de gestos observados na estudante E12 durante a entrevista

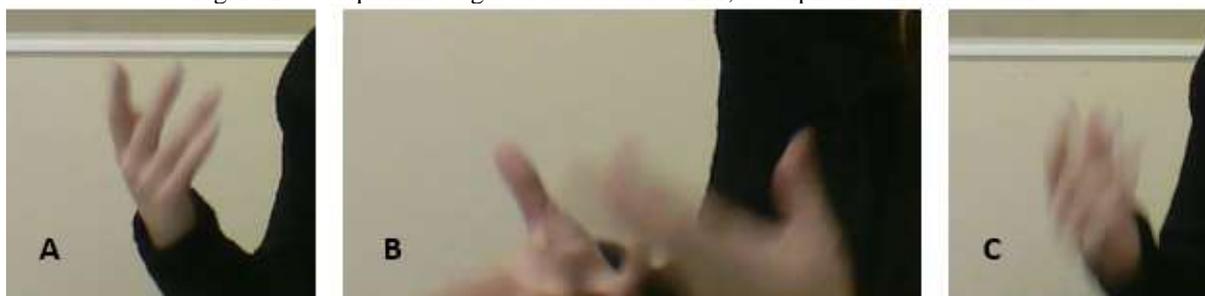


Fonte: A pesquisa (2018).

Ainda nessa classificação a estudante E16 fez referência à percepção, durante sua explicação, ao laboratório computacional utilizado no experimento com uso da simulação desenvolvida por PhET. Quando diz “eu vejo a luz ela [...]”, a estudante faz uso de movimento criativo com as mãos representando as partículas sendo emitidas, as diferentes situações: “mais rápido, mais devagar, mais menos”, conforme ocorria na simulação computacional, quando eram propostas alterações na intensidade e frequência da luz.

A estudante E11, ao responder a entrevista também demonstrou evidências de mediação psicofísica, quando justifica o modelo híbrido onda e partícula da luz quando está relacionado à frequência da luz nas lâmpadas. No uso de linguagem gestual, faz referência à percepção ao modelo híbrido, quando: (A) emissão de partículas com movimentos oscilatórios; (B) energia cinética dos elétrons e (C) maior (mão na posição elevada) e menor (baixa a mão) frequência (Figura 26). Esse resultado demonstra que, possivelmente, a estudante apresenta uma mudança no modelo de representação da luz no final da UEPS. Essa mudança pode estar associada ao uso do experimento real, uma vez que ocorreu na última etapa da UEPS.

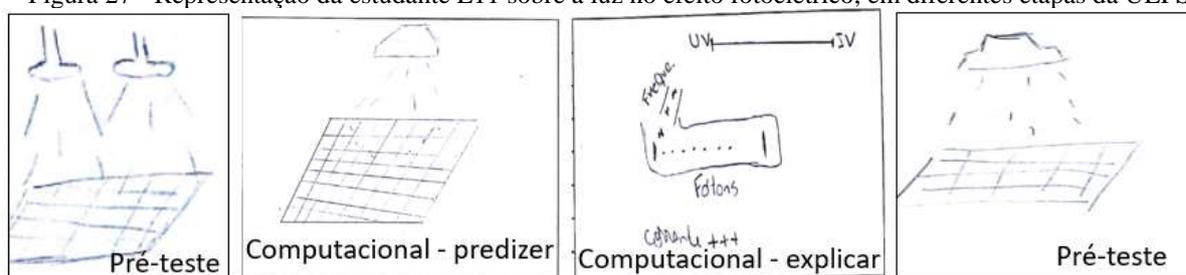
Figura 26 – Sequência de gestos da estudante E11, ao explicar o modelo da luz



Fonte: A pesquisa (2018).

Entretanto, na análise dos instrumentos foi observado que ela utilizava o modelo híbrido com raio de luz formado por partículas, ao responder os instrumentos pré-teste e pós-testes, mesmo representando o experimento computacional com modelo onda e partícula (Figura 27). Esse resultado sugere o uso de modelos resultantes de aprendizagens significativas, de modo que prevaleciam as concepções antes das atividades da UEPS. Entretanto, ao representar o modelo computacional, coloca conforme observado na simulação da experiência com gases de *Philipp von Lenard* e *Robert Andrews Millikan*, realizado na segunda atividade computacional (Figura 27).

Figura 27 - Representação da estudante E11 sobre a luz no efeito fotoelétrico, em diferentes etapas da UEPS



Fonte: A pesquisa (2018).

Portanto, evidências na mediação externa hipercultural sugerem o uso de simulações com modelos computacionais no desenvolvimento de modelo mental na representação da luz em efeito fotoelétrico. Mesmo quando os estudantes representavam o experimento desenvolvido no laboratório real, faziam uso de características da mediação hipercultural.

5.3 IMPORTÂNCIA DA UEPS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA TEMÁTICA

Universal abstrato

O uso da UEPS construída com a tríade historicidade, conceito e contexto demonstrou ser eficiente para uso de diferentes processos de mediação cognitiva na aprendizagem dos conceitos em efeito fotoelétrico.

Universal concreto

- a) Evidências no uso da historicidade na disseminação de fatos e eventos relacionados à temática junto aos acadêmicos por processos de mediação cultural.

- b) O uso de tecnologia fotovoltaica, associada à iluminação artificial, demonstrou ser aplicação de contexto eficiente para o processo de aprendizagem.
- c) A UEPS proporcionou para que cada estudante fizesse uso de dois ou mais processos de mediação ao explicar os conceitos durante a entrevista.
- d) Evidências sobre a relevância da UEPS na aprendizagem significativa.

5.3.1 Evidências no uso da mediação cultural na historicidade

Conforme relatado no segundo capítulo, durante o período em que a comunidade científica celebrava o Ano Internacional da Luz (AIL), em homenagem aos 110 anos da publicação do artigo *Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*, de Albert Einstein, que atribuiu a ele o prêmio Nobel da Física em 1921, as mídias sociais compartilhavam informações sobre fatos e eventos históricos da Ciência. Entretanto, para esse foco a abordagem foi proporcionada nas aulas teóricas e nas aulas práticas (nos instrumentos que guiavam os estudantes nas atividades).

A pesquisa buscou investigar o uso de fatos e eventos da história da ciência no ensino e aprendizagem da temática efeito fotoelétrico na produção e transformação da luz, com uso de UEPS construída com foco em historicidade, conceito e contexto. Nos instrumentos de pré-teste e pós-teste (Quadro 18) os estudantes poderiam responder o nome do personagem da História da Ciência, bem como sua contribuição para a teoria quântica da luz, na temática efeito fotoelétrico.

Quadro 16 – Questão que investigava a historicidade em efeito fotoelétrico

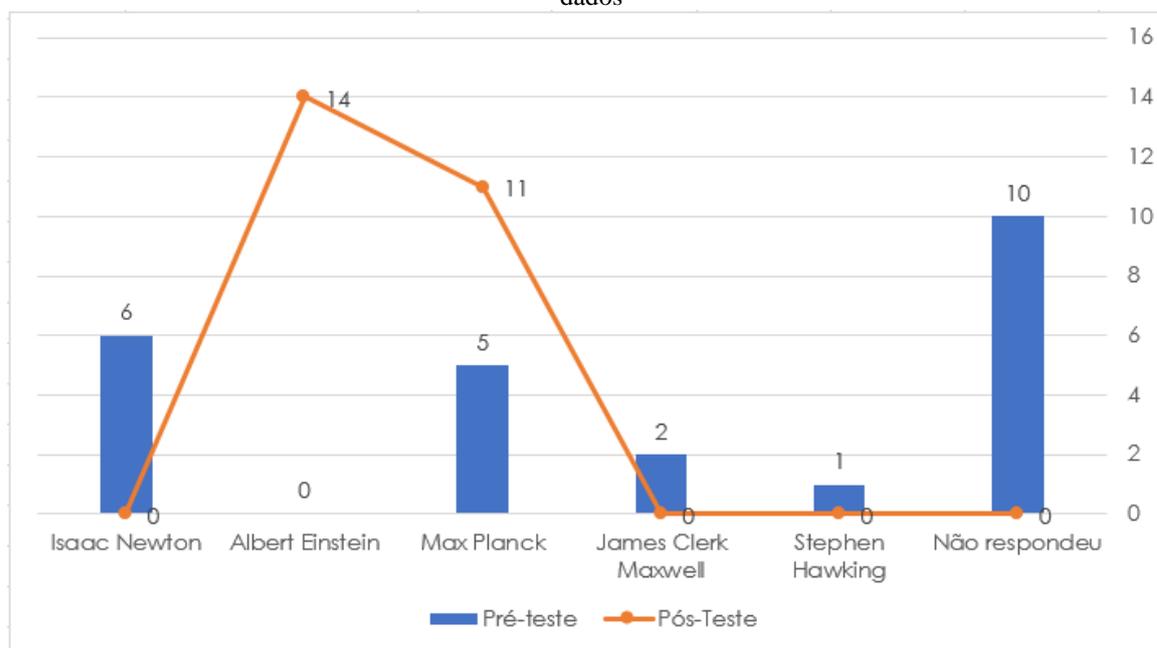
04. Qual o personagem da História da Ciência que recebeu o Prêmio Nobel pela contribuição à teoria quântica da Luz? Externe seus conhecimentos sobre o evento.

Fonte: A pesquisa (2018).

Nas respostas apresentadas por estudantes de engenharia, ao responder os pré-testes, era possível identificar que havia uma incoerência nas respostas e muitos instrumentos com ausência de uma resposta para essa questão, conforme demonstra o gráfico de barras (Gráfico 7). Contrariamente, após as atividades da UEPS, todos os estudantes que responderam ao pós-

teste atribuíam a Albert Einstein ou a Max Planck a historicidade em efeito fotoelétrico, conforme apresentado no gráfico de linha.

Gráfico 7 – Respostas apresentadas por estudantes de engenharia ao responder os instrumentos de coleta de dados



Fonte: A pesquisa (2018).

Ao trabalhar em pequenos grupos, durante a etapa teórica, os estudantes poderiam realizar buscas na rede mundial de computadores e descrever sobre fatos e eventos que tratam da história da ciência para a temática efeito fotoelétrico. Os conhecimentos sobre o evento, externados por eles ao responder os pós-testes, demonstram certa relação com as atividades teóricas desenvolvidas nas primeiras etapas da UEPS. Entre os exemplos, a estudante E5 responde associando o personagem com a quantização da luz, ao se referir ao Albert Einstein (Quadro 19).

Quadro 17 – Resposta da questão sobre historicidade do pós-teste da estudante E5

04. Qual o personagem da História da Ciência que recebeu o Prêmio Nobel pela contribuição à teoria quântica da Luz? Externe seus conhecimentos sobre o evento.

Albert Einstein em 1921

Ele aprimorou os conhecimentos já desenvolvidos por outros cientistas a respeito da luz, quantizando luz

Fonte: A pesquisa (2018).

A estudante E14 relaciona com a história contada em aula, conforme metodologia proposta por Eshach (2009), em conformidade com o artigo publicado por Einstein (STACHEL, 2005), quando descreve sobre a “catástrofe do ultravioleta”. Também faz referência à percepção à mediação cultural, quando se refere ao cálculo da energia cinética, realizado nas atividades de resolução de problemas.

Quadro 18 – Resposta da questão sobre historicidade do pós-teste da estudante E14

<p>04. Qual o personagem da História da Ciência que recebeu o Prêmio Nobel pela contribuição à teoria quântica da Luz? Externe seus conhecimentos sobre o evento.</p> <p><i>Einstein, apesar da sociedade científica estar "de mal" com ele, por causa de inserir a bomba atômica, reconheceram sua contribuição na resolução da catástrofe do ultra-violeta, definindo as faixas de frequência das cores da luz e acrescentando a frequência no cálculo da energia cinética relacionada ao trabalho.</i></p>

Fonte: A pesquisa (2018).

Na entrevista os estudantes eram questionados a respeito da origem de sua resposta registrada sobre os fatos e eventos da história da ciência em efeito fotoelétrico. Como exemplo, a estudante E14 atribui sua resposta no pós-teste, quando fez uso de linguagem verbal para explicar a ocorrência da aprendizagem a partir da mediação cultural, proporcionada nas atividades desenvolvidas nas aulas teóricas. O estudante E3, como também a estudante E13, atribuíam os conhecimentos construídos às aulas teóricas (Quadro 21). As justificativas também convergiam para respostas associadas às atividades teóricas desenvolvidas na UEPS, quando respondiam às entrevistas “das aulas”.

Quadro 19 – Evidências no processo de mediação cultural nos estudantes entrevistados sobre a historicidade

E3	<p>Quanto à celebridade histórica, você respondeu, tanto no pós-teste como na prova, Albert Einstein. De onde veio esse conhecimento? Estudante: Da sala de aula. Você não tinha noção nenhuma antes? Estudante: Não [(01:41) # GN</p>
E13	Das aulas mesmo.
E14	Das aulas de Física, até no pré-teste eu não sabia responder, daí eu aprendi tanto a influência do Planck e depois do Albert Einstein que modificou ela.

Fonte: A pesquisa (2018).

A historicidade esteve presente em todas as atividades da UEPS: Nos guias utilizados durante as atividades computacionais; nas aulas teóricas; nos guias utilizados no laboratório real e nas apresentações dos trabalhos pelos estudantes, onde eram recorrentes as atribuições históricas, ao explicar as aplicações de efeito fotoelétrico na Engenharia Civil. Era esperado

que na entrevista os estudantes associassem a diferentes processos de mediação. Entretanto, tanto na interpretação e classificação dos gestos quanto na fala dos estudantes não foram observadas evidências de mediação externa psicofísica, social ou hipercultural.

5.3.2 Evidência na eficácia do uso da aplicação de contexto na aprendizagem

Conforme relatos de evidências anteriormente apresentadas, os estudantes de engenharia investigados, comumente, referiam-se à frequência das lâmpadas ou às células fotovoltaicas ao explicar os conceitos em efeito fotoelétrico. Portanto, a tecnologia fotovoltaica, utilizada com iluminação artificial, demonstrou ser eficaz como aplicação de contexto na produção e transformação da luz, para o ensino em engenharias, motivando os estudantes à aprendizagem. Nesse caso, o uso da tecnologia fotovoltaica, associada aos diferentes processos de iluminação artificial empregados no experimento (lâmpadas incandescentes, fluorescentes e de LED), com diferentes faixas de frequência luminosas (luz vermelha, branca e azul), possibilitou que os estudantes associassem os diferentes conceitos no ensino do tema proposto.

Para os cursos de engenharia onde o estudo foi aplicado, houve diversas evidências na articulação entre pesquisa e ensino e extensão universitária na temática, com aplicações de contexto na energia fotovoltaica e sustentabilidade na iluminação artificial, com foco na sustentabilidade energética, envolvendo estudantes das Engenharias Civil e Sanitária Ambiental na Universidade do Contestado, como sugere o movimento STEM (NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES, 2017). Essa articulação será mais bem discutida na última seção deste capítulo (Seção 5.4).

Todas as intervenções tiveram como foco a pesquisa de tese e o movimento global que relaciona ciência, tecnologia, engenharia e matemática, em inglês *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM), que teve origem em pesquisa anterior (DARK, 2011), buscada em pesquisa bibliográfica (REIS; SERRANO, 2017b), proporcionando o uso da aplicação de contexto neste trabalho de tese e nas atividades relatadas. Hoje, o movimento STEM, que é reconhecido no mundo todo, inclusive no Brasil, originou no propósito de motivar estudantes para a carreira nas engenharias. Também, durante a pesquisa, com o propósito de acesso aos recursos pertinentes ao movimento, tornei-me mentora do movimento.

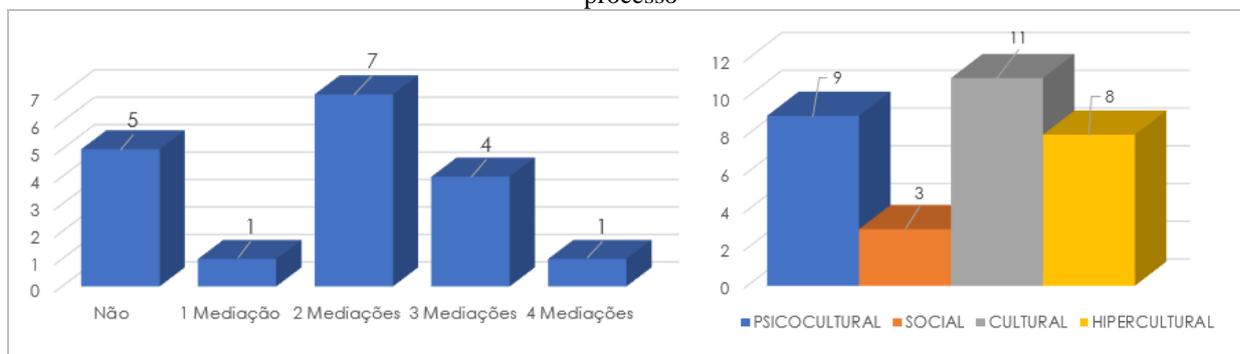
5.3.3 Ao falar sobre a UEPS os estudantes associavam 2 ou mais processos de mediação

Em conformidade com a metodologia desta tese, as etapas da UEPS foram desenvolvidas contemplando historicidade, conceitos e contexto para o uso da temática no ensino de Física na engenharia. Assim, ao explorar os conceitos com diferentes estratégias metodológicas, aplicadas em ensino e aprendizagem do tema, era possível o estudante interagir seus conhecimentos com diferentes estratégias na proposta pedagógica. Por conta disso, no instrumento de pós-teste, foi proporcionado aos estudantes inferir sobre o uso da UEPS, respondendo ao seguinte questionamento: “Qual(is) a(s) contribuição(ões) que a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) proporcionou para sua formação acadêmica na Engenharia?”.

As respostas dos estudantes, ao responder o instrumento de pós-teste, frequentemente eram relacionadas ao conhecimento: “foi de grande importância, pois ajudou muito na compreensão” (E13); ou associadas a situações de contexto, quando se referiam ao entendimento do funcionamento das tecnologias (Quadro 21) ou, ainda, associando teoria à prática, com “achei interessante o método teoria/prática, fez com que observássemos melhor os conteúdos.” (E14).

Independentemente da resposta apresentada no pós-teste, durante as entrevistas os estudantes eram questionados sobre sua opinião em relação à metodologia aplicada no ensino do tema. Ao responder à pergunta “Qual sua opinião em relação a estudar com uma unidade de ensino onde trabalhamos diferentes metodologias, contendo diferentes atividades práticas e teóricas?”. A análise demonstra que 12 (doze) dos 18 (dezoito) estudantes entrevistados demonstravam duas ou mais formas de mediação extracerebral que tinham sido utilizadas na aprendizagem dos conceitos durante a exploração da temática (Gráfico 8, à esquerda), identificadas mediante linguagem verbal e gestual, predominando o grupo de estudantes que apresentou os dois processos de mediação.

Gráfico 8 – Processos de mediação quando os estudantes respondem sobre o uso da UEPS: à esquerda o número de estudantes que apresentam 0, 1, 2, 3 ou 4 processos de mediação e à direita o número de estudantes em cada processo



Fonte: A pesquisa (2018).

Frequentemente os estudantes, quando entrevistados, associavam a mediação psicofísica à cultural ou hipercultural com a cultural, relacionado teoria e prática, conforme pode ser observado na fala dos estudantes (Quadro 22), de modo que o processo por mediação cultural se destacava na fala dos acadêmicos (Gráfico 8, direita). A estudante E5 se destacou ao referenciar os quatro processos de mediação ao ser interrogada sobre o uso da UEPS no ensino da temática. Ao falar “fica mais fácil de fixar e de entender” faz referência à percepção da mediação Cultural; social quando diz “apesar que mesmo assim a gente tem que tirar umas dúvidas teóricas com a professora”; também faz referência à percepção da mediação “aquilo que gera energia é o ultravioleta”, uma vez que esse fato foi observado nas simulações computacionais e, conclui com mediação psicofísica: “o mais interessante mesmo foi quando entendi como funcionavam as células fotovoltaicas.”

Quadro 20 – Estudantes que apresentavam dois ou mais tipos de mediação durante a entrevista, quando opinavam sobre o uso da UEPS no ensino do efeito fotoelétrico

E5	Cultural, Social, Hipercultural e Psicofísica	<p>Por último, o que você achou em trabalhar com unidade de ensino, onde você pudesse fazer várias atividades para trabalhar o mesmo tema?</p> <p>Estudante: Achei bom, fica mais fácil de fixar e de entender, apesar que mesmo assim a gente tem que tirar umas dúvidas teóricas com a professora (risos). Eu achava muito legal, sempre gostei dessa área, sempre gostava, mas nunca entedia como funcionava.</p> <p>O que mais chamou tua atenção?</p> <p>Estudante: Umm. Não sei (Risos). Mas eu acho que o que chamou mais atenção foi o fato de considerar que a luz do Sol que é a luminosidade, aquilo que gera energia é o ultravioleta, que é na verdade aquilo que não vê. Aquilo que não vê que gera energia. Você achou mais interessante qual momento das atividades, foi tudo igual para ti?</p> <p>Estudante: Achei interessante como reagem os diferentes tipos de materiais, os estímulos, que foi nos computacionais e o mais interessante mesmo foi quando entendi como funcionavam as células fotovoltaicas.</p>
E6	Cultural Prática (Psicofísica)	<p>Valeu bastante a pena, tanto que a gente aplicou a parte teórica inicialmente, né, depois a gente partiu pra parte prática e comprovou tudo isso que a gente estava vendo na parte teórica com a prática. Então a gente pode ver, se provar que</p>

	e/ou hipercultural)	geralmente a gente vê a parte teórica, e aí às vezes tu vê a parte prática e entende muito melhor.
E7	Psicofísica Hipercultural Cultural	Eu achei que foi uma boa experiência, que aprende mais, através de [(03:08) # DA] demonstrando [(03:10) # MI], como que vou explicar, em demonstração real [(03:13) # RP], como foi também aprendido pelo computador [(03:17) # RC] do que [(03:20) # RM] que por fórmulas ou problemas matemáticos. Eu acho que tu visualizando [(03:26) # RC] tu aprende mais fácil que através [(03:27) # TM] de uma fórmula matemática, na minha opinião.
E8	Psicofísica Hipercultural	Eu acho que foi muito bom porque a gente teve duas aulas, se não me engano né foi no laboratório, então deu para ter uma base mais como que é mais, como que é, mais realista e mais na prática que coisas no dia a dia mesmo que a gente observa. Antes [(03:25) # DPV] observava e não percebia, né, e agora observo e tipo no meu dia a dia e já entendo o que está acontecendo por causa dessas aulas no laboratório, então foi muito para ter uma ideia melhor do que o que é isso.
E10	Hipercultural Cultural	Eu acho que a partir do momento em que se passou a usar os simuladores e tal ficou bem mais fácil de entender porque, na sala de aula eu tinha uma certa dificuldade [(02:57) # DA], por exemplo nunca tinha visto na prática aquilo né, mas assim com o simulador ficou muito mais fácil de entender. Tanto que só olhando dava para responder todas as questões que antes não conseguia.
E11	Cultural	Achei bem interessante, porque tinha muitas coisas sobre essa parte da luz, corrente, frequência que a gente não pegou no ensino médio [(02:58) # DA], coisas que eu não aprendi e não sabia. Então, deu pra diferenciar bastante coisa, deu pra entender bastante o conceito de cada coisa e aplicação também.
E12	Cultural Psicofísica Hipercultural	É melhor porque a gente consegue aumentar [(04:03) # ACL] o campo de estudo, se a gente ficar só dentro da sala [(04:08) # DA] a gente só vê a teoria, indo para os laboratórios se a gente fizer [(04:11) # FA] prática ajuda muito a gente.
E13	Cultural Psicofísica	Estudante: Eu gostei bastante, acho que auxilia no aprendizado né. E faz com que a gente se [(03:40) # FA] se interage mais com o conteúdo. Qual deles você achou que mais demonstrou o que é o efeito fotoelétrico? Estudante: Eu gostei bastante da aula do laboratório, das lâmpadas diferentes. Por quê? Estudante: Porque a lâmpada incandescente eu achava que ela produzia mais energia e nos cálculos a gente viu que era o contrário. Que não é bem assim.
E14	Psicofísica Cultural	Eu acho que essa diferença de método assim, ela facilita o aprendizado, por exemplo, no laboratório a gente fixa e nunca mais esquece, como uma leitura [(08:02) # FA] ou só, né, se esquece muito rápido e assim fazendo ou entendendo, você vai aprender e vai guardar isso. E com sua nota foi a segunda nota (...) O que mais contribuiu para teu aprendizado? Eu acho que foram estas práticas porque tudo o que eu lia [(08:28) # LA] na prova, me vinha já [(08:31) # AM] na cabeça o que a gente tinha feito [(08:33) FA], como era, a explicação do porquê, enfim as consequências.
E15	Cultural Social	É bacana porque a gente aprende de várias [(03:23) # DA] formas diferentes conceitos, vamos supor, por exemplo, antes a professora estava explicando a parte de portas com sensores, tem vários tipos de sensores [(03:32) # FL ou EP ou ES], de nomenclaturas, dentro de um mesmo conteúdo.
E16	Hipercultural Cultural	Olha eu gostei bastante, porque eu acho um assunto bem difícil pra mim, eu tenho bastante dificuldade, eu tive que estudar bastante ah, mas foi bem dinâmico acredito que esses trabalhos [(03:29) # DA] ali no computador [(03:30) # RC] me ajudaram bastante, porque eu tenho bastante dificuldade, meu pai me falou bastante disso, mas eu tenho bastante dificuldade. Então me ajudou bastante.
E18	Psicofísica Hipercultural Cultural	Eu particularmente [(03:33) # TM] gosto, tipo assim, quando trabalha [(03:37) # FA] com várias coisas num assunto só, tipo assim, quando tu trabalhaste com aula prática [(03:37) # DA] depois fomos pro laboratório de física, informática e voltou para cá. Se fosse ver a gente trabalhou com vários [(03:51) # DPV] pontos de vista. Isso foi bom porque olhando pra parte do laboratório você vê a parte prática, no da informática você vê além da prática, mas vê diferente [(04:03) # DA] porque na prática do laboratório [(04:04) # EP] você não vê os fótons dos elétrons e no laboratório você vê invertido então tem outro ponto de vista. Isso é bom porque pra engenharia é legal porque toda a parte da iluminação pública dos postes ali, nos

		sensores de uma porta [(04:30) # ES] do shopping, uma porta automática não tinha porque acontece isso. Sei lá penso, mas sensor do que? O porquê das coisas que tu buscarias, agora a gente entende o porquê.
--	--	---

Fonte: A pesquisa (2018).

Foram recorrentes os relatos onde os estudantes associavam as atividades teóricas com as atividades práticas realizadas em laboratório real e/ou virtuais, realizadas com simulações computacionais. O estudante E7, por exemplo, faz uso de linguagem verbal e gestual, com movimento criativo com as mãos, demonstra esta evidência. Quando se refere à “demonstração real”, faz referência à percepção de algo físico, como a placa (Figura 28, A). Que relata “como foi também aprendido pelo computador”, representa o computador, na direção do laboratório computacional (Figura 28, B). Ao falar “do que [...] que por fórmulas ou problemas matemáticos”, realiza movimento de escrita (Figura 28, C), de registro manual fazendo referência à mediação cultural.

Figura 28 – Estudante E7 contextualizando as mediações psicofísica, hipercultural e cultural durante a entrevista



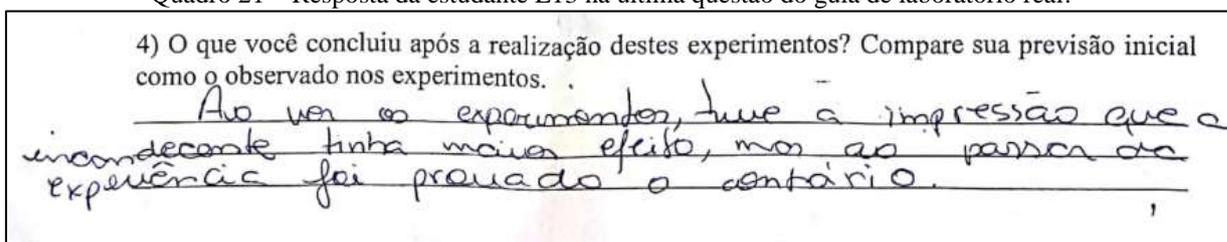
Fonte: A pesquisa (2018).

O estudante E18 ao explicar utiliza três formas de mediação (cultural, hipercultural e psicofísica), estabelecendo um comparativo entre as duas etapas experimentais, faz referência à percepção sobre os modelos macro e microscópico: “Isso foi bom porque olhando pra parte do laboratório você vê a parte prática, no da informática você vê além da prática” e, completa, “porque na prática do laboratório ... você não vê os fótons dos elétrons e no laboratório você vê invertido então tem outro ponto de vista.”

A estudante E13 estabelece integração entre teoria e prática, ao afirmar que “a lâmpada incandescente eu achava que ela produzia mais energia e nos cálculos a gente viu que era o contrário.” Essa constatação, que pode ser verificada na resposta da estudante (Quadro 23), comprova a eficácia na mudança realizada no experimento do estudo-piloto, onde estudantes desenvolviam a concepção de que a lâmpada incandescente era mais eficiente

na produção de corrente no efeito fotovoltaico, associando à radiação infravermelha. Os resultados observados na entrevista com a estudante demonstram que a modificação do experimento real foi eficaz para a aprendizagem com uso da tecnologia fotovoltaica como situação de contexto.

Quadro 21 – Resposta da estudante E13 na última questão do guia de laboratório real.



Fonte: A pesquisa (2018).

5.3.4 Indícios quanto à relevância da UEPS na aprendizagem significativa

É possível destacar indícios de aprendizagem significativa, observadas na fala dos estudantes ao serem entrevistados. A estudante E11, por exemplo, atribui à UEPS a aprendizagem dos conceitos: “Achei bem interessante, porque tinha muitas coisas sobre essa parte da luz, corrente, frequência que a gente não pegou no ensino médio [...] deu pra entender bastante o conceito de cada coisa e aplicação também.” A fala demonstra a assimilação do conhecimento, a partir do conhecimento prévio (quando relaciona com conhecimentos construídos no ensino médio), conforme estabelece a teoria proposta por Ausubel, relatada no referencial teórico deste trabalho, quanto ao papel dos subsunçores na aprendizagem significativa dos conceitos (Cap. 3). E, o estudante E10 conclui dizendo “Tanto que só olhando dava para responder todas as questões que antes não conseguia”, referindo-se à prova escrita realizada no final do semestre, meses após a intervenção.

Outros estudantes também demonstraram alguma evidência de aprendizagem significativa, como ocorreu com os estudantes E3 e E14²³, que obtiveram as maiores notas na prova escrita. O estudante E3, ao final da entrevista, foi questionado sobre a que ele atribuía o sucesso na avaliação (Dez). Ele responde: “Para mim a vivência prática, o que mais influenciou, aprendo melhor fazendo, vendo o efeito em si que só lendo e consigo assimilar

²³ Os estudantes estavam ausentes no dia das entrevistas e, portanto, no final do semestre foram submetidos à entrevista, que ocorreu uma semana após a prova escrita e um mês após as atividades desenvolvidas na UEPS, após o término da prova de cálculo (conforme explicado no início desse capítulo).

mais fácil.” A estudante E14 também atribui ao sucesso da mesma ao trabalho realizado na prática: “Eu acho que foram estas práticas porque tudo o que eu lia na prova, me vinha já na cabeça o que a gente tinha feito, como era, a explicação do porquê, enfim as consequências.”

Ou, ainda, é possível evidenciar na comparação entre as respostas apresentadas por eles nos momentos antes (pré-teste) e após (pós-teste). Ao responder os instrumentos antes dos experimentos (pré-teste) era frequente a entrega do instrumento com questões sem respostas, ou com respostas do tipo “não faço a mínima ideia do que é, por isso não respondi”, algo que não foi observado no pós-teste. Neste, as respostas eram fundamentadas e ilustradas com exemplos e aplicações. Nas entrevistas realizadas no final do semestre (depois da prova). Os acadêmicos descreviam as atividades como se houvessem realizado no dia anterior, de modo que é possível verificar características de aprendizagem significativa.

Entretanto, mesmo com a observação de fatos evidenciados nessa seção, o uso de UEPS elaborada e desenvolvida relacionando historicidade, conceito e contexto, com o uso de diferentes metodologias, os resultados são pouco conclusivos para a aprendizagem significativa. Portanto, somos cautelosos ao apontar que as evidências de que a UEPS desenvolvida e utilizada nesta pesquisa de tese tenha oportunizado resultados de aprendizagem significativa dos conceitos em efeito fotoelétrico.

5.4 A TEMÁTICA NA ARTICULAÇÃO ENTRE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

Nas seções anteriores foram demonstradas evidências de resultados de aprendizagem nos estudantes de Engenharia, quando submetidos a UEPS em efeito fotoelétrico. Os materiais didáticos desenvolvidos para a pesquisa de tese (testes e guias) são produtos de ensino que serão disponibilizados na rede de computadores e podem ser utilizados no ensino superior, especialmente, para o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) nas Engenharias. Pesquisa recente publicada em ensino de Engenharia investiga a opinião de formados sobre o ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC) na formação desses profissionais (SOUZA; CUSTÓDIO; REZENDE JÚNIOR, 2018). O artigo aponta que é privilegiada a Física Clássica nesses cursos em detrimento da FMC. Entre as dificuldades do ensino de FMC, formadores consideram que seria muito desgaste cognitivo nos estudantes e falta do governo em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para a FMC na estrutura curricular dos cursos de Engenharia.

Por conta disso, os guias e testes elaborados para esta pesquisa de tese serão disponibilizados como objetos educacionais do Laboratório de Ciências²⁴ do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil (PPGECIM/ULBRA), para uso em pesquisas posteriores e/ou uso como material didático nas aulas de Física Moderna e Contemporânea.

Conforme relatado nos primeiros capítulos deste trabalho, pesquisa bibliográfica desenvolvida para atender os objetivos na tese de doutorado, anteriormente publicada em periódico (REIS; SERRANO, 2017b), oportunizou integração das atividades no movimento global denominado STEM, no inglês para *Science, Technology, Engineering e Mathematics* (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática). Hoje disseminado em todo o Planeta, o movimento busca proporcionar a estudantes o interesse no uso da tecnologia e o ingresso nas engenharias (DARK, 2011; KARTAL et al., 2015; NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES, 2017). O acesso aos materiais e tecnologias publicados mundialmente na rede mundial de computadores (NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES, 2017) e publicações (DARK, 2011; MOLKI, 2010; PECEN; NAYIR, 2010; ROSE; RIBBLETT; HERSHBERGER, 2010), possibilitaram desenvolver as atividades com uso de células fotovoltaicas e iluminação artificial no ensino na Engenharia. Nos últimos anos, ambas as tecnologias têm se destacado nos cursos trabalhados, demonstrando potencial significativo na evolução tecnológica e buscas para a sustentabilidade energética, contribuindo para o uso da temática em ensino, pesquisa e extensão.

5.4.1 Resultados oportunizados no uso do contexto em pesquisa na Engenharia

Em pesquisa, no período de estudo, este trabalho aprovou projetos financiados por diferentes fomentos e Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) para obtenção de título de Engenheiro Civil e Ambiental Sanitarista, onde foram contempladas ambas as aplicações de contexto (iluminação artificial e uso das tecnologias fotovoltaicas). Na iluminação artificial as pesquisas tinham como foco a eficiência energética, onde foram executados três projetos de pesquisa. As atividades iniciaram no primeiro grupo investigado (Piloto 1), quando a empresa distribuidora de energia elétrica estava iniciando um movimento em eficiência e

²⁴ Laboratório de Ciências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil (PPGECIM/ULBRA). Disponível em: <<http://ppgecim.ulbra.br/ciencias/>>. Acesso em 01/03/2019.

sustentabilidade energética. Entre as mudanças, a substituição de tecnologias pouco eficientes, como as lâmpadas incandescentes. Na ocasião, com expansão em pesquisa e extensão na Universidade do Contestado.

O primeiro foi desenvolvido com recursos do Fundo de Apoio à Pesquisa (FAP), para a eficiência energética na iluminação externa do campus da UnC (FALKOSKI; REIS, 2016). Este projeto teve continuidade com o segundo, desenvolvido na produção avícola. O projeto teve origem nas aulas de Física III, durante o primeiro estudo piloto desta tese. O acadêmico era produtor de aves e no período acontecia a retirada das lâmpadas incandescentes do mercado, em razão da baixa eficiência e este fazia uso de tecnologia na produção avícola com essas lâmpadas. A pesquisa “Uso do LED na eficiência energética e na sustentabilidade da produção de aves” foi financiada com bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O trabalho (SANTOS; REIS JUNIOR; REIS, 2019) foi apresentado *in company* e, também, indicado ao prêmio CNPq (PIBITI, 2016), sendo apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

E, o terceiro projeto, foi desenvolvido com bolsa do Artigo 170, do estado de Santa Catarina (programa UNIEDU), na avaliação para o uso da tecnologia LED na iluminação pública: estudo de caso para o município de Concórdia, SC. Os resultados da pesquisa estão em fase de publicação e em projeto para Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de título de Engenheiro Civil de colega de curso, atualmente, vereador de Concórdia, SC.

Quanto à tecnologia fotovoltaica na Engenharia Civil, as pesquisas contemplaram três gerações fotovoltaicas: painéis rígidos (silício policristalino), painéis flexíveis (silício amorfo) e filmes finos (*Organic Photovoltaics* – OPV). Em células de painéis rígidos, o uso da tecnologia fotovoltaica foi investigada para bomba d’água para uso em cisternas para o aproveitamento de recursos pluviais (AMPESE; REIS; SERRANO, 2018), financiado com bolsa FAP. Atualmente, a acadêmica possui representação comercial dos *kits* desenvolvidos na pesquisa para a Engenharia Civil. Com a segunda geração fotovoltaica foi realizado um TCC (SCHÖNELL, 2016), sendo que não houve seguimento nas pesquisas com essa tecnologia em virtude do impacto ambiental que esta proporciona. E, a terceira geração de pesquisa fotovoltaica (OPV), contempla o uso de filmes finos em fachadas envidraçadas (ROGOVSKI; REIS, 2017), com artigo aprovado para apresentação em evento na área da

Engenharia²⁵. A pesquisa está sendo desenvolvida por estudante vinculada ao Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica e Tecnológica (PIVIC/UnC), que estudou Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal de Pelotas e migrou para Engenharia Civil.

5.4.2 Resultados oportunizados no uso do contexto em projetos de Extensão

Em projeto de extensão, dois projetos foram desenvolvidos a partir do experimento real, com uso da tecnologia fotovoltaica utilizada na pesquisa de tese. Ambas as atividades foram desenvolvidas com vistas no movimento STEM e na necessidade de disseminação das tecnologias para os cursos e motivar os estudantes às Engenharias.

O primeiro projeto de extensão foi disponibilizado aos formandos de Engenharia Ambiental e Sanitária²⁶, que haviam cursado as disciplinas de física e de Fontes Alternativas de Energia antes do início dessa pesquisa no curso. A oficina solar foi realizada com o objetivo de proporcionar aos acadêmicos do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária fundamentos práticos e teóricos para avaliação de viabilidade técnica na instalação de energia solar fotovoltaica com uso de células de silício. As atividades ocorreram em março de 2018, no sábado à tarde, com a participação de um Engenheiro de Produção, também professor na Universidade, que auxiliou nos cálculos da viabilidade econômica para elaboração de projetos nas Engenharias.

O segundo projeto de extensão, a oficina solar fotovoltaica²⁷, esteve vinculado ao programa UnC na comunidade, contemplando estudantes do último ano do Ensino Médio nas escolas de educação básica localizadas em Concórdia, SC. Ao ser apresentado na Secretaria Regional de Educação, o projeto de extensão foi executado em duas etapas: Na primeira etapa a temática foi apresentada no formato de palestra aos professores da rede estadual de ensino, atendendo aproximadamente 80% dos educadores (professores, gestores e auxiliares) da regional de Concórdia, em julho de 2018, onde os profissionais tiveram oportunidade de conhecer a proposta.

25 O artigo “*Estudo de viabilidade no uso de filmes fotovoltaicos orgânicos: Estudo de caso em fachadas envidraçadas na Universidade do Contestado*” foi aprovado para ser apresentado no VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto: 08 a 10 de maio, em Florianópolis, SC.

26 Atividades de Extensão para Acadêmicos de Engenharia na Universidade do Contestado: Oficina em Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <https://www.unc.br/noticia.php?id=11833>. Acesso em: 02 mar. 2019.

27 O guia utilizado durante a oficina com os estudantes de Ensino Médio encontra-se disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1ihNLgcEPIxGcJifVVVoDvPwuR5jKVNFrC/view?usp=sharing>>. Acesso em 20/03/2019.

A segunda fase também ocorreu no formato de oficina pedagógica, porém nas escolas, durante as aulas de ciências e matemática, para estudantes do último ano de Ensino Médio. As atividades eram desenvolvidas com duas horas de duração, nos períodos diurnos e noturnos (conforme a demanda). As atividades iniciavam com abordagem expositiva (teórica) e, em seguida, os estudantes eram conduzidos ao experimento prático, acompanhados pelo professor da turma e por um instrumento didático (guia). O experimento prático, quando realizado em período diurno, acontecia à luz do Sol, no pátio da escola.

Figura 29 – Atividade diurna realizada no projeto de extensão



Fonte: A pesquisa (2018).

Nas oficinas que aconteciam no período noturno, as atividades eram realizadas em sala de aula, com iluminação artificial, semelhante ao utilizado nesta pesquisa com estudantes de Engenharia. Na figura a seguir, os estudantes, na tentativa de aumentar a intensidade da luz, fazem uso da lanterna do dispositivo móvel. Ao realizar esse procedimento perceberam que quando a luz emitida no aplicativo apresentava coloração amarelada (luz noturna), a produção de corrente era menor e quando apresentava coloração branca azulada aumentava significativamente a produção de corrente. O resultado desse efeito foi comprovado com uso de lâmpadas coloridas.

Figura 30 – Experimentos realizados na oficina oferecida na modalidade extensão nas escolas de Concórdia.



Fonte: A pesquisa (2018).

Os resultados no engajamento de docentes e discentes das escolas na modalidade de extensão foram relevantes para a pesquisa, demonstrando que a temática pode contribuir na articulação entre ensino, pesquisa e extensão. Como evidência, por exemplo, durante a realização do experimento prático, em uma das escolas, o professor verificou as condições favoráveis para a instalação da tecnologia no telhado da edificação. Esse professor, com formação em Matemática e estudante de Engenharia Civil, está explorando essa aplicação da tecnologia em seu Trabalho de Conclusão de Curso. Especialmente, na educação, as escolas pertencentes à regional de Concórdia solicitaram à UnC a continuidade na adesão da oficina para 2019, contemplando também escolas de municípios vizinhos.



CONCLUSÃO

A contemplação dos estudos bibliográficos e teóricos realizados nos primeiros capítulos desta tese proporcionou cientificidade e expansão aos recursos desenvolvidos para a investigação e, conseqüentemente, corroborar para atender aos objetivos deste trabalho. Muito mais que isso, o uso da robótica nos transportou virtualmente a diferentes universidades, em diferentes continentes, proporcionando vivenciar conhecimentos, tecnologias e oportunidade de expansão profissional, pessoal e científica. Acesso a movimentos, como o movimento STEM, e instituições de relevância foi um progresso significativo para a construção desta tese.

Acreditamos que as interpretações da pesquisa teórica e bibliográfica em prol da construção da base metodológica e desenvolvimento de material didático (UEPS) foram fundamentais a fim de responder o problema de pesquisa: *Como diferentes processos de mediações cognitivas são utilizados de forma combinada por estudantes de engenharia para a aprendizagem significativa de conceitos na temática efeito fotoelétrico, após utilização de UEPS construída segundo a tríade historicidade, simulações conceituais e contexto?*

Para responder a essa pergunta, na pesquisa foram explorados dados e resultados de três experimentos: dois experimentos pilotos (um experimento real e um computacional) e um experimento completo. Esse último, com uso de UEPS desenvolvida para avaliar processos externos de mediação psicofísica, social, cultural e hipercultural, responsáveis por modificação nos *drivers*, a fim de obter indícios de aprendizagem significativa de conceitos em efeito fotoelétrico. Ao responder as perguntas e objetivos iniciais desta pesquisa de tese os

resultados demonstraram inovações científicas (ineditismo) que podem ser identificadas em diferentes fases desta pesquisa. A fim de facilitar ao leitor, as inovações serão contextualizadas e apresentadas em tópicos, destacando as principais contribuições desta tese para o ensino de ciências.

✓ A contribuição da historicidade em efeito fotoelétrico para a CTS na Engenharia

Conforme relatado no início desta tese, a pesquisa bibliográfica iniciada em 2015 acontecia quando publicações no mundo todo celebravam o Ano Internacional da Luz. A perspectiva inicial era que a inclusão da historicidade no estado da arte em efeito fotoelétrico fornecesse uma contribuição importante para o processo textual, elaboração e avaliação dos materiais para as aulas teóricas e experimentais. O evento oportunizou acesso a dados e informações sobre a trajetória da ciência na expansão tecnológica para a sociedade atual, em acordo com a abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade).

Os artigos citados na história da ciência, publicados em algumas das revistas mais conceituadas da nossa área, proporcionaram a inclusão de fatos e eventos da história da ciência na UEPS, de modo a oportunizar reflexões entre estudantes. Especialmente sobre a importância do Prêmio Nobel atribuído a Albert Einstein em decorrência da versão da teoria por ele proposta na temática efeito fotoelétrico, bem como a contribuição do prêmio para os avanços tecnológicos e as mudanças sociais para a contemporaneidade.

O objetivo inicial proposto no uso da historicidade em efeito fotoelétrico na UEPS teve como resultado esperado despertar a curiosidade e motivar os estudantes para o estudo do tema. No entanto, esses resultados proporcionam concluir que a inserção da historicidade no ensino da temática contribuiu para o desenvolvimento de uma estrutura curricular que contribui para a inserção da CTS em cursos de Engenharia, contextualizando o acadêmico com a evolução científica e tecnológica na sociedade atual.

No ensino de ciências, quanto ao princípio físico da transformação da luz em energia, utilizando como aplicação de contexto a tecnologia fotovoltaica, os estudantes poderiam constatar sobre a importância desses avanços, comparando como os fatos e eventos históricos da ciência estão presentes nas tecnologias atualmente, aplicadas à Engenharia. E, a partir disso, os estudantes poderiam avaliar as transformações sociais decorrentes desses avanços tecnológicos. Também, durante as atividades, os estudantes tinham a oportunidade de discutir e comparar aspectos sociais, econômicos e tecnológicos do período histórico (1905), em

relação ao período atual, estabelecendo uma compreensão da evolução da ciência para a transformação social. É possível que todas essas preposições seja a causa da evolução das respostas dos estudantes, antes (pré-teste) e após (pós-teste) as intervenções. E, apesar da historicidade estar presente em todas as etapas da UEPS, ao responder a entrevista predominava a mediação cultural com responsável por construção do modelo mental apresentado na pesquisa por estudantes de Engenharia.

✓ A relevância da historicidade associada à aplicação de contexto

Essa evolução científica e tecnologia descrita na história da ciência proporcionou subsídios para a exploração tecnologias promissoras, às exploradas como aplicações de contexto para laboratório real em efeito fotoelétrico. O uso de células fotovoltaicas como aplicação de contexto na produção e transformação da luz em efeito fotoelétrico, proveniente de pesquisas vinculadas ao movimento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), foi de singular importância para o ensino do tema na Engenharia. Pesquisas anteriores sugerem que o uso de células fotovoltaicas, como aplicação de contexto na produção e transformação da luz, possibilita relacionar o experimento com outros temas, como: leis aplicadas aos circuitos elétricos; eficiência energética na transformação da luz; semicondutores; entre outros. A justificativa é que a expansão da disseminação da tecnologia fotovoltaica no ensino pode, conseqüentemente, motivar a sociedade para o uso da energia do Sol em diferentes aplicações tecnológicas na Engenharia.

Esta pesquisa de tese demonstra, portanto, que um centenário após os estudos de efeito fotoelétrico o movimento STEM possibilita que a tecnologia fotovoltaica seja aplicada em atividades experimentais para a contextualização da quantização da luz, proposta por Albert Einstein, ser explorada por estudantes de Engenharia. E, nesse contexto, a tecnologia foi fundamental para a composição e uso da UEPS. Também, o sistema possibilitou o uso de diferentes tecnologias para a iluminação artificial, trazendo aos estudantes uma compreensão dos diferentes processos, suas características e a necessidade de transformação em prol da sustentabilidade energética. Portanto, essa associação da historicidade, ciência e tecnologia possibilita que o estudante reflita sobre as mudanças sociais decorrentes da evolução científica e tecnológica, bem como as necessidades sociais que proporcionam essa ascensão tecnológica.

O uso da tecnologia fotovoltaica como aplicação de contexto na produção e transformação da luz no ensino da Física na engenharia foi de grande valia, motivando os estudantes à aprendizagem e auxiliando na integração entre os saberes acadêmicos e competências profissionais, como principal contribuição social para esta tese. Ao mesmo tempo que motivava os estudantes na aprendizagem, possibilitava a relação entre os conceitos trabalhados nas diferentes etapas da UEPS, aplicações na prática com uso das tecnologias no ensino da Física, permitiu integrar Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, conforme proposto no movimento STEM. O efeito da integração tem repercutido, positivamente, em ensino, pesquisa e extensão, no engajamento dos acadêmicos de Engenharias Civil e Engenharia Sanitária Ambiental na Universidade do Contestado, onde a pesquisa foi realizada.

✓ Importância das simulações computacionais para o estudo quântico da luz

Quando pesquisamos sobre concepções e/ou dificuldades dos estudantes no ensino e aprendizagem de efeito fotoelétrico, as pesquisas anteriores não proporcionaram uma resposta sobre a representação conceitual de estudantes para o ensino de efeito fotoelétrico. Algumas pesquisas demonstram que o modelo mental para o conceito de fóton, utilizado pelos acadêmicos, é frequentemente associado a “esferas de luz”. E, ao explicar a natureza da luz no ensino da temática, a hipótese dos autores é que os estudantes utilizam conceitos e princípios clássicos da luz, onde a luz é representada por modelo ondulatório ou modelo de raio, como observado com os estudantes desta pesquisa ao responder o pré-teste. A fim de auxiliar os estudantes na construção do conceito científico, as pesquisas indicam o uso de simulações computacionais para auxiliar na investigação das concepções apresentadas por estudantes ou avaliar *insights* apresentados durante a construção dos conceitos.

Nas atividades utilizadas em diferentes etapas da UEPS (guias e testes), os estudantes poderiam registrar suas concepções por imagens, representando graficamente a representação da luz no efeito fotoelétrico. A análise dos dados demonstra que houve uma mudança significativa na representação da luz antes e depois do experimento. Antes do experimento nas representações dos estudantes predominava a representação do modelo raio de luz, como eram os relatados em pesquisas anteriores. Depois do experimento (pós-teste) predominava o modelo híbrido (onda-partícula), similar ao modelo de luz observado na opção “mostrar

fótons” no experimento computacional do grupo PhET desenvolvido na Universidade do Colorado.

Também, por intermédio desses desenhos, é possível concluir que o experimento proporcionou uma mudança no modelo mental interno nos estudantes da visão clássica para a visão quântica, na representação da luz. Evidências para essa conclusão foram observadas nos instrumentos e na entrevista, quando os estudantes associavam a luz a pacotes de ondas por linguagem verbal ou gestual. Alguns falavam e/ou demonstravam em gestos que as ondas oscilam em um espaço bem pequeno na luz violeta (ou ultravioleta) e num espaço maior na luz vermelha (ou infravermelho). O *driver* responsável por esse modelo mental somente poderia ser fundamentado durante o experimento computacional, demonstrando a importância da mediação hipercultural para esse conceito.

✓ A UEPS na avaliação dos processos de mediação e obtenção dos resultados

Para responder esta questão, a pesquisa foi dividida em três experimentos. No primeiro, foi realizado um experimento piloto computacional, investigando e validando os instrumentos para a mediação hipercultural na construção dos conceitos. O segundo experimento, na validação do uso da aplicação de contexto por mediação psicofísica, em laboratório didático. Em ambos os testes era proporcionada a mediação social e cultural. E, no último experimento, com a integração dos quatro processos de mediação (psicofísico, social, cultural e hipercultural) contemplados na UEPS. Nessa etapa da pesquisa ocorreu a avaliação dos mecanismos responsáveis para a construção dos modelos mentais e *drivers* observados por estudantes de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária na aprendizagem de efeito fotoelétrico. Todos os resultados obtidos demonstraram a contribuição da UEPS para a aprendizagem cognitiva, ao fazer uso da tríade historicidade, conceito e contexto em efeito fotoelétrico, com o uso de tecnologia fotovoltaica como situação de contexto e simulações computacionais para os conceitos.

A fundamentação teórica apresentada no capítulo III contribuiu para a compreensão de como os estudantes aprendem os conceitos pertinentes à temática, bem como os processos de mediação por eles utilizados quando submetidos a UEPS, utilizando como marco teórico a teoria da aprendizagem significativa (TAS) e da teoria da mediação cognitiva (TMC). Na prática, o uso de UEPS, dessa forma elaborada, proporcionou avaliar o tipo de mediação utilizada por estudantes na construção de modelos internos associados à aprendizagem da

temática: mediação psicofísica (laboratório real); mediação social (aulas teóricas e práticas); cultural (aulas e atividades teóricas) e hipercultural (simulações computacionais). Os resultados das análises, apresentados no capítulo anterior, demonstram que é possível observar nos estudantes o uso dos quatro processos de mediação (psicofísica, social, cultural e hipercultural), em diferentes fases de intervenção.

De modo global é possível observar convergência nos processos de mediação para os conceitos associados ao modelo clássico da luz em efeito fotoelétrico. Para conceitos associados à intensidade da luz, frequência (cor da luz) e corrente gerada predominava a mediação psicofísica, frequentemente associada à transformação da luz das lâmpadas (ou cor das lâmpadas) em energia elétrica, conforme realizado em laboratório didático. Durante a entrevista eram evidenciados, nas falas e nos gestos, *drivers* que estabeleciam essa relação. Frequentemente esses *drivers* associavam o modelo internamente construído com eventos ocorridos durante o experimento. Ao responder à entrevista os estudantes demonstravam ter construído modelo mental produzido por *drivers* específicos que podem ser associados à mediação psicofísica. Esses resultados sugerem que o grupo investigado fazia uso de mediação psicofísica ao modelo mental associado à natureza macroscópica da luz.

Ao conceituar sobre frequência da luz em efeito fotoelétrico que também era observada a mediação psicofísica, predominava a mediação hipercultural, tanto na linguagem verbal quanto na linguagem gestual. E ao explicar o conceito de luz, especialmente quando se tratava da natureza corpuscular da luz, predominava a mediação hipercultural. Portanto, na entrevista, os estudantes podem ter construído modelo mental produzido por *drivers* específicos relativos à mediação e mediação hipercultural quando se reportavam ao modelo microscópico da luz.

Para todos os conceitos, as mediações social e/ou cultural sempre estavam associadas à mediação psicofísica ou hipercultural. Constantemente, eram observados, na fala dos estudantes, os termos “teoria” e “prática”, relacionados à mediação psicofísica e a hipercultural à prática e a mediação cultural à teoria.

Esse tópico nos leva a concluir que não houve um único processo de mediação, para cada conceito, que predominasse nas respostas dos estudantes. E, portanto, teorizar que podemos fazer uso de mais de um processo de mediação para construir *drivers* para um modelo de representação interna. Nesse caso, afirmar que não houve uma única forma de mediação mais ou menos eficaz na construção de um conceito, sendo que cada estudante aprende com diferentes mecanismos de mediação. Como não houve predomínio de um

processo específico de mediação para o ensino de efeito fotoelétrico, o uso de uma UEPS pode proporcionar bons resultados na aprendizagem dos conceitos.

✓ Indício de aprendizagem significativa por *drivers* de mediação externa

A união da TMC com a TAS em uma UEPS foi importante para a produção do material didático e ponto importante para avaliar a evolução nas respostas apresentadas por estudantes após ensino de conceitos relacionados à temática. Durante a entrevista constatou-se que os estudantes faziam uso de dois ou mais processos de mediação ao externar sua opinião a respeito da importância da metodologia utilizada na UEPS. Uma acadêmica, ao responder à entrevista e justificar a importância da metodologia, fazia uso dos quatro processos, relacionando cada um deles com os conceitos e explicando o fenômeno.

As mediações mediante uso da UEPS proporcionaram indícios de aprendizagem significativa dos conceitos em efeito fotoelétrico. Poderiam ser encontrados na comparação entre os momentos antes (pré-teste) e após (pós-teste), quando estabeleciam comparativos entre o que sabiam (subsunoeres) do modelo mental estruturado e/ou construído. Também foi possível observar essa evolução nas entrevistas, quando os estudantes também relacionavam seus conhecimentos prévios com os conceitos adquiridos.

Outros indícios podem justificar a ocorrência de aprendizagem significativa, como, por exemplo, os estudantes que realizaram a entrevista no final do semestre. Quando questionados sobre a prova, estes atribuíam às atividades desenvolvidas com a UEPS às notas ou conhecimentos para solução da mesma e, ainda, justificavam que antes do experimental não sabiam.

Quanto à interpretação dos gestos na entrevista, essencialmente importante para identificar os processos de mediação, é necessário destacar que essa é a primeira vez em que a análise gestual é utilizada para o estudo da temática efeito fotoelétrico em ensino da física, sendo de grande contribuição para a identificação dos processos de mediação responsáveis para a aprendizagem dos conceitos. O ensino de efeito fotoelétrico contempla modelos macro e microscópicos, especialmente, ao se tratar do quantum de luz.

✓ Inferências para pesquisas futuras

A tese é um estudo destinado a elaborar e implementar uma estratégia didática a partir de um referencial relativamente novo no ensino de ciências, em uma área da Física que, embora importante, não tem sido muito pesquisada. O estudo do efeito fotoelétrico com uso da tecnologia fotovoltaica pode ser um excelente incentivo ao ensino da Física Moderna e Contemporânea nos cursos de Engenharia. A Física quântica é pouco explorada em cursos de engenharia, especialmente, aos cursos onde essa pesquisa foi investigada.

A energia solar fotovoltaica tem se disseminado em todo o Planeta nas últimas décadas. Nas engenharias vem acompanhada de atributos profissionais, tecnológicos e sociais. Por intermédio dessa tecnologia os estudantes almejam oportunidades profissionais, pesquisas em inovações tecnológicas, eficiência energética, sustentabilidade e muitos outros atributos próprios do Engenheiro Civil e do Engenheiro Ambiental Sanitarista, como foi demonstrado nos resultados. Ainda que os resultados pareçam promissores, explicações alternativas podem ser encontradas e certamente outros estudos deverão ser feitos para validar os resultados aqui apresentados. Por conta disso, a tese propõe algumas inferências para pesquisas futuras.

A primeira se refere à avaliação, em longo prazo, da ocorrência ou não da aprendizagem significativa, quando os estudantes são submetidos a uma UEPS em efeito fotoelétrico. A segunda, à necessidade de ampliar as avaliações sobre a influência da mediação social no ensino e aprendizagem da temática, uma vez que em todas as atividades era possível o estudante atuar em grupos, proporcionando aprender com colegas e professor a partir da interação social com os mesmos, necessitando ser mais explorada essa relação durante a entrevista. A terceira, que a análise de conteúdos realizada na pesquisa bibliográfica, realizada na plataforma Mendeley, seja comparada à análise realizada com uso de *softwares* e recursos computacionais específicos para essa técnica. E, por último, como característica da pesquisadora desta pesquisa de tese, ampliar a pesquisa nos estilos de aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOV, A. V. *et al.* On modern high-power LEDs and their lighting application. **Light and Engineering**, v. 18, n. 3, p. 16-29, 2010.
- AMPESE, E. S.; REIS, M. A. F. Estudo de viabilidade para uso de painéis fotovoltaicos no bombeamento de água pluvial a ser armazenada em cisternas na universidade do contestado. in: SEMINÁRIO INTEGRADO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 5., **Anais [...]** Mafra: UnC, 2015.
- AMPESE, E. S.; REIS, M. A. F.; SERRANO, A. Uso de painéis fotovoltaicos como fonte de energia no aproveitamento de água da chuva para uso residencial. (ULBRA, Ed.)3º Encontro de Ciências em Educação para a Sustentabilidade. **Anais [...]**. Canoas: PPGECIM, 2018. Disponível em: <http://www.conferencias.ulbra.br/index.php/ceds/3eces/paper/view/10802>. Acesso em: 10 out. 2018.
- APPLEYARD, S. J. Simple photovoltaic cells for exploring solar energy concepts. **Physics Education**, v. 41, n. 5, p. 409-419, set. 2006.
- ARRUDA, S. de M.; FILHO, D. de O. T. Laboratório caseiro de física moderna. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, p. 390-395, 2004.
- AUSUBEL, D. P. **Educational Psychology: A Cognitive View**. Nova Iorque: Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D. P. **Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo**. México: Trillas, 1978.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 70. ed. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BOITIER, V.; CRESSAULT, Y. Characterization of photovoltaic generators. **European Journal of Physics**, v. 32, n. 3, p. 657-674, maio 2011.
- CARDOSO, S. O. de O.; DICKMAN, A. G. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 891-934, out. 2012.
- CIDEPE, C. I. de E. de E. E P. L. **Conjunto conversor de energia solar em elétrica com reostato e acumulador, carro e motor**. Canoas, [s.d.]. Disponível em: <http://www.cidepe.com.br/index.php/br/produtos-interna/conjunto-conversor-de-energia-solar-em-eletrica-com-reostato-e-acumulador-carro-e-motor-2139>. Acesso em: 04 dez. 2018.
- DARK, M. L. A photovoltaics module for incoming science, technology, engineering and mathematics undergraduates. **Physics Education**, v. 46, n. 3, p. 303-308, 2011.
- DEMMING, A. Solar harvest. **Nanotechnology**, v. 21, n. 49, p. 490201-490201, dez. 2010.
- DIDIŞ, N.; ERYILMAZ, A.; ERKOÇ, Ş. Investigating students' mental models about the

quantization of light, energy, and angular momentum. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 10, n. 2, p. 020127, 18 nov. 2014.

EBERHARDT, D. et al. Experimentação no ensino de Física Moderna: efeito fotoelétrico com lâmpada néon e LEDs. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 928-950, 2017.

EINSTEIN, A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. **Annalen der Physik**, v. 322, n. 6, p. 132-148, 1905.

ERICKSON, F. Qualitative methods in research on teaching. In: **Handbook of Research on Teaching**. Los Angeles: [s.n.], 1986. p. 119-161.

ESHACH, H. The Nobel Prize in the Physics Class: Science, History, and Glamour. **Science & Education**, v. 18, n. 10, p. 1377-1393, 14 out. 2009.

ESQUEMBRE, F. Computers in physics education. **Computer Physics Communications**, v. 147, n. 1-2, p. 13-18, 2002.

FALKOSKI, C.; REIS, M. A. F. Estudo de viabilidade na geração e utilização da energia solar fotovoltaica. Pesquisa Destaque. **Anais [...]** Mafra: Universidade do Contestado, 2015. Disponível em: http://www.unc.br/pesquisadestaque/Anais_Melhores_Pesquisa.pdf. Acesso em: 04 dez. 2018.

FALKOSKI, C.; REIS, M. A. F. Benefícios econômicos e ambientais da sustentabilidade energética na iluminação de ambientes externos. **Saúde Meio Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 117-125, 2016.

FELDMAN, B. J. An Introduction to Solar Cells. **The Physics Teacher**, v. 48, n. 5, p. 306-308, 2010.

FERREIRA, E. G. B.; DAMASIO, F.; RODRIGUES, A. A. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Fundamental Articulado com Conceitos de Física Clássica por meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 4, n. 1, p. 29-40, 2014.

FRANKLIN, A. Physics Textbooks Don't Always Tell the Truth. **Springer International Publishing**, v. 18, 2016.

GFROERER, T. Circuits in the Sun: Solar Panel Physics. **The Physics Teacher**, v. 51, n. 7, p. 403-405, 2013.

GINGRAS, Y. The Creative Power of Formal Analogies in Physics: The Case of Albert Einstein. **Science and Education**, v. 24, n. 5-6, p. 529-541, 2015.

GREAVES, C. The direct conversion of solar light energy into electricity. **Physics Education**, v. 5, p. 100, 1970.

GRECA, I. M.; FREIRE JÚNIOR, O. Does an Emphasis on the Concept of Quantum States Enhance Students' Understanding of Quantum Mechanics? **Science & Education**, v. 12, p. 541-557, 2003.

HALLIDAY, D.; RESNICH, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física, volume 4, Óptica e Física Moderna**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

JENKIN, J. G.; LECKEY, R. C. G.; LIESEGANG, J. The development of x-ray photoelectron spectroscopy: 1900-1960. **Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena**, v. 12, n. 1, p. 1-35, 1977.

JENKINS, T. A brief history of . . . semiconductors. **Physics Education**, v. 40, n. 5, p. 430-439, 2005.

JONES, D. G. C. Teaching modern physics-misconceptions of the photon that can damage understanding. **Physics Education**, v. 26, n. 2, p. 93-98, mar. 1991.

JUNG, W. Toward preparing students for change: A critical discussion of the contribution of the history of physics in physics teaching. **Science & Education**, v. 3, n. 2, p. 99-130, 1994.

KARTAL, O. *et al.* The Relationship between Students' Performance on Conventional Standardized Mathematics Assessments and Complex Mathematical Modeling Problems. **International Journal of Research in Education and Science**, 2015.

KLASSEN, S. An Ode to Imre Lakatos: Quasi-Thought Experiments to Bridge the Ideal and Actual Mathematics Classrooms. **Interchange**, v. 37, n. 1-2, p. 151-178, 2006.

KLASSEN, S. The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom. **Science and Education**, v. 20, n. 7, p. 719-731, 2011.

KLASSEN, S. *et al.* Portrayal of the History of the Photoelectric Effect in Laboratory Instructions. **Science and Education**, v. 21, n. 5, p. 729-743, 2012.

KÖRHASAN, N. D.; ERYILMAZ, A.; ERKOÇ, Ş. The influence of instructional interactions on students' mental models about the quantization of physical observables: a modern physics course case. **European Journal of Physics**, v. 37, n. 015701, p. 29, 2016.

KRAFTMAKHER, Y. Determination of the quantum efficiency of a light detector. **European Journal of Physics**, v. 29, n. 4, p. 681-687, 1 jul. 2008.

KRAGH, H. A Sense of History: History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory. **Science & Education**, v. 1, p. 349-363, 1992.

LAUTESSE, P. *et al.* Teaching Quantum Physics in Upper Secondary School in France: : 'Quanton' Versus 'Wave-Particle' Duality, Two Approaches of the Problem of Reference. **Science and Education**, v. 24, n. 7-8, p. 937-955, 2015.

MALGIERI, M.; ONORATO, P.; DE AMBROSIS, A. Teaching quantum physics by the sum over paths approach and GeoGebra simulations. **European Journal of Physics**, v. 35, n. 5, p. 055024, 1 set. 2014.

MASHHADI, A.; WOOLNOUGH, B. Insights into students' understanding of quantum physics : visualizing quantum entities. **European journal of physics**, v. 20, n. 6, p. 511-516, 1999.

MCKAGAN, S. B. *et al.* Developing and Researching PhET simulations for Teaching Quantum Mechanics. **American Journal of Physics**, v. 7, n. 4, p. 1-13, 2007.

MCKAGAN, S. B. *et al.* A research-based curriculum for teaching the photoelectric effect. **American Journal of Physics**, v. 77, n. 1, p. 87-94, jan. 2009.

MCKAGAN, S. B.; PERKINS, K. K.; WIEMAN, C. E. Design and validation of the quantum mechanics conceptual survey. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 6, n. 2, p. 1-17, 2010.

MEDEIROS, B. A. S. de; BARGHINI, A.; VANIN, S. A. Streetlights attract a broad array of beetle species. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 61, n. 1, p. 74-79, 2017.

MOLKI, A. Dust affects solar-cell efficiency. **Physics Education**, v. 45, n. 5, p. 456-458, 2010.

MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 921-944, 15 set. 1999.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: UnB, 1999a.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica. Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. **Anais [...]** Madrid: 2006.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: E.P.U., 1999b.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas-UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units–PMTU). **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011a.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas-Ueps. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011b.

MOREIRA, M. A. ¿Al final, qué es el aprendizaje significativo? **Revista Currículum**, n. 25, p. 29-56, 2012a.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa, Organizadores prévios, Mapas conceituais, Diagramas V e Unidades de ensino potencialmente significativas. **Revista Currículum, La Laguna**, v. 25, p. 29-56, 2012b.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. M. R. Cambio Conceptual: Análisis Crítico y Propuestas a La Luz de la Teoría del Aprendizaje Significativo. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 301-315, 2003.

MOREIRA, M. A.; ROSA, P. R. S. **Pesquisa em Ensino: Métodos Qualitativos e Quantitativos**. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/Subsidios11.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

MORGAN, M.; JAKOVIDIS, G.; MCLEOD, I. An experiment to measure the IV characteristics of a silicon solar cell. **Physics Education**, p. 252-254, 1994.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: UFMG, 2000.

NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES. **Global STEM Alliance (GSA)**. Disponível em: <https://www.nyas.org/programs/global-stem-alliance/>. Acesso em: 20 mar. 2018.

NIAZ, M. *et al.* Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. **Science Education**, v. 94, n. 5, p. 903-931, set. 2010.

OH, J. Y. Using an enhanced conflict map in the classroom (photoelectric effect) based on lakatosian heuristic principle strategies. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 9, n. 5, p. 1135-1166, 2011.

ÖZCAN, Ö. Investigating students' mental models about the nature of light in different contexts. **European Journal of Physics**, v. 36, n. 6, p. 065042, 1 nov. 2015.

PARANHOS, R. R. G.; LOPEZ-RICHARD, V.; PIZANI, P. S. Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 2008, p. 4502, 2009.

PARANHOS, R. R. G.; LOPEZ-RICHARD, V.; PIZANI, P. S. Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 4, p. 4502.1-4502.6, 2008.

PECEN, R. (REG); NAYIR, A. Promoting STEM to young students by renewable energy applications. **2010 Modern Electric Power Systems**, v. 13, n. 3, p. 1-8, 2010.

PEREIRA, A. P. de; CAVALCANTI, C. J. D. H.; OSTERMANN, F. Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v. 8, n. 1, p. 72-92, 2009.

RAMOS, A. de F. **Estudo do processo de internalização de conceitos de química usando software de modelagem molecular**. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.

RAUPP, D. T. D. **Alfabetização tridimensional, contextualizada e histórica no campo conceitual da estereoquímica**. [s.l.]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

REIS, M. A. F. **O uso de simulações computacionais no ensino de colisões mecânicas**. [s.l.] Ulbra, 2004.

REIS, M. A. F.; SERRANO, A. Historicidade do Efeito Fotoelétrico em Publicações Científicas da área de Ensino de Ciências. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 11., 2017. **Anais [...]**. Florianópolis: ABRAPEC, 2017a.

REIS, M. A. F.; SERRANO, A. Pesquisa bibliográfica em historicidade, conceitos e contextos na produção e transformação da luz com a teoria quântica. **Acta Scientiae**, v. 19, n. 3, p. 493-516, 2017b.

REIS, M. A. F.; SERRANO, D. A. N. A. Simulação de Colisões Dirigidas ao Ensino de Física. **Acta Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 7-19, 2002.

RICHARDS, A. J.; ETKINA, E. Kinaesthetic learning activities and learning about solar cells. **Physics Education**, v. 48, n. 5, p. 578, 2013.

ROAZZI, A. *et al.* Hipercultura e imagens mentais : A percepção ambiental da floresta amazônica a partir da teoria da mediação cognitiva. **Revista Amazônica**, v. 17, n. 1, p. 173-187, 2016.

ROGOVSKI, B.; REIS, M. A. F. Uso de filmes finos de silício em fachadas envidraçadas com estudo matemático da viabilidade econômica. (UnC/EMBRAPA, Ed.). In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2017, Concórdia. **Anais [...]** Concórdia: UnC, 2017. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/11jinc/docs/anais2017.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.

ROSE, M. A.; RIBBLETT, J. W.; HERSHBERGER, H. Employing the Experimental Method to Inform Solar Cell Design. **Journal of STEM Education**, v. 11, n. 5, p. 55-63, 2010.

SAGA, T. Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production. **NPG Asia Materials**, v. 2, n. 3, p. 96-102, 2010.

SALES, G. L. *et al.* Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 3501.1-3501.13, set. 2008.

SANTOS, G. P. dos; REIS JUNIOR, P.; REIS, M. A. F. Uso do LED na eficiência energética e na sustentabilidade da produção de aves. **Saúde & Meio Ambiente Revista interdisciplinar**, v. 8, p. 42-57, 2019.

SANTOS, G.; OTERO, M. R.; FANARO, M. DE LOS A. ¿ Cómo usar software de simulación en clases de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 1, p. 50-66, 2000.

SARK, W. G. J. H. M. VAN. Teaching the relation between solar cell efficiency and annual energy yield. **European Journal of Physics**, v. 28, n. 3, p. 415-427, 16 maio 2007.

SAWAYA, M. R. **Dicionário de Informática e Internet**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1999.

SCHÖNELL, R. **Estudo de viabilidade para instalação de tecnologia fotovoltaica em toldos**: Estudo de caso na Universidade do Contestado – Campus Concórdia. Concórdia: Universidade do Contestado, 2016.

SOKOLOWSKI, A. Teaching the photoelectric effect inductively. **Physics Education**, v. 48, n. 1, p. 35-41, jan. 2013.

SOUZA, A. P. G. de; CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE JÚNIOR, M. F. A física moderna e contemporânea na formação de engenheiros: a concepção de formadores. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 37, n. 1, p. 44-56, 2018.

SOUZA, B. C. DE. **A Teoria da Mediação Cognitiva**: Os impactos cognitivos da Hipercultura e da Mediação Digital. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

SOUZA, B. C. DE *et al.* Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test:

Evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in Human Behavior**, v. 28, n. 6, p. 2320-2330, nov. 2012.

SOUZA, B. C. de; SILVA, L. X. D. L.; ROAZZI, A. MMORPGS and cognitive performance: A study with 1280 Brazilian high school students. **Computers in Human Behavior**, v. 26, n. 6, p. 1564-1573, 2010.

STACHEL, J. (org.). **O ano miraculoso de Einstein - Cinco artigos que mudaram a face da física**. 2. ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

STEINBERG, R. N.; OBEREM, G. E.; MCDERMOTT, L. C. Development of a computer-based tutorial on the photoelectric effect. **American Journal of Physics**, v. 64, n. 11, p. 1370-1379, nov. 1996.

STEPHENS, A. L.; CLEMENT, J. J. Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 6, n. 2, p. 020122, 24 nov. 2010.

TAMPAKIS, C.; SKORDOULIS, C. The history of teaching quantum mechanics in Greece. **Science and Education**, v. 16, n. 3-5, p. 371-391, 2007.

TAO, P.-K.; GUNSTONE, R. F. The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 7, p. 859-882, 1999.

TAŞLIDERE, E. A Study Investigating the Effect of Treatment Developed by Integrating the 5E and Simulation on Pre-service Science Teachers' Achievement in Photoelectric Effect. **EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education**, v. 11, n. 5, p. 1-16, 26 set. 2015.

TREVISAN, R. *et al.* Peeking into their mental imagery: The Report Aloud technique in science education research. Espiando. **Ciência & Educação**, 2019. No prelo.

URJITA YAJNIK. The Conception of Photons – Part II. **Resonance**, v. 21, p. 49-69, January 2016.

VAN SOMEREN, M. W.; BARNARD, Y. F.; SANDBERG, J. A. **The think aloud method: A practical guide to modelling cognitive processes**. [s.l: s.n.], 1994.

WITTMANN, M. C.; STEINBERG, R. N.; REDISH, E. F. Investigating student understanding of quantum physics: Spontaneous models of conductivity. **American Journal of Physics**, v. 70, n. 3, p. 218-226, 2002.

WOLFF, J. F. D. S. **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 (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.

YAJNIK, U. A. The conception of photons - Part I. **Resonance**, v. 20, n. 12, p. 1085-1110, dez. 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA											
TÍTULO DO PROJETO: EFEITO FOTOELÉTRICO NA PRODUÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DA LUZ											
Área do Conhecimento: <i>Ensino de Ciências (Física)</i>						Número de Participantes:			Total: 40		
Curso: <i>Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática</i>						Unidade: <i>PPGECIM</i>					
Projeto Multicêntrico		<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Nacional	<input type="checkbox"/> Internacional		Cooperação Estrangeira		<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não	
Patrocinador da pesquisa: Mari Aurora Favero Reis											
Instituição onde será realizado: Universidade do Contestado											
Nome dos pesquisadores e colaboradores: Mari Aurora Favero Reis e Agostinho Serrano de Andrade Neto.											

Você está sendo convidado (a) para participar do projeto de pesquisa acima identificado. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Sua colaboração neste estudo será de muita importância para nós, mas se desistir, a qualquer momento, isso não causará nenhum prejuízo para você.

2. IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA				
Nome:			Data de Nasc.:	Sexo:
Nacionalidade:		Estado Civil:		Profissão:
RG:	CPF/MF:	Telefone:	E-mail:	
Endereço:				

3. IDENTIFICAÇÃO DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL				
Nome: Mari Aurora Favero Reis			Telefone: (49) 99954 0009	
Profissão: Professora de Física	Registro no Conselho Nº:		E-mail: mariaurorafavero@gmail.com	
Endereço: Rua Beira Rio nº 48, Bairro Jardim Tarumã, Xanxerê (SC). CEP 89820 000				

Eu, participante da pesquisa, abaixo assinado(a), após receber informações e esclarecimento sobre o projeto de pesquisa, acima identificado, concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário(a) e estou ciente:

1. Da justificativa e dos objetivos para realização desta pesquisa.

O efeito fotoelétrico é componente curricular de grande relevância no ensino da Física Moderna, pois é responsável por avanços em diversos campos da ciência. Nas aulas de Física, em cursos de Graduação em Engenharias, os conhecimentos subjacentes são responsáveis pela contextualização e exploração de um aparato de aplicações tecnológicas. Entre essa gama de aplicações, a geração de eletricidade por células fotovoltaicas, no viés da sustentabilidade energética, tem despertado interesse nos acadêmicos das Engenharias.

A produção e distribuição de energia elétrica tem se tornado um dos serviços mais importantes da sociedade moderna. A energia solar, teoricamente falando, é a maior fonte de energia disponível no Planeta, tornando-se alternativa promissora e atraente para o futuro energético. Essa necessidade de ampliação no uso da tecnologia tem repercutido nas aulas de Física Moderna na graduação, especialmente nos cursos de Engenharias. E, por conta disso, tem sido o contexto de aplicação deste projeto de tese.

No uso de recursos didáticos no ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico, estudos anteriores têm demonstrado que o contexto histórico tem se apresentado de modo não satisfatório em materiais de

instrução para o Ensino de Física no Ensino Superior, tanto nos livros didáticos (NIAZ *et al.*, 2010) como nos materiais de instrução para laboratório (KLASSEN *et al.*, 2012).

Quanto ao uso de tecnologias da informação em Ensino de Ciências, as simulações computacionais têm demonstrado resultados satisfatórios na construção de conceitos em colisões, por meio da Lei de Conservação de Energia (REIS, 2004; WOLFF, 2015). No ensino do efeito fotoelétrico na Engenharia, o uso de simulações computacionais também tem sido utilizado para explorar os conhecimentos prévios dos alunos e introduzir novos conceitos (CARDOSO; DICKMAN, 2012). Os autores acreditam que o uso de simulações computacionais pode proporcionar aos estudantes ganhos cognitivos, desde que sejam utilizadas consistentemente com uma teoria de aprendizagem. A integração destes processos (historicidade, conceito e contexto) tem sido utilizada para alfabetização tridimensional (RAUPP, 2015).

2. Do objetivo de minha participação.

A minha participação na pesquisa, terá como objetivo de interagir com as atividades propostas na pesquisa (através da UEPS) e apresentar a forma que conduziu a realização das atividades. Apresentar de forma clara o seu entendimento na compreensão do conteúdo apresentado durante as atividades.

3. Do procedimento para coleta de dados.

A intervenção ocorrerá na disciplina de Física III em nível de graduação, nas Engenharia Civil e Engenharia Sanitária Ambiental da Universidade do Contestado (UNC), onde contempla componentes curriculares para a Física Moderna. A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa será desenvolvida visando conhecimentos associados ao Efeito Fotoelétrico. A abordagem se dará através da construção do conhecimento a partir de eventos históricos, conceitos e contexto no uso do efeito fotoelétrico. Na UEPS, o contexto utilizado está em aplicações tecnológicas associadas à produção e transformação da luz, especialmente na produção de energia com células fotovoltaicas e LED, devido à relevância do mesmo nessas engenharias.

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são sequências didáticas fundamentadas na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. A proposta deve, segundo o autor, atender aos seguintes princípios:

- i. A aprendizagem deve ser significativa e crítica, centrada no aluno de modo a estimular a busca por respostas, possuir uma diversidade de materiais e estratégias;
- ii. o conhecimento prévio deve ser a principal variável a ser utilizada como parâmetro na evidência de aprendizagem;
- iii. o uso de organizadores prévios para auxiliar na relação entre os conhecimentos prévios na estrutura cognitiva do aprendiz e novos conceitos a serem aprendidos;
- iv. pensamentos, sentimentos e ações necessitam ser considerados;
- v. as situações-problemas, cuidadosamente selecionadas, apresentadas em nível crescente de complexidade, devem ser utilizadas para potencializar a pré-disposição à aprendizagem significativa.
- vi. a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora devem fazer parte da unidade de ensino;
- vii. o papel do professor é o de mediador, deve promover a captação e compartilhamento de significados entre estudante, professor e material educacional.

A intervenção com a unidade de ensino para este estudo, será realizada na disciplina de Física III, nos cursos de graduação em Engenharia, em um total de 16 horas/aulas (4 encontros). Durante as intervenções de aplicações dos instrumentos os estudantes poderão ausentar-se sempre que necessário, podendo continuar posteriormente as atividades.

Aula teórica (expositiva e dialogada), onde serão contemplados os seguintes conhecimentos:

- Fóton, o Quantum de Luz;
- Dualidade onda-partícula;
- Quantização da Carga Elétrica (Experimento de Millikan);
- Radiação do Corpo Negro;
- Efeito fotoelétrico;
- Efeito fotoelétrico em semicondutores.

Metodologia de Intervenção junto aos estudantes:

Etapa 1: Avaliação de conhecimentos prévios com uso de Pré-teste (Apêndice A);

Etapa 2 e 3: Organização do conhecimento;

Etapa 4: Atividades com uso de simulação computacional (Apêndice B);

Etapa 5: Problematização e integração das etapas anteriores através de atividades experimentais

em laboratório real de Física, a partir do uso de células solares (Apêndice C);

Etapa 6: Atividade resolução de problemas aplicados ao efeito fotoelétrico;

Etapa 7: Aplicações práticas do tema para a Engenharia, através de seminários;

Etapa 8: Avaliação da aprendizagem da UEPS através de aplicação de pós-teste e entrevistas, que serão realizadas a partir das respostas apresentadas pelos estudantes durante as intervenções (Pré e pós-teste).

Etapa 9: Prova Final.

4. Da utilização, armazenamento e descarte das amostras.

Os dados obtidos pelos processos metodológicos anteriormente citados serão analisados de modo qualitativo e quantitativo. As informações obtidas por meio do material utilizado nas intervenções (pré-teste, pós-teste, guias e entrevistas) serão transcritas para planilhas eletrônicas. As informações proporcionadas pelos acadêmicos, através questões e instrumentos utilizados, serão classificadas e categorizadas com base na análise de conteúdo. Todos os dados adquiridos, serão analisadas e armazenadas em forma de categorias e tabelas, que poderão definir respostas para outras formas de armazenamento. Os materiais acima mencionados serão utilizados apenas nessa pesquisa. Os acadêmicos assinarão um termo de consentimento, que participarão da pesquisa, de forma que suas identicações não serão reveladas durante e nem depois da conclusão da pesquisa. O armazenamento se dará por meio de tabelas, textos, gráficos e vídeos dos gestos (que serão descaracterizados da amostra). Não haverá retenção de amostras ou de documentos, porém devolvido aos seus respectivos autores (acadêmicos).

5. Dos desconfortos e dos riscos.

Diante das dificuldades que poderão surgir com os participantes durante a realização das atividades ou relacionadas com sua presença em todas as etapas. Neste caso os acadêmicos poderão desenvolver em outro momento, caso tenham interesse. Poderá o participante de ter a opção de não responder às perguntas a ele direcionado, deixando a questão em branco ou não participando da entrevista. Muito provável que desconfortos e riscos não ocorram, uma vez que a intervenção irá ocorrer em horário de aula, na disciplina de Física III.

6. Dos benefícios.

Os participantes serão beneficiados pelo acesso à outras possibilidades de conhecimento, metodologias ativas, novas tecnologias e de interação com atividades que os levarão a pesquisar outras possibilidades para resolver as atividades propostas nesta pesquisa. Agora com uma visão de benefícios para o meio acadêmico e sociedade, poderá adquirir os seguintes pontos: Como os estudantes desenvolvem suas aprendizagens; Conhecimentos e possibilidades de aprimoramento para as aulas de atividades experimentais; Acesso às tecnologias de interesse à engenharia, podendo relacionar Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM), movimento que vem se disseminando em todo o planeta.

7. Dos métodos alternativos existentes.

Não se aplica nessa pesquisa.

8. Da isenção e ressarcimento de despesas.

Não se aplica a esta pesquisa.

9. Da forma de acompanhamento e assistência.

Os participantes serão acompanhados pelo pesquisador, em todas as etapas da pesquisa, podendo intervir a qualquer momento na pesquisa através de explicações. Os participantes terão o direito de deixar de participar como colaborador a qualquer momento durante a pesquisa, não causando nenhum constrangimento a sua imagem. Nenhum participante será identificado por nome e imagem, sendo que, o nome do participante será atribuído um código privado e os vídeos descaracterizados, preservando o direito de imagem.

10. Da liberdade de recusar, desistir ou retirar meu consentimento.

Tenho a liberdade de recusar, desistir ou de interromper a colaboração nesta pesquisa no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação. A minha desistência não causará nenhum prejuízo à minha saúde ou bem-estar físico. Não virá interferir nos resultados e/ou continuidade da pesquisa a ser realizada.

11. Da garantia de sigilo e de privacidade.

Os resultados obtidos durante este estudo serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, desde que meus dados pessoais não sejam mencionados.

12. Da garantia de esclarecimento e informações a qualquer tempo.

Tenho a garantia de tomar conhecimento e obter informações, a qualquer tempo, dos procedimentos e métodos utilizados neste estudo, bem como dos resultados finais, desta pesquisa. Para tanto, poderei consultar o **pesquisador responsável Mari Aurora Favero Reis**. Em caso de dúvidas não esclarecidas de forma adequada pelo(s) pesquisador (es), de discordância com os procedimentos, ou de irregularidades de natureza ética poderei ainda contatar o **Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da ULBRA Canoas(RS)**, com endereço na Rua Farroupilha, 8001 – Prédio 14 – Sala 224, Bairro São José, CEP 92425-900 - telefone (51) 3477-9217, e-mail comitedeetica@ulbra.br.

Declaro que obtive todas as informações necessárias e esclarecimento quanto às dúvidas por mim apresentadas e, por estar de acordo, assino o presente documento em duas vias de igual conteúdo e forma, ficando uma em minha posse.

Canoas (RS), 03 de outubro de 2017.

Pesquisador Responsável pelo Projeto

Participante da Pesquisa e/ou Responsável

APÊNDICE B: INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS INICIAL (PRÉ-TESTE)



Curso: _____ Data: ____/____/2017

Código Privado: (_____) Nome: _____

INTRODUÇÃO ÀS QUESTÕES

Duas lâmpadas ligadas estão presas por um suporte sobre uma placa de silício (conforme figura ao lado). O silício é um semicondutor que se comporta como isolante até que haja uma fonte de energia externa capaz de "dar um impulso" em seus elétrons da banda de valência para a banda de condução, produzindo corrente. Quando as lâmpadas são ligadas, nos equipamentos de medição (Voltímetro e Amperímetro), foi possível verificar esse fato. A partir dessas informações e conhecimentos construídos na atividade, responda as questões a seguir:



01. Suponha que a **intensidade** do feixe de radiação seja aumentada (aproximando as lâmpadas do painel). Pode-se afirmar que a energia dos elétrons emitidos:

- (A) permanecerá inalterada.
- (B) aumentará imediatamente.
- (C) permanecerá inicialmente inalterado e, em seguida, aumentará gradualmente.
- (D) diminuirá imediatamente.
- (E) irá imediatamente a zero.

02. Suponha que a **frequência** do feixe de radiação seja aumentada, substituindo as lâmpadas incandescente pela fluorescente. Nesse caso o número de elétrons emitidos pode

- (A) permanecer inalterado.
- (B) aumentar gradualmente.
- (C) diminuir gradualmente.
- (D) permanecer inicialmente inalterado e, em seguida, diminuir gradualmente.
- (E) permanecer inicialmente inalterado e, em seguida, aumentar gradualmente.

03. Nas afirmações a seguir é possível afirmar que:

I. No experimento de efeito fotoelétrico, uma lâmpada incandescente projeta radiação na frequência infravermelho sobre um painel fotovoltaico. Essa energia luminosa é ineficiente no efeito fotoelétrico, devido à baixa frequência da radiação.

II. Se alterarmos a intensidade da luz, aumentaríamos o efeito fotoelétrico, aumentando a corrente.

III. Um feixe de luz cuja frequência é maior pode ser mais eficiente que uma luz de menor frequência no efeito fotoelétrico, quando direcionada sobre uma fotocélula.

- (A) Todas as afirmações estão corretas;
- (B) Somente I e II são corretas;
- (C) Somente II e III são corretas;
- (D) Somente I e III são corretas;
- (E) Somente a I é correta;

04. Qual o personagem da História da Ciência que recebeu o Prêmio Nobel pela contribuição à teoria quântica da Luz? Externe seus conhecimentos sobre o evento.

05. No quadro ao lado faça um esquema, semelhante ao da montagem do experimento. Represente nesse esquema a luz incidindo no painel e o efeito fotoelétrico.

06. Se a intensidade da luz na lâmpada for dobrada, o que observamos nos medidores? Por quê?



APÊNDICE C: INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS FINAL (PÓS-TESTES)



Curso: _____ Data: ____/____/2017
Código Privado: (_____) Nome: _____

INTRODUÇÃO ÀS QUESTÕES

Duas lâmpadas ligadas estão presas por um suporte sobre uma placa de silício (conforme figura ao lado). O silício é um semicondutor que se comporta como isolante até que haja uma fonte de energia externa capaz de "dar um impulso" em seus elétrons da banda de valência para a banda de condução, produzindo corrente. Quando as lâmpadas são ligadas, nos equipamentos de medição (Voltímetro e Amperímetro), foi possível verificar esse fato. A partir dessas informações e conhecimentos construídos na atividade, responda as questões a seguir:



02. Suponha que a **intensidade** do feixe de radiação seja aumentada (aproximando as lâmpadas do painel ou, no caso da simulação, aumentando a intensidade da luz incidente). Pode-se afirmar que a energia dos elétrons emitidos:

- (A) permanecerá inalterada.
- (B) aumentará imediatamente.
- (C) permanecerá inicialmente inalterado e, em seguida, aumentará gradualmente.
- (D) diminuirá imediatamente.
- (E) irá imediatamente a zero.

02. Suponha que a **frequência** do feixe de radiação seja aumentada, substituindo as lâmpadas incandescente pela fluorescente ou substituindo a lâmpada vermelha pela azul, neste caso a número de elétrons emitidos pode

- (A) permanecer inalterado.
- (B) aumentar gradualmente.
- (C) diminuir gradualmente.
- (D) permanecer inicialmente inalterado e, em seguida, diminuir gradualmente.
- (E) permanecer inicialmente inalterado e, em seguida, aumentar gradualmente.

03. Nas afirmações a seguir é possível afirmar que:

IV. No experimento de efeito fotoelétrico, uma lâmpada incandescente projeta radiação na frequência infravermelho sobre um painel fotovoltaico. Essa energia luminosa é ineficiente no efeito fotoelétrico, devido à baixa frequência da radiação.

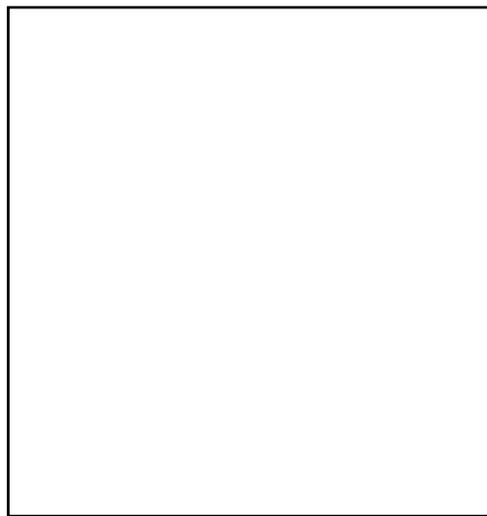
V. Se alterarmos a intensidade da luz, aumentaríamos o efeito fotoelétrico, aumentando a corrente.

VI. Um feixe de luz cuja frequência é maior pode ser mais eficiente que uma luz de menor frequência no efeito fotoelétrico, quando direcionada sobre uma fotocélula.

- (F) Todas as afirmações estão corretas;
- (G) Somente I e II são corretas;
- (H) Somente II e III são corretas;
- (I) Somente I e III são corretas;
- (J) Somente a I é correta;

04. Qual o personagem da História da Ciência que recebeu o Prêmio Nobel pela contribuição à teoria quântica da Luz? Externe seus conhecimentos sobre o evento.

05. No quadro ao lado faça um esquema, semelhante ao da montagem do experimento realizado no laboratório computacional ou no laboratório de Física. Represente nesse esquema a luz incidindo no painel e o efeito fotoelétrico.



06. Se a intensidade da luz na lâmpada for dobrada, independente da frequência da luz, o que observamos nos medidores de corrente? Por quê?

07. Qual (s) a (s) contribuição (es) que a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPES) proporcionou para sua formação acadêmica para a Engenharia?

APÊNDICE D: GUIA PARA USO DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS EM EF



Código Privado do Grupo: (____); (____).

Curso: _____

Data: __/__/2017

Observação: O nome será substituído pelo código privado.

ETAPA PREDIÇÃO.

Conforme vimos em aulas anteriores, a luz apresenta propriedades físicas como reflexão, refração, polarização e outras de características ondulatórias. Também verificamos que a luz, por vezes, se comporta como uma partícula. Como sabemos que a luz se comporta como uma partícula? Quando a luz brilha sobre uma superfície metálica polida, não oxidada, os elétrons podem ser ejetados do metal. Isso é o efeito fotoelétrico, que nos proporciona também a compreensão de como funciona certas tecnologias, como o Diodo Emissor de Luz (LED) ou uma calculadora movida a energia solar ou uma célula solar. E, nas células Solares fotovoltaicas, que convertem a energia da luz em energia elétrica.

Heinrich Hertz, em 1887, investigava a natureza eletromagnética da luz através de superfícies de metal em potenciais diferentes e observou que alguns materiais classificados como fotossensíveis, a luz pode movimentar os elétrons. No ano de 1905 Albert Einstein publicava a teoria do quantum de luz (fóton), teoria revolucionária para explicar o efeito fotoelétrico, que lhe concedeu o Prêmio Nobel de 1921.



Através desse guia você desenvolverá atividades experimentais com experimentos virtuais desenvolvidos por universidades conceituadas, de diferentes países, podendo conhecer o princípio quântico do efeito fotoelétrico, bem como a influência de variáveis no fenômeno físico explorado. Porém, inicialmente, vamos avaliar o que você já conhece sobre o tema.

a) Antes de realizar as atividades a seguir, descreva (através de fórmulas, desenhos, conceito ou gráficos) o que você sabe sobre o efeito fotoelétrico.

b) Qual sua opinião inicial sobre a influência do tipo de metal no efeito fotoelétrico?

ETAPA EXPERIMENTAÇÃO.

Atividade Experimental 1: Simulação do PhET, da Universidade do Colorado.

- a) Abra a simulação através do link <http://phet.colorado.edu/pt/simulation/legacy/photoelectric>
- b) Selecione o metal de “sódio” e o comprimento de onda a 400 nm. No menu Opções, selecione “Mostrar fótons”.
- c) Mova lentamente o controle da intensidade de 0% a 100%, observar e explique o efeito fotoelétrico.

d) Mova lentamente no controle do comprimento de onda do IR para a região do UV e observar os resultados. Anote suas observações e explique.

e) Para o sódio, qual o comprimento de onda mínimo (λ_0) para que ocorra o efeito fotoelétrico?

$$\lambda_0 = \text{_____ nm}$$

f) Através do comprimento de onda mínimo (λ_0), calcule a frequência mínima (f_0).

$$f_0 = \text{_____ Hz}$$

g) Calcule a energia de cada fóton. $E = \text{_____ J}$; _____ eV .

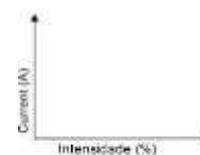
$$E_{\text{foton}} = f \cdot h \text{ onde}$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

h) Use a frequência (f_0), calcule a função trabalho do sódio (W_0). $W_0 = \text{_____ eV}$.

$$EK_{\text{max}} = f \cdot h - \phi$$

i) Para um comprimento de onda de 400 nm, verifique a corrente quando a intensidade da luz for de 50%, $i = \text{_____ A}$ e quando a intensidade for 100%, $i = \text{_____ A}$. Represente no gráfico ao lado.



j) Se o comprimento de onda for para 700nm, qual será a corrente quando a intensidade for 50% ($i = \text{_____ A}$) e quando a intensidade for 100% ($i = \text{_____ A}$). Represente no gráfico ao lado.



k) Altere o metal fotossensível e, para cada caso, encontre o comprimento de onda para que inicie o efeito fotoelétrico e preencha os dados na tabela abaixo.

Metal	λ limite nm	f (limite) Hz	E_{foton} (eV)	ϕ (eV)	E_K (eV)
Zinco					
Cobre					
Platina					
Cálcio					
??? (Misterioso)					

l) Defina o comprimento de onda para um valor em que ocorre corrente elétrica. Qual será o valor da tensão a ser atribuído na bateria para que essa corrente vá a zero?

$$\lambda_0 = \text{_____ nm}; i = \text{_____ A}; V = \text{_____ V}.$$

Atividade Experimental 2: Experimento realizado por Lenard e Millikan para demonstrar o efeito fotoelétrico.

a) Abra a simulação dessa atividade através do link http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/photoelectric/photoelectricEffect.swf

b) Luz que brilha com uma frequência, $f = 6,67 \times 10^{14}$ Hz (ou $\lambda = 450$ nm), para uma superfície de metal de sódio, produz um fluxo fotoelétrico, conforme demonstra a simulação. Mantendo todas as variáveis constantes, exceto o tipo de luz, mova o cursor sobre o espectro eletromagnético para várias frequências, de IV a UV. O que houve?

c) Determinar a menor frequência de luz que ainda produz fotoelétrons no sódio.

$\lambda_0 =$ _____ nm e $f_0 =$ _____ Hz

a) No menu Opções, escolha outros metais e repita o procedimento.

Metal	λ_{limite} nm	f (limite) Hz

e) Qual dos metais irá apresentar o efeito fotoelétrico com menor frequência?

Metal: _____ $\lambda_0 =$ _____ nm e $f_0 =$ _____ Hz

f) E com a maior frequência?

Metal: _____ $\lambda_0 =$ _____ nm e $f_0 =$ _____ Hz

g) Mantendo a tensão no zero, para qualquer metal e frequência abaixo do limite, altere a intensidade (na parte inferior da tela) de 0,5 para 1. Repita o procedimento com a frequência acima do limite mínimo. Descreva o resultado observado.

h) De acordo com a hipótese de Einstein, a luz é composta de quanta de energia, que chamamos de fótons, utilizado a simulação, relacione a intensidade da luz com a emissão de fótons.

i) Mova lentamente o controle da tensão e observe o que ocorre com os fótons. A intensidade interfere em parar os fótons?

j) Escolha um material, defina a frequência um pouco superior ao limite para o metal, definindo tensão zero e intensidade 0,5. Aumente lentamente a tensão até a corrente zerar. Clique em “Record Data”, observando os resultados em “Options”, na opção “Evidence” em até 12 alterações de frequência. Para o potencial zerar a corrente depende da intensidade ou da frequência?

l) Relacione tensão com energia cinética máxima. E energia cinética máxima com frequência da luz incidente.

Atividade Experimental 3: Da Universidade do Texas.

a) Abra a simulação desenvolvida pela Universidade do Texas através do link <https://ch301.cm.utexas.edu/simulations/photoelectric/PhotoelectricEffect.swf>

b) Através de dois cliques nas placas, selecione o metal sódio. Na cor azul, altere a intensidade da luz e verifique qual a diferença no efeito fotoelétrico (de 0% a 100%). Utilize a representação da onda para realizar a alteração.

c) Para cada material, verifique a cor (frequência) para que ocorra o efeito fotoelétrico.

Sódio: _____; Zinco: _____; Cobre: _____

Platina: _____; Cálcio: _____

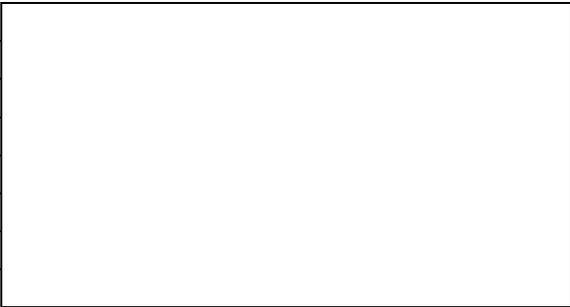
d) Qual dos materiais, disponíveis na simulação, é mais fotossensível? Justifique:

ETAPA EXPLICAÇÃO

1) A energia cinética máxima dos elétrons depende do comprimento de onda da luz incidente? A energia cinética máxima dos elétrons depende da intensidade luz incidente? Justifique:

2) Qual dos materiais utilizados na superfície de incidência da luz, nos experimentos realizados, foi mais fotossensível?

3) Após realizar as atividades desse guia, descreva (através de fórmulas, desenhos, conceito ou gráficos) o que você sabe sobre o efeito fotoelétrico.



APÊNDICE E: GUIA PARA EXPERIMENTOS EM LABORATÓRIO REAL DE EF



Curso: _____ Data: __/__/2017 Código Privado: (_____)
Observação: O nome será substituído pelo código privado.

INTRODUÇÃO

Na aula anterior, nas atividades com simulações computacionais, você verificou a transformação da luz em corrente, a partir do efeito fotoelétrico em semicondutores. Nessa aula experimental realizaremos alguns experimentos que irão proporcionar conhecimentos sobre o efeito fotovoltaico, na transformação da luz em energia elétrica, através de células de silício em um painel fotovoltaico. As primeiras observações do efeito fotoelétrico remontam ao início do século XIX e a teoria que melhor explica o fenômeno foi esclarecida por Albert Einstein em 1905. A manifestação da quantização ocorre na excitação de elétrons, de modo a serem ejetados para a banda de valência do material, produzindo o que chamamos o efeito fotocondutor ou fotovoltaico (DEMMING, 2010).

O silício é um semicondutor que se comporta como isolante até que haja uma fonte de energia externa capaz de "dar um impulso" em seus elétrons da banda de valência para a banda de condução, produzindo corrente. Neste contexto, o coração de uma célula solar é a junção p-n, onde o semicondutor do tipo n (com elétrons livres) e o semicondutor p (com falta de elétrons, buracos) estabelecem uma ddp entre os terminais da célula. E, quando o silício absorve a luz (o efeito fotoelétrico interno), os pares elétron-buraco produzem um campo elétrico da junção p-n, resultando em corrente elétrica.

As células fotovoltaicas comumente são produzidas por silício monocristalino, silício amorfo ou policristalino, conforme serão apresentadas nos seminários no final da disciplina. A fonte de energia utilizada nesse processo é a radiação solar, onde a energia luminosa é transformada em eletricidade. Por se tratar de aulas noturnas iremos utilizar a energia da luz artificial para a realização das atividades.

I. ETAPA PREDIZER: TESTANDO SEUS CONHECIMENTOS SOBRE GERADOR FOTOVOLTAICO

1. O que você sabe sobre:

a) O efeito fotovoltaico, utilizado na geração de energia pelo painel.

b) Relacione a aplicação prática na engenharia:

c) Como ocorre as transformações de energia a ser realizadas (luminosa em eletricidade; eletricidade em mecânica):

2. Após responder as questões anteriores, hora de descreva sobre a estrutura básica do gerador por células fotovoltaicas que está sendo utilizado nesta aula:

a) Potência máxima a ser gerada pelo painel: _____

b) Número de células fotovoltaicas que compõem o painel: _____

II. ETAPA EXPERIMENTAÇÃO

EXPERIMENTO 1: Transformação da luz de diferentes lâmpadas em energia elétrica.

- Com o experimento montado previamente pelo professor (conforme a figura ao lado), prenda as lâmpadas na haste do painel a uma altura inicial de 500mm do painel, sem inclinação da placa (sob as lâmpadas).
- Observe a intensidade luminosa da lâmpada (lm) e anote na tabela.
- Ajuste os medidores, o amperímetro (escala 200 mA CC) e voltímetro (escala 20 VCC).
- Aceda as lâmpadas e observe se o disco está girando.
- Observe os medidores e anote os valores máximos observados.
- Calcule, para os valores de tensão e corrente observadas, a potência gerada para cada caso analisado.
- Repita o procedimento com lâmpadas fluorescentes;
- E com lâmpadas de LED.



CARACTERÍSTICAS DA LÂMPADA	MEDIR			CALCULAR	
	Intensidade luminosa (lm)	v (V)	i (A)	R (Ω)	P (W)
Incandescente 60W					
Fluorescente compacta de 14 W					
LED de 9W					

EXPERIMENTO 2: Transformação da luz de lâmpadas coloridas em energia elétrica.

- No experimento ainda montado, com as lâmpadas na haste do painel a uma altura inicial de 500mm do painel, sem inclinação da placa (sob as lâmpadas).
- Observe a intensidade luminosa (lm) de cada lâmpada, conforme indicação do fabricante e anote na tabela.
- Ajuste os medidores, o amperímetro (escala 200 mA CC) e voltímetro (escala 20 VCC).
- Aceda as lâmpadas e observe se o disco está girando.
- Observe os medidores e anote os valores máximos observados.
- Calcule, para os valores de tensão e corrente observadas, a resistência e potência gerada para cada caso analisado.
- Repita o procedimento com as demais lâmpadas, conforme a tabela.

CARACTERÍSTICAS DA LÂMPADA	MEDIR			CALCULAR	
	Intensidade luminosa (lm)	v (V)	i (A)	R (Ω)	P (W)
2 Vermelha - 14W					
2 Branca 14 W					
Vermelha 26 W					
Azul 26 W					

II. ETAPA EXPLICAÇÃO

1) Explique os resultados das atividades realizadas no experimento, relacionando os diferentes tipos de lâmpada em relação:

a) A eficiência luminosa;

b) Resistência;

c) Potência gerada em cada experimento:

2) Quais das variáveis foram mais significativas nesse resultado: Intensidade ou frequência da radiação incidente? Explique.

3) Explique qual a relação entre tipo de radiação emitida pela lâmpada versus ocorrência do efeito fotoelétrico?

4) O que você concluiu após a realização destes experimentos? Compare sua previsão inicial como o observado nos experimentos.

APÊNDICE F – EXERCÍCIO SOBRE EFEITO FOTOELÉTRICO

PERGUNTAS

1. (a) Qual a origem do termo Física Quântica? (b) O que é um fóton?
2. O que faz uma estrela brilhar?
3. Explique, de forma teórica, as seguintes aplicações práticas da Física Quântica: (a) os transístores utilizados na microeletrônica? (b) O LED? (c) E o laser?
4. O que estas tecnologias têm em comum?
5. Qual a contribuição de Planck e de Einstein para estas descobertas?
6. (a) Como calculamos a quantidade de energia emitida por fóton de luz? (b) Emite mais energia os fótons emitidos por uma lâmpada de cor verde ou uma lâmpada de cor vermelha. Justifique.
7. A energia cinética máxima dos elétrons ejetados é maior para o alvo fito de sódio ou de potássio, supondo que a frequência da luz incidente é a mesma nos dois casos? (b) Justifique utilizando os dados do slide 11.
8. Explique o que é efeito fotoelétrico?
9. Uma placa metálica é iluminada com luz de uma certa frequência. A existência do efeito fotoelétrico depende (a) Da intensidade da luz? (b) Do tempo de exposição da luz? (c) Da condutividade térmica da placa? (d) Da área da placa? (e) Do material da placa?

PROBLEMAS

1. Um feixe de luz monocromática tem frequência $f = 5,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Calcule a energia de um fóton desse feixe, em (a) joule e (b) elétron-volt.
2. Para que a prata exiba o efeito fotoelétrico é necessária uma frequência mínima $f = 1,14 \times 10^{15} \text{ Hz}$ (frequência de corte). (a) Calcule a energia mínima para “arrancar” um elétron de uma placa de prata. (b) Quando uma radiação de frequência $f = 2 \times 10^{15} \text{ Hz}$ atinge uma placa de prata, qual a máxima energia cinética dos elétrons emitidos? (c) Para a situação do item b, qual a velocidade máxima dos elétrons emitidos? (Dado: massa do elétron $m = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$).
3. O espetáculo da queima de fogos envolve diversos fenômenos físicos. (a) Cite as formas de energia responsáveis pela percepção das pessoas que observam a explosão de fogos no ar. (b) No alto, os fogos produzem fragmentos incandescentes que brilham. Considerando o modelo de Bohr, para a emissão da radiação pelos átomos, explique essa emissão momentânea da luz. (c) O colorido é produzido pela presença de diferentes substâncias da mistura que compõem o

explosivo, conforme a tabela abaixo. Calcule a energia dos fótons emitidos e coloque as substâncias em ordem crescente de energia.

SUBSTÂNCIA	COR	ENERGIA
cobre	verde	
cobalto	azul	
lítio	vermelho	
potássio	violeta	
sódio	amarelo	

4. Quantos fótons o Sol emite por segundo? Para simplificar o cálculo, supondo que a potência luminosa emitida pelo Sol é constante e igual a $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$, e que toda essa radiação é emitida no comprimento de onda 550 nm.

5. A luz amarela de uma lâmpada de vapor de sódio usada em iluminação pública é mais intensa em um comprimento de onda de 589 nm. Qual a energia dos fótons com esse comprimento de onda?

6. A função trabalho do tungstênio é 4,50 eV. Calcule a velocidade dos elétrons mais rápidos ejetados em uma superfície de uma placa de tungstênio quando fótons com energia de 5,8 eV incide na placa.

7. Calcule: (a) A energia cinética máxima dos elétrons ejetados no alvo de sódio e de potássio, supondo que a frequência da luz incidente é a mesma nos dois casos? (b) Justifique com cálculo (Utilize os dados dos slides 10 e 11).

ANEXO

ANEXO I: PARECER FINAL DA APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA

PLATBR - Comunicado de Início de Projeto Entrada x

 Equipe Plataforma Brasil <plataformabrasil@saude.gov.br> 27/09/2017   

 para mim ▾

Sr. (a) Pesquisador (a),

O projeto EFEITO FOTOELÉTRICO NA PRODUÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DA LUZ com número CAAE 66848617.6.0000.5349, tem data de início prevista para 26/09/2017. Esta mensagem é meramente informativa e baseada na data da primeira etapa descrita no cronograma aprovado. Por favor, ignore-a se não fizer sentido para a corrente situação do projeto de pesquisa.

Atenciosamente,

Plataforma Brasil

www.saude.gov.br/plataformabrasil

plataformabrasil@saude.gov.br