

# **UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓSGRADUAÇÃO EM ENSINO DE

CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



## **MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ESTUDO DE GASES IDEAIS E REAIS**

**OSVALDO BALEN**

**ORIENTADOR: PROF. DR PAULO AUGUSTO NETZ**

Canoas, 2004.

**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓSGRADUAÇÃO ENSINO DE  
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO  
ESTUDO DE GASES IDEAIS E REAIS**

**OSVALDO BALEN**

**ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO AUGUSTO NETZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós -  
Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da  
Universidade Luterana do Brasil para obtenção do  
título de mestre em Ensino de Ciências e  
Matemática.

Canoas, 2004.

À minha esposa Marilva e aos meus filhos Fabiano e Gustavo,  
pelo amor, carinho, apoio, compreensão e estímulo que me  
ofereceram, dedico essa conquista com gratidão..

Aos meus pais pelo incentivo dado aos meus estudos e  
formação.

## AGRADECIMENTO

Agradeço

Ao Professor Dr. Paulo Augusto Netz, pela orientação, estímulo, compreensão e apoio durante a elaboração deste trabalho.

A todos os professores e colegas do mestrado que, de alguma forma contribuíram para a minha capacitação e realização deste trabalho.

Aos colegas do Departamento de Química e Física da Universidade de Caxias do Sul pelo apoio e estímulo dados durante minha capacitação e a realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Química e Departamento de Química e Física da Universidade de Caxias do Sul, que atuam na disciplina de Termodinâmica; ao professor Dr. Paulo Augusto Netz por cederem suas turmas para a aplicação dos instrumentos de coleta de dados utilizados no projeto.

Aos estudantes dos cursos de Licenciatura Plena em Química, Bacharelato em Química, Engenharia Química, Engenharia Mecânica e Tecnologia em Automação Industrial que participaram das atividades propostas.

“Acho que a única solução para o problema da educação é perceber que o melhor ensino só pode ser praticado quando há uma relação direta entre o estudante e o professor – uma situação em que o estudante discute as idéias, pensa sobre as coisas e fala sobre elas. É impossível aprender muito apenas sentado em uma sala de aula, assistindo e ouvindo a exposição ou mesmo resolvendo os problemas propostos. Mas, em nossos tempos modernos, temos tantos alunos aos quais ensinar, que precisamos tentar encontrar um substituto para o ideal”.

Richard P. Feynman

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

B183m Balen, Osvaldo.

Modelagem e simulação computacional no estudo de gases ideais e reais /  
Osvaldo Balen. – 2004.  
154 f. : il. + anexos

Dissertação (mestrado) – Universidade Luterana do Brasil, Programa de Pós-  
Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, 2004.  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Augusto Netz.

1. Química. 2. Física. 3. Gases ideais. 4. Gases reais. 5. Método de ensino.  
6. Modelagem. 7. Simulação computacional. I. Netz, Paulo Augusto (Orient.). II.  
Título.

CDD: 533

CDU: 533

Bibliotecária Responsável: Simone Bittencourt – CRB -

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar a utilização da modelagem e da simulação computacional no ensino dos gases ideais e gases reais. O referencial teórico adotado está baseado nas concepções alternativas, nas idéias do perfil conceitual apresentado pelos alunos e na aprendizagem significativa. A questão básica da pesquisa é verificar se o uso da modelagem e da simulação computacional possibilita a aprendizagem dos conceitos e a capacidade de articulação entre os níveis de representação macroscópico, microscópico e simbólico. No trabalho a modelagem e a simulação foram desenvolvidas utilizando o *software Modellus*, aplicada mediante o uso de um guia tutorial construído dentro da estratégia de ensino P.O.E. A modelagem e a simulação foram desenvolvidas tendo em vista as concepções alternativas e a dificuldade dos estudantes observadas em estudos descritos na literatura.

A aplicação da proposta foi efetuada em turmas dos cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia Química e Licenciatura Plena em Química da UCS, em turmas dos cursos de Bacharelato e Licenciatura em Química da ULBRA e UNILASSALE, no segundo semestre de 2002 e no primeiro semestre de 2003. Para uma turma de Engenharia Mecânica e Engenharia Química e de Licenciatura Plena em Química da UCS foi aplicado um teste após o estudo dos gases em aula expositiva, que serviu como grupo de comparação. Para o restante das turmas foram aplicados três instrumentos de coleta de dados – Pré-teste, Tutorial e Pós-teste. As questões constantes dos testes foram elaboradas levando-se em consideração as concepções dos estudantes documentadas na literatura.

Na análise dos instrumentos de coleta de dados, inicialmente foi realizada a classificação das respostas de acordo com o nível de compreensão específico, e uma posterior quantificação (em escala ordinal) desses resultados. Foi realizada a análise qualitativa identificando-se o perfil conceitual dos estudantes e o seu nível de compreensão dos conceitos. Também foi realizada a análise quantitativa dos resultados utilizando-se a estatística descritiva e testes não-paramétricos. De modo genérico, as análises quantitativa e qualitativa mostraram que a metodologia adotada proporcionou evolução conceitual, apresentando melhores resultados nos níveis simbólico e macroscópico no grupo experimental.

Palavras-Chave: modelagem e simulação computacional – concepções alternativas – perfil conceitual - aprendizagem significativa – estratégia P.O.E

## **ABSTRACT**

The present work aims at investigating the use of modeling and computer simulation for teaching both ideal and real gases. The theoretical referential adopted was based on alternative conceptions and the conceptual profile ideas presented by the students and meaningful learning. The research basic issue was evaluating whether the use of modeling and computer simulation enables the learning of concepts and articulation capacity among the macroscopic, microscopic and symbolic representation levels. For the purpose of this work, a Modellus software was used by means of a tutorial guide built in accordance with P.O.E. teaching strategy for developing both modeling and simulation. Modeling and simulation were developed making use of alternative conceptions as well as the students difficulties observed by means of literary descriptive studies.

The proposal application was carried out on the second term of 2002 and the first term of 2003 for Engineering and Chemistry students of UCS, and Chemistry students from ULBRA and UNILASSALE. One of the Engineering and Chemistry groups from UCS served as control group after having a class about the study of gases and a subsequent test. Three data collection tools were used for the remaining groups – Pre-Test, Tutorial and Post-Test. The questions for the tests took into account the students' conceptions documented in books.

Initially, in analyzing the data collection tools, a classification of answers in accordance with the specific understanding level was carried out. Then, a posterior quantifying of results (ordinal scale) took place. The qualitative analysis was made by identifying the student's conceptual profiles and their understanding levels of such concepts. Descriptive statistics and non-parametric tests were utilized for elaborating the quantitative analysis of the results. In general, both quantitative and qualitative analysis have shown that the adopted methodology has promoted conceptual evolution, leading to better results at both symbolic and macroscopic levels in the experimental group.

**Key words:** modeling and computer simulation – alternative conceptions – conceptual profile - meaningful learning – P.O.E. strategy.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	18
2.1 Concepções alternativas dos estudantes	18
2.2 Mudança conceitual	21
2.3 Perfil conceitual	25
2.4 Aprendizagem significativa	29
2.5 Aprendizagem significativa e modelos mentais	31
2.6 Uma estratégia de ensino: predizer-observar-explicar	34
3 AS TECNOLOGIAS E O ENSINO DE CIÊNCIAS	36
3.1 Modelagem e simulação no ensino de ciências	36
3.2 Classificação de softwares para o ensino de física e química	38
3.3 A utilização de um ambiente computacional no uso da estratégia P.O.E.	43
3.4 Considerações pedagógicas	45
3.5 O uso da computação para a aprendizagem significativa	47
4 COMPORTAMENTO DOS GASES	50
4.1 Visão histórica	50
4.2 Teoria dos gases ideais	52
4.3 Teoria dos gases reais	55
5 APLICAÇÕES DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	59
5.1 A compreensão do comportamento dos sistemas gasosos	59
5.2 Modelagem e simulação no ensino de física e química	61
5.3 Descrição da modelagem e simulação de sistemas gasosos	63
5.4 O uso do Modellus na estratégia P.O.E.	64
6 METODOLOGIA E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	67
6.1 Características da metodologia utilizada	67
6.2 Instrumentos utilizados na coleta de dados	71
6.2.1 O pré-teste e o pós-teste	71
6.2.2 Características do guia para a execução dos experimentos	72
6.3 O teste piloto	76
6.4 Caracterização da amostra	77
6.5 Caracterização dos instrumentos de coleta de dados	78
6.6 Caracterização dos conceitos investigados	79

7 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS	87
7.1 Caracterização do perfil dos estudantes que compõem a amostra investigada	87
7.2 Identificação do perfil conceitual dos alunos	88
7.2.1 Análise das respostas dadas pelo grupo C para as questões 1 e 2 após a aula expositiva sobre os gases	89
7.2.2 Análise das respostas dadas pelo grupo experimental A para as questões 1 e 2 dos testes aplicados antes e depois da aplicação do tutorial	94
7.3 Análise estatística dos resultados	107
7.3.1 Comparação dos resultados entre o pré-teste e o pós-teste após a aplicação do tutorial para o grupo A	107
7.3.2 Comparação dos resultados entre o pré-teste e o pós-teste após a aplicação do tutorial para o grupo B	111
7.3.3 Comparação dos resultados do pré-teste e do pós-teste entre os grupos A e B	115
7.3.4 Comparação dos resultados do teste aplicado ao grupo C, após a aula expositiva.	119
7.3.5 Comparação da média do desempenho dos grupos A, B e C	120
7.3.6 Correlação entre os resultados do pré-teste e do pós-teste para os grupos A e B relacionados ao conceito C6-Interações e não idealidade: o volume molar da água nas CNTP	121
7.4 Auto-avaliação dos estudantes em relação ao seu desempenho nas atividades	122
7.5 Análise qualitativa dos testes	123
7.5.1 Conceito C1 – Efeito da temperatura na pressão do sistema gasoso	124
7.5.2 Conceito C2 – O efeito da temperatura na distribuição das posições das moléculas de um gás	126
7.5.3 Conceitos C3 – Interações intermoleculares e comportamento macroscópico dos gases – C4 – efeito da pressão no volume e vice-versa.	129
7.5.4 Conceito C5 – Traçado das isotermas dos gases	131
7.5.5 Conceito C6 – Interações e idealidade – o volume da água nas CNTP e o gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais	136
7.6 Perfil da evolução da aprendizagem dos alunos dos grupos A e B	139
CONCLUSÃO	141
PERSPECTIVAS FUTURAS	145
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
ANEXOS	155

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Isotermas de um gás ideal	55
Figura 2	Isotermas de um gás de Van der Waals	58
Figura 3	Níveis de representação molecular de um sistema gasoso	60
Figura 4	Janelas do Modellus	65
Figura 5	Resposta do aluno JFC para a questão 1	91
Figura 6	Resposta do aluno VaLi para a questão 1	91
Figura 7	Resposta do aluno YuFe para a questão 1	92
Figura 8	Resposta do aluno JFC para a questão 2	92
Figura 9	Resposta do aluno VaLi para a questão 2	93
Figura 10	Resposta do aluno Yufe para a questão 2	93
Figura 11a	Resposta do aluno EL para o conceito 1 no pré-teste	95
Figura 11b	Resposta do aluno EL para o conceito 1 no pós-teste	96
Figura 12a	Resposta do aluno LRO para o conceito 1 no pré-teste	96
Figura 12b	Resposta do aluno LRO para o conceito 1 no pós-teste	97
Figura 13a	Resposta do aluno DM para o conceito 1 no pré-teste	97
Figura 13b	Resposta do aluno DM para o conceito 1 no pós-teste	98
Figura 14a	Resposta do aluno FaM para o conceito 1 no pré-teste	98
Figura 14b	Resposta do aluno FaM para o conceito 1 no pós-teste	99
Figura 15a	Resposta do aluno CAC para o conceito 2 no pré-teste	100
Figura 15b	Resposta do aluno CAC para o conceito 2 no pós-teste	101
Figura 16a	Resposta do aluno EL para o conceito 2 no pré-teste	101
Figura 16b	Resposta do aluno EL para o conceito 2 no pós-teste	102
Figura 17a	Resposta do aluno LRO para o conceito 2 no pré-teste	102
Figura 17b	Resposta do aluno LRO para o conceito 2 no pós-teste	103
Figura 18a	Resposta do aluno RG para o conceito 2 no pré-teste	103
Figura 18b	Resposta do aluno RG para o conceito 2 no pós-teste	104
Figura 19a	Resposta do aluno DM para o conceito 2 no pré-teste	104
Figura 19b	Resposta do aluno DM para o conceito 2 no pós-teste	105
Figura 20a	Resposta do aluno LB para o conceito 2 no pré-teste	105
Figura 20b	Resposta do aluno LB para o conceito 2 no pós-teste	106
Figura 21a	Resposta do aluno CAC para a questão 6 no pré-teste	132
Figura 21b	Resposta do aluno CAC para a questão 5 no pós-teste	132
Figura 22a	Resposta do aluno DM para a questão 5 no pré-teste	134
Figura 22b	Resposta do aluno DM para a questão 5 no pós-teste	134
Figura 23a	Resposta do aluno MeLo para a questão 5 do pré-teste	135
Figura 23b	Resposta do aluno MeLo para a questão 5 do pós-teste	136

## TABELAS

Tabela 1	Categorização dos conceitos investigados	86
Tabela 2	Características do perfil dos estudantes	88
Tabela 3	Identificação do perfil conceitual dos estudantes do grupo C expresso nas questões 1 e 2	90
Tabela 4	Identificação do perfil conceitual dos estudantes do grupo A expresso na questão 1	94
Tabela 5	Identificação do perfil conceitual dos estudantes do grupo A expresso na questão 2	99
Tabela 6	Teste de Wilcoxon para comparação entre pré-teste e pós-teste do grupo A que realizou a atividade de simulação computacional	108
Tabela 7	Teste de Wilcoxon para comparação entre pré-teste e pós-teste do grupo B que realizou a atividade de simulação computacional	112
Tabela 8	Teste de Wilcoxon para comparação entre o pré-teste e o pós-teste aplicados ao grupo AB	115
Tabela 9	Médias de compreensão dos conceitos pelo grupo C após o estudo dos conceitos associados aos gases em aula expositivo-dialogada	120
Tabela 10	Quadro comparativo das médias obtidas nos testes aplicados aos grupos A,B e C	120
Tabela 11	Teste de Wilcoxon para comparação das respostas do grupo AB na questão associada ao conceito C6	122
Tabela 12	Resultados do questionário de validade da metodologia adotada	123
Tabela 13	Perfil da evolução da aprendizagem dos alunos dos grupos A e B	140

## GRÁFICOS

Gráfico 1	Interações intermoleculares e comportamento macroscópico de um gás	109
Gráfico 2	Efeito da pressão no volume – diferenças entre gás ideal e gás real	109
Gráfico 3	Construção de isotermas de sistemas gasosos	110
Gráfico 4	Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais	110
Gráfico 5	Interações intermoleculares e comportamento macroscópico de um gás	113
Gráfico 6	Efeito da pressão no volume – diferenças entre gás ideal e gás real	113
Gráfico 7	Construção de isotermas de sistemas gasosos	114
Gráfico 8	Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais	114
Gráfico 9	Influência da temperatura no aumento da pressão de um gás	117
Gráfico 10	Interações intermoleculares e comportamento macroscópico de um gás	117
Gráfico 11	Efeito da pressão no volume – diferenças entre gás real e gás ideal	118
Gráfico 12	Construção de isotermas de gases	119
Gráfico 13	Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais	119
Gráfico 14	Interações e não idealidade: o volume molar da água nas CNTP	122

## **SIGLAS**

ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisadores em Ensino de Ciências
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
UCS	Universidade de Caxias do Sul
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil
UNILASALLE	Centro Universitário LaSalle

# 1 INTRODUÇÃO

Várias pesquisas realizadas na área de ensino de ciências (LIN, CHEN, LAWRENZ 2000; WU, KRAJCIK, SOLOWAY, 2001) têm procurado identificar o entendimento conceitual de alunos e de professores a respeito de processos físicos e químicos. Estes estudos apontam que os estudantes apresentam dificuldade na compreensão das representações microscópicas e simbólicas porque elas são abstratas e seu pensamento baseia-se particularmente na informação sensorial. Wu, Krajcik e Soloway (2001) identificaram três tipos de dificuldades dos estudantes na aprendizagem das representações em química: (i) a dificuldade de interpretar o significado químico das representações; (ii) pequena capacidade de prover representações equivalentes para uma dada representação e (iii) a dificuldade de traduzir mentalmente representações bidimensionais em tridimensionais.

Para Kosma et al (1996) a articulação entre os níveis de representação ajuda a traçar o perfil e o uso de sistemas baseados em tecnologia fornece aos estudantes atividades que podem apoiar o desenvolvimento compartilhado do entendimento da ciência.

Um grupo de pesquisas (ANDALORO et al.1991; ESQUEMBRE 2002), demonstraram o papel das ferramentas computacionais na aprendizagem de conceitos associados aos processos físicos e químicos.

A partir dessas considerações elaboramos um projeto com o objetivo geral de verificar se o uso de ferramentas de modelagem e simulação computacional auxilia o estudante na aprendizagem e compreensão de conceitos associados ao modelo de gás ideal e na sua comparação com o comportamento dos gases reais.

O projeto da pesquisa tem como meta identificar os níveis do perfil conceitual e as características do modelo mental apresentado pelo aluno na explicação das propriedades microscópicas e macroscópicas de um sistema gasoso e verificar em que medida o uso de sistemas de modelagem e simulação computacional permite a aprendizagem significativa dos modelos de gases ideais e reais bem como sua comparação através do nível de representação simbólico.

A ferramenta de modelagem e simulação computacional escolhida foi o software Modellus. Esse programa, classificado conforme Esquembre (2002) como ferramenta para modelagem e simulações, permite aos estudantes explorarem os modelos propostos, modificando parâmetros e variáveis, comparando suas noções e concepções alternativas sobre o Comportamento dos Gases com os modelos científicos. Também foi utilizado o programa Teoria Cinética dos Gases, componente do software de simulação SCIENS para demonstração do comportamento de um gás ideal.

Para aplicação da ferramenta Modellus, foi elaborado um guia onde foram descritas as atividades de compreensão e uso do programa. O guia foi construído adotando-se a metodologia da estratégia P.O.E. (Predict, Observe, Explain) (WHITE & GUNSTONE, 1992), considerando as concepções dos estudantes e a perspectiva de identificar o perfil

conceitual (MORTIMER, 2000). O simulador SCIENS foi utilizado demonstrativamente pelo professor, para discussão do modelo de gás ideal.

Após o desenvolvimento da modelagem matemática e da simulação computacional, avaliamos se a compreensão dos conceitos importantes para o estudo do fenômeno é influenciada pelo uso destas ferramentas computacionais e da estratégia P.O.E. Desenvolvemos o estudo com estudantes universitários regularmente matriculados nos cursos de licenciatura plena em Química e Tecnologia em Automatização Industrial da Universidade de Caxias do Sul; no curso de bacharelado e licenciatura em Química da Universidade Luterana do Brasil e no curso de licenciatura em Química do Centro Universitário LaSalle aplicando a atividade computacional orientada por um tutorial. Os estudantes foram avaliados antes, durante e após o uso dos instrumentos. Para certificarmos de que os resultados da avaliação resultam da aplicação dos instrumentos elaborados para a estratégia utilizada aplicamos um teste em uma turma de comparação que estudou o tema apenas com aulas expositivas sem ter acesso aos recursos computacionais utilizados.

No capítulo 2 apresentamos os pressupostos teóricos que fundamentam a pesquisa. Nele são discutidas as idéias propostas pelas teorias educacionais relacionadas aos modelos de aprendizagem descritos pelas concepções alternativas, a mudança conceitual, o perfil conceitual (MORTIMER, 2001) e a aprendizagem significativa (MOREIRA 2001). Nesse capítulo também é descrita a estratégia de ensino utilizada. Durante a elaboração da revisão bibliográfica, inicialmente pensamos na possibilidade de utilizar o modelo da mudança conceitual para explicar a transformação das concepções alternativas em conceitos científicos (POSNER et al., 1982). Verificamos, porém que a maior parte da bibliografia sobre o

resultado do uso dessa abordagem conceitual apresenta falhas e recebe críticas, e por isso utilizamos o enfoque do perfil conceitual.

No capítulo 3 discutimos a aplicação de tecnologias para a aprendizagem e enfatizamos o uso da modelagem e simulação computacionais no ensino de ciências, apresentando as características conceituais e a aplicação dos conceitos.

No capítulo 4 apresentamos a evolução das idéias e conceitos associados aos gases e a teoria dos gases e as dificuldades epistemológicas apresentadas no seu desenvolvimento.

No capítulo 5 destacamos a aplicação da modelagem e da simulação computacional no ensino de ciências. Descrevemos o uso do software Modellus na estratégia de ensino utilizada.

No capítulo 6 apresentamos as características da metodologia; discutimos a estratégia de ensino adotada baseada no P.O.E. e descrevemos as características da população, dos testes aplicados e as categorias que descrevem as respostas dadas a cada conceito.

No capítulo 7 apresentamos a análise qualitativa das respostas dadas pelos estudantes e mostramos alguns exemplos situados em cada categoria. Também elaboramos o perfil conceitual dos alunos. A seguir apresentamos os resultados quantitativos da análise estatística dos escores obtidos pelos grupos de estudantes em cada conceito.

Finalmente apresentamos uma conclusão e propomos algumas perspectivas futuras.

## **2 BASES TEÓRICAS PARA A PESQUISA**

Neste capítulo apresentamos as bases teóricas que fundamentam a pesquisa, sendo abordadas as concepções alternativas dos estudantes, a mudança conceitual, o perfil conceitual, o modelo mental e a aprendizagem significativa.

### **2.1 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS DOS ESTUDANTES**

Estudos realizados nas últimas décadas têm mostrado que os estudantes que ingressam em cursos de Física e Química (e.g. VIENNOT, 1979; CLEMENT, 1982 apud AXT, 1986) possuem uma variedade de concepções alternativas ou idéias ingênuas resultantes de suas experiências cotidianas, as quais estão em conflito com as concepções científicas consideradas corretas (LIN, CHENG, LAWRENZ, 2000). Aparentemente os estudantes desenvolvem as idéias acerca do mundo físico e razoáveis explicações sobre como e porque as coisas funcionam, muito antes de estudarem ciências na escola. Por exemplo, a observação da ascensão dos balões e a liberação do gás carbônico na abertura de um refrigerante fazem os alunos acreditar que os gases são substâncias leves ou sem peso.

De acordo com Lin, Cheng e Lawrenz (2000), essas concepções alternativas sobre os gases competem com as concepções científicas enquanto os estudantes constroem o conhecimento com relação às propriedades dos gases durante as aulas. As idéias e interpretações baseadas na linguagem e na experiência diária freqüentemente interferem com a aprendizagem dos paradigmas e modelos científicos introduzidos nas aulas e afetam a capacidade dos estudantes de assimilarem as idéias cientificamente.

Stavy (1988), apud Lin, Cheng e Lawrenz (2000) afirma que a construção do conhecimento é um processo lento e contínuo. Nussbaum (1985), apud Lin, Cheng, Laurenz (2000) indica que as concepções alternativas dos gases podem sobreviver através de muitas etapas da instrução e até mesmo depois da instrução terminada. O significado científico da informação pode ser distorcido pelas pré-concepções dos estudantes que estão ativas quando o aluno assimila a nova informação.

Para que o ensino seja significativo é necessário avaliar a compreensão conceitual pelos estudantes. Gabel, Sherwood e Enochs (1984) citados em Lin, Chen e Lawrenz (2000) lembraram que se os estudantes não entendem qualitativamente um conceito químico antes de ser apresentado quantitativamente, é provável que eles executem apenas manipulações descuidadas de equações matemáticas. Nakhleh (1993), apud Lin, Chen, Lawrenz (2000) verificou que a habilidade dos estudantes na resolução de problemas conceituais em química ficou distante de sua habilidade de resolução algorítmica de problemas. Resultados de pesquisas (LIN, CHENG, LAWRENZ, 2000) mostram que os estudantes se acostumam a aplicar algoritmos para resolver problemas conceituais porque não confiam na sua compreensão conceitual da química envolvida.

Os conhecimentos prévios (POZO et al, 1991) são os conhecimentos (corretos ou incorretos) que cada indivíduo possui e que adquire ao longo de sua vida quando interage com o mundo que o cerca e com a escola. Este conjunto de conhecimentos serve para que ele descreva o mundo e os fenômenos que observa, ajudando-o a prever e controlar fatos e acontecimentos futuros. Os conhecimentos prévios podem ser conceituais ou procedimentais, descritivos ou explicativos; gerais ou específicos, de acordo com a área do conhecimento onde são enfocados.

Conforme Pozo et al. (1991) as concepções alternativas ou conhecimentos prévios apresentam características comuns, que podem ser sintetizadas como segue:

- *São construções pessoais dos alunos, elaboradas na sua interação cotidiana com o mundo que os cerca;*
- *Do ponto de vista científico podem ser incoerentes embora sejam coerentes do ponto de vista do aluno porque possuem forte poder de previsão em relação aos fenômenos cotidianos;*
- *Apesar da instrução científica, podem ser estáveis e resistentes a mudanças;*
- *Têm caráter implícito diante do caráter explícito das idéias científicas;*
- *São conhecimentos específicos, referidos mais à realidade próxima do aluno, o qual tem dificuldade de aplicar as leis gerais explicadas em aula.*

A formação do conhecimento pelos alunos tem origem em diferentes fontes, das quais se destacam o predomínio do perceptivo, o uso do raciocínio causal simples, a influência da cultura, da sociedade e da escola. Essas causas originam a seguintes concepções:

- *Origem sensorial – as informações são adquiridas através dos sentidos e formuladas na tentativa de*

*dar significado às atividades cotidianas; são as concepções espontâneas.*

- *Origem cultural – as informações são adquiridas na escola, na interação com as pessoas e pelos meios de comunicação, sendo originadas no meio social onde vive o aluno; são as concepções induzidas.*

- *Origem escolar – a compreensão do aluno é baseada em analogias geradas por ele ou induzidas pelo ensino porque o estudante carece de conhecimentos específicos de uma dada área do conhecimento. Por exemplo, o conhecimento químico dos alunos baseia-se nos modelos aprendidos na escola, assimilados às suas próprias idéias e crenças.*

## **2.2 MUDANÇA CONCEITUAL**

As concepções espontâneas são esquemas explicativos construídos através da interação do indivíduo com o mundo físico que o rodeia e revelam como ele interpreta os fenômenos do cotidiano. Essas concepções referem-se a conceitos da Física e da Química, os quais, na maioria das vezes, contradizem os modelos aceitos. Pesquisas realizadas nas últimas décadas (e.g. VIENNOT, 1979; POSNER et al, 1982) indicam uma forte resistência a modificações, como uma consequência do modo de construção do conhecimento pelo aluno. Para ocorrer a mudança conceitual há a necessidade de confrontar o estudante com situações nas quais as capacidades preditivas falhem.

As idéias dos estudantes sobre como o mundo opera estão firmemente fixadas porque seu conhecimento conceitual é construído com a sua vivência diária. Para que ocorra aprendizagem significativa na área de ciências é necessário que o ensino da Física e da Química identifique as visões de mundo dos estudantes e proporcione um caminho que

promova a assimilação das concepções cientificamente aceitas. Hewson (1981) defende que o processo de mudança conceitual requer que os estudantes examinem criticamente sua “visão de mundo” e “julguem o valor do material à luz de propósitos específicos usando determinados critérios”. Piaget citado por Mortimer (2000) sugere que para ocorrer mudança conceitual, os estudantes devem ser confrontados com ‘eventos divergentes’ que contradigam suas concepções e invoquem um “desequilíbrio ou conflito cognitivo” que posicionem os estudantes num estado de reflexão e resolução. “O evento discrepante pode ser uma demonstração ou um fenômeno que obrigue os estudantes a explicarem ou fazerem previsões”.

A mudança conceitual tem como estratégia o conflito cognitivo, baseada na teoria piagetiana da equilibração = o desenvolvimento do conhecimento se dá por aproximações sucessivas do sujeito ao objeto de estudo (MORTIMER, 2000).

Posner, Strike, Hewson, Gertzog, (1982), Hewson (1982); Strike e Posner (1992) citados em Moreira e Greca (2003) salientam que um modelo de mudança conceitual é uma visão da aprendizagem e identificam dois modos de ocorrência da mudança, a assimilação e a acomodação. A assimilação ou captura conceitual (HEWSON, 1981) consiste no uso de conceitos existentes para tratar com novos fenômenos e a acomodação ou troca conceitual implica na substituição ou reorganização dos conceitos centrais aprendidos.

O paradigma construtivista ensino-aprendizagem propõe que as idéias prévias dos estudantes sejam fundamentais ao processo ensino-aprendizagem; só se aprende a partir do que já se sabe (AUSUBEL, citado por MOREIRA 2000). O processo individual de construção do conhecimento baseia-se na equilibração entre os conceitos. Isso significa que o

conhecimento anterior vai sendo substituído por reconstruções endógenas do sujeito que atribui suas próprias operações aos objetos (MOREIRA, 2000).

Uma aproximação mais produtiva é a focalização na natureza e no processo de mudança conceitual e na procura de justificar as teorias do campo de estudo. A identificação das concepções alternativas, predominantes num domínio específico, informa aos professores da existência das mesmas, mas isto praticamente não é utilizado para planejar e distribuir o ensino. A compreensão do processo de mudança conceitual poderá permitir que professores e programadores de ensino desenvolvam estratégias que levem em conta o processo de mudança. Como Vosniadou (1994) salienta: “A questão de como a mudança conceitual é alcançada e a especificação dos mecanismos que produzem isto é um problema fundamental da psicologia cognitiva de hoje. Uma teoria da mudança conceitual é pré-requisito para qualquer relato da aprendizagem e que pode ter implicações importantes para o ensino”.

Artigos recentes sobre o resultado da utilização da estratégia de mudança conceitual têm demonstrado que o modelo de mudança conceitual proposto por Posner et. al. (1982), apresenta falhas. Moreira e Greca (2003) acreditam que ele não funciona. Conforme os citados autores, “O problema do modelo piagetiano/popperiano de conflito cognitivo e o modelo kuhniano de Posner et. al., é que eles sugerem mudança conceitual através da substituição de uma concepção por outra na estrutura cognitiva do aprendiz” (op. cit. p. 5). Para Moreira e Greca (2003) a mudança conceitual no sentido da substituição de uma concepção por outra não existe. Se a estratégia da mudança conceitual for bem sucedida, ela agregará novo significado às concepções já existentes, sem apagar ou substituir os significados que elas tinham. Assim, a concepção torna-se mais elaborada em termos dos significados agregados a ela ou evolui sem perder a identidade.

Um ambiente exploratório de aprendizagem, como uma simulação de computador, pode ser utilizado para prover ambientes desafiantes. As simulações possuem a vantagem adicional de que o estudante é solicitado a questionar sobre a situação (ou evento) proposta, alterar os valores dos parâmetros, iniciar processos, testar condições e observar os resultados dessas ações. Os estudantes podem interpretar a base das concepções científicas das simulações, comparar com suas próprias concepções, formular e testar hipóteses, reconciliar qualquer divergência entre suas idéias e as observações na simulação. Esta combinação única das capacidades instrucionais torna a simulação uma ferramenta ideal para o ensino que promova mudança conceitual.

O ensino efetivo da Física e da Química deve estimular uma espécie de aprendizagem que leve à compreensão conceitual. Esta aprendizagem ocorre quando “o conhecimento é construído pelo indivíduo”.

Os estudantes podem construir concepções científicas quando experimentam situações que “os levam a questionar suas próprias concepções e então serem encorajados a desenvolverem substituições mais viáveis construídas com suas próprias perspectivas. Em outras palavras, os estudantes devem ser confrontados com situações diferentes que contradigam suas concepções e crenças epistemológicas e invoquem conflitos cognitivos que lhes possibilitem entrar num estado de reflexão e resolução”, como propõe Porlan (1998).

Uma aproximação produtiva para a confrontação das concepções são as simulações por computador que podem ser utilizadas para providenciar experiências interativas com fenômenos e processos físicos e químicos que possam contrariar as concepções que muitos estudantes trazem das experiências vividas no seu cotidiano.

## 2.3 PERFIL CONCEITUAL

O modelo de mudança conceitual implica a substituição de uma concepção existente na estrutura cognitiva do aluno por uma nova concepção. Mortimer (2000) propõe a idéia de perfil conceitual e sugere que isto seja importante para os estudantes tornarem-se conscientes das concepções alternativas e científicas nas diferentes zonas do perfil sem haver necessariamente a substituição do anterior pelo posterior. Bachelard (1940) citado por Mortimer, (2000), propõe a idéia de perfil epistemológico ao fato das pessoas exibirem diferentes formas de ver e representar a realidade que as cerca. Bachelard citado por Mortimer (2000) mostrou que uma única doutrina filosófica não é suficiente para descrever todas as diferentes formas de pensar quando se tenta expor e explicar um simples conceito.

Baseando-se na idéia de Bachelard, Mortimer (2000) propõe a noção de perfil conceitual. A noção de perfil conceitual possui características em comum com o perfil epistemológico, por exemplo, a hierarquia entre as diferentes zonas que apresentam categorias de análise com poder explanatório cada vez maior. O autor acrescenta elementos importantes à noção de perfil epistemológico, como a distinção entre as características ontológicas e epistemológicas de cada zona do perfil, por que essas características podem mudar à medida que se move através do perfil. O estudante deve tomar consciência de seu próprio perfil, possibilitando assim que ocorra aprendizagem. Uma característica importante da noção de perfil conceitual é que os seus níveis pré-científicos são determinados pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos, sendo influenciados pela cultura.

Muitas pesquisas mostram que, à medida que cresce a idade e a escolarização do aluno, a maioria dos estudantes passa a utilizar as idéias cientificamente aceitas, no entanto

pode verificar-se a persistência de concepções alternativas entre alunos que estejam terminando o ensino médio ou cursando a universidade.

Mortimer (2000) aplica a noção de perfil conceitual às concepções sobre atomismo e estados físicos da matéria quando investiga o uso e a evolução das concepções associadas a esses conceitos em alunos do ensino fundamental. Para a elaboração dos componentes do perfil o autor utiliza os resultados disponíveis na literatura relacionados a esses conceitos científicos, a evolução e a história desses conceitos.

De acordo com Mortimer (2000), o perfil dos estudantes sobre o conceito de átomo caracteriza-se pelas seguintes zonas:

- *Concepção sensorialista: a matéria é representada por um contínuo, sem a existência de espaços vazios e de partículas. A negação da existência de espaços vazios entre as partículas materiais é um obstáculo de natureza ontológica e sua superação envolve a afirmação da existência do vácuo.*

- *Concepção substancialista: a matéria é formada por grãos que apresentam as mesmas propriedades que o corpo apresenta. Há uma analogia entre o comportamento das partículas e o das substâncias, isto é, as partículas se expandem ou se contraem, mudam de estado, etc. O principal obstáculo epistemológico é a analogia entre o macroscópico e o microscópico. O estudante que apresenta este perfil representa as partículas como cópia da própria realidade e não como um modelo. A ausência de uma visão apropriada de modelo é um obstáculo de natureza epistemológica.*

- *Concepção clássica: o átomo é a unidade básica de constituição da matéria, conservando-se nas transformações químicas; é visto como uma partícula material, com o*

*comportamento regido pelas leis da mecânica; átomos de mesma natureza possuem uma propriedade que os identificam, as massas atômicas. A combinação de átomos resulta na formação da molécula e a combinação de moléculas determina as substâncias.*

A existência das categorias continuidade/descontinuidade; substancialismo/não substancialismo; movimento/energia das partículas; interação partículas/arranjo das partículas proporciona a possibilidade de identificar o perfil conceitual dos estudantes. Outras concepções estão associadas aos conceitos expressos por outras teorias como a teoria quântica, etc.

O perfil dos estudantes sobre os estados físicos da matéria, descrito por Mortimer (2000) caracteriza-se pelas seguintes zonas:

- *Concepção sensorialista: o estudante observa que o sólido é duro e pode ser segurado pela mão; o líquido escorre e não se pode segurar com as mãos; o gás não pode ser visto, tocado, nem sentido.*
- *Concepção substancialista: está relacionada com as propriedades empíricas da forma e do volume que permitem definir e classificar os materiais em sólidos, líquidos e gases. Os sólidos têm forma e volume próprios, os líquidos têm forma variável e volume próprio; os gases não têm forma nem volume próprios, tendendo a ocupar todo o recipiente que os contém.*
- *Concepção clássica: baseia-se na concepção atômica clássica; as substâncias sólidas, líquidas e gasosas são formadas por partículas que tem um movimento intrínseco associado à sua energia cinética e que apresentam arranjos diferenciados em cada um dos estados, determinados pelas interações entre as partículas. Os sólidos se caracterizam por um arranjo ordenado das partículas que interagem fortemente entre si, vibrando em torno de posições fixas; nos líquidos as partículas estão aglomeradas, mas desordenadas pela fraca interação; apresentam movimento de vibração, de translação e de rotação. Nos gases a interação entre as partículas é mínima, de modo que elas se encontram desorganizadas e não formam aglomerados, apresentando movimentos de vibração, rotação e translação.*

Igualmente, outras concepções ontológicas e epistemológicas permitem a caracterização do perfil conceitual dos estudantes acerca dos estados físicos.

O perfil conceitual dos estudantes com relação ao átomo evolui à medida que aumenta a escolaridade e os conceitos devem ser ensinados não como verdades absolutas, mas sim como verdades relativas que são mutáveis no tempo. Cada nível apresenta obstáculos ao seu entendimento, os quais devem ser superados à medida que evoluem as idéias e conceitos.

Mortimer (2000) enfatiza que o processo ensino-aprendizagem exerce papel importante para a mudança do perfil conceitual dos estudantes. Nas suas palavras o processo de ensino-aprendizagem pode ser pensado como a construção de um corpo de noções baseadas em idéias e experimentos apresentados ao aluno. O planejamento do ensino de acordo com a noção de perfil conceitual deve iniciar com a determinação das categorias que constituem as diferentes zonas do conceito a ser ensinado e a identificação dos obstáculos ontológicos e epistemológicos. Conforme esse enfoque, dois momentos distintos são importantes no processo ensino-aprendizagem; o primeiro corresponde à aquisição do conceito numa zona específica do perfil, no qual o professor tem o papel de identificar os obstáculos e ajudar os alunos a transpô-los; o segundo é a tomada de consciência do aluno de seu próprio perfil, possibilitando a comparação entre as diferentes zonas que o caracterizam, a avaliação do domínio onde se aplica e o poder relativo de cada uma delas. É um processo semelhante à idéia de metacognição proposta por White e Gunstone (1989). A noção de perfil conceitual admite a explicitação das concepções prévias e alternativas do estudante, sua crítica e avaliação.

## 2.4 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A aprendizagem significativa é o conceito central na teoria de David Ausubel. Para Ausubel(1976), a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se de modo não-arbitrário e substantivo (não literal) com um conceito relevante da estrutura cognitiva do aluno, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica – definido como conceito subsunçor (ou inclusor) existente na estrutura cognitiva do indivíduo.

Para haver aprendizagem significativa são necessárias duas condições: o aluno deve ter disposição para aprender – se quiser apenas memorizar a informação a aprendizagem será mecânica; e o conteúdo a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo. A aprendizagem significativa se apresenta em oposição à aprendizagem sem sentido. O termo “significativa” pode se referir tanto a um conteúdo com estruturação lógica própria como a um material que potencialmente pode ser aprendido de modo significativo. Conforme a teoria de Ausubel aprender é realizar a passagem do sentido lógico ao sentido psicológico, fazendo com que um conteúdo intrinsecamente lógico se torne significativo para quem aprende.

Para Ausubel (1976) a estrutura cognitiva consiste em um conjunto organizado de idéias que preexistem à nova aprendizagem que se quer instaurar. As novas aprendizagens se estabelecem por subsunção (inclusão) na estrutura cognitiva do aluno. Os conhecimentos prévios mais gerais permitem “ancorar” os novos e mais particulares. A estrutura cognitiva deve ter a capacidade de discriminar os novos conhecimentos e estabelecer diferenças para que tenham algum valor para a memória e possam ser retidos como conteúdos distintos. Ausubel(1976) denomina os conceitos prévios, que apresentam um nível superior de

abstração, generalização e inclusão, de organizadores avançados e sua principal função é a de estabelecer uma ponte entre o que o aluno já conhece e o que necessita conhecer. Ausubel(1976) distingue entre tipos de aprendizagem e tipo de ensino ou formas de aquisição da informação. A aprendizagem pode ser repetitiva ou significativa, conforme o aprendido se relacione arbitrária ou substancialmente com a estrutura cognitiva.

O conteúdo que se vai aprender pode ser apresentado de modo completo e acabado, denominado por Ausubel citado por Moreira (2000) de aprendizagem receptiva ou se pode permitir que o descubra e integre o que há de ser assimilado, denominado de aprendizagem por descobrimento. Como na aprendizagem significativa os novos conhecimentos devem relacionar-se substancialmente com o que o aluno já sabe, as seguintes condições devem se apresentar:

- *O conteúdo que se há de aprender deve ter sentido lógico, isto é, ser potencialmente significativo por sua organização e estruturação;*
- *O conteúdo deve articular-se com sentido psicológico na estrutura cognitiva do aprendiz mediante a ancoragem nos conceitos prévios;*
- *O estudante deve ter desejo de aprender, vontade de saber, ou seja, que sua atitude seja positiva para com a aprendizagem.*

A aprendizagem significativa exige um processo de relação, diferenciação progressiva e reconciliação integradora com os conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA, 2000). Para que isso tenha sucesso deve-se ter em conta as necessidades do tempo próprio para que o estudante possa trabalhar os conceitos até ligá-los à sua estrutura conceitual. Há necessidade de planejar as atividades para o trabalho de relação, diferenciação e reconciliação integradora e introduzir os mecanismos de retroalimentação

para constatar até que ponto o aluno tenha assimilado os novos conceitos e verificar se ele pode ou não seguir adiante.

Em resumo, pode-se dizer que a aprendizagem significativa é a construção de constructos pessoais, implicando na atribuição de significados a eventos e objetos e é produzida quando uma nova informação se ancora em conceitos relevantes, pré-existentes na estrutura cognitiva.

## **2.5 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E OS MODELOS MENTAIS**

Ao discutir a aprendizagem significativa e suas relações com outros construtos, Moreira (2000) afirma que um bom ensino deve ser construtivista, promover a mudança conceitual e facilitar a aprendizagem significativa. A aprendizagem significativa é o processo através do qual uma nova informação ou novo conhecimento se relaciona de modo não-arbitrário e substantivo (não-literal) com a estrutura cognitiva do indivíduo que aprende. Na teoria de Ausubel não-arbitrário caracteriza um material potencialmente significativo que se relaciona de maneira não-arbitrária com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. A substantividade significa que o que se incorpora na estrutura cognitiva é a substância do novo conhecimento. Um mesmo conceito ou a mesma proposição podem ser expressos de diferentes maneiras através de distintos signos ou grupo de signos equivalentes em termos de significados. Isso significa que um aprendizado significativo não pode depender do uso exclusivo de determinados símbolos, conforme Ausubel (1976).

Na década de 80 Johnson-Laird, citado por Moreira, (2000) propõe a teoria dos modelos mentais. Os modelos mentais são representações analógicas, um tanto quanto abstraídas de conceitos, objetos ou eventos que são espacialmente e temporalmente análogos a impressões sensoriais, porém que podem ser observados de qualquer ângulo e que, em geral, não retêm distintos aspectos de uma dada instância ou de um objeto ou evento, conforme afirma Moreira (2000).

Os modelos mentais são semelhantes a blocos de construção cognitiva que podem combinar-se e recombinar-se conforme a necessidade. Podem ser deficientes, confusos, instáveis e incompletos, porém são funcionais. Os modelos mentais pessoais estão limitados por fatores tais como o conhecimento e a experiência prévia dos indivíduos com estados de coisas similares e pela própria estrutura do sistema de processamento humano, conforme Moreira (2000).

Conforme afirma Johnson-Laird, citado por Moreira (2000) quando um indivíduo é capaz de explicar e fazer previsões sobre um sistema físico, é porque tem um modelo mental do sistema, ou seja, uma representação mental análoga do mesmo em termos de estrutura mental; se a pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre tal sistema isto é, sem dúvida, aprendizagem significativa.

Geralmente os modelos mentais são modelos de trabalho, isto é, são construídos no momento para representar determinada proposição, conceito, objeto ou evento, sendo instáveis, funcionando na situação específica e são descartáveis. Porém, há modelos mentais consistentes que, por sua consistência, são armazenados na memória de longo prazo. Os

modelos mentais não se constroem a partir do zero; ao contrário, são elaborados a partir de entidades mentais pré-existentes.

Considerando as características dos modelos mentais, poder-se-ia imaginar que, para gerar modelos de trabalho o indivíduo tem que ter os conceitos subsunçores, porém esses conceitos já estariam representados mentalmente por modelos mentais mais estáveis.

A partir dessas considerações é possível interpretar a aprendizagem significativa subordinada derivativa como um caso no qual o aprendiz constrói modelos de trabalho com facilidade para dar significado a novas informações, como afirma Moreira (2000). Igualmente o autor questiona se a não construção de modelos mentais poderia estar relacionada com a aprendizagem mecânica.

Um estudo realizado com estudantes de Física Geral na área do eletromagnetismo feito por Greca & Moreira, (1996, 1997a) parece distinguir entre os alunos que trabalham e os que não trabalham com modelos mentais, enquanto desempenham as tarefas instrucionais. Os autores “observaram que os estudantes que não utilizam modelos mentais, usavam proposições soltas, não articuladas em um modelo, parecendo não utilizar imagens”. As proposições utilizadas eram definições e fórmulas manipuladas mecanicamente para resolver problemas ou questões conceituais. Igualmente, considerando que aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica ocupam os extremos de um contínuo, pode-se supor que os alunos que usaram modelos mentais deram evidências de uma aprendizagem próxima do extremo da aprendizagem significativa.

## **2.6 UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO: PREDIZER – OBSERVAR – EXPLICAR**

A melhoria do ensino de ciências necessita que os educadores entendam como ocorre a compreensão dos conceitos da ciência pelos alunos. A teoria da aprendizagem de Ausubel (MOREIRA, 2000) propõe que se deve considerar o que o aluno já sabe. As estratégias do ensino tradicional em geral não reconhecem as concepções dos aprendizes e frequentemente não consideram o significado de palavras específicas utilizadas e compreendidas pelos alunos e professores.

Estratégias como a construção de mapas conceituais, a resolução de problemas, a aprendizagem cooperativa, deveriam ser modeladas e sua efetividade no ensino deveria ser avaliada, conforme propõe Moreira (2000).

Predizer-observar-explicar é uma estratégia de ensino utilizada para a sondagem da compreensão, solicitando aos estudantes a execução de três tarefas: primeiro os alunos têm de prever o resultado de um evento e justificar a predição; segundo, observar o que ocorre e, terceiro, reconciliar qualquer conflito entre a predição e a observação. A técnica foi inicialmente utilizada por Champagne, Klopfer e Anderson (1979) com a denominação de demonstrar-observar-explicar (DOE); posteriormente a idéia foi reformulada para prever-observar-explicar (P.O.E.) por White e Gunstone (1992). Na estratégia P.O.E. é solicitado aos estudantes que predigam o resultado de um evento ou experiência. Quando as predições e observações forem incompatíveis entre si, as explicações dos estudantes serão exploradas e questionadas.

A estratégia de Predizer-Observar-Explicar baseia-se no modelo clássico da pesquisa científica, onde uma hipótese é formulada e argumentos são formulados acerca do porquê e da probabilidade de que ela seja verdadeira. Dados relevantes são coletados e os resultados são discutidos (WHITE, 1988). Uma tarefa utilizando esta estratégia envolve os educandos na predição dos resultados de uma demonstração e a discussão das premissas de seu raciocínio, observando, discutindo e finalmente explicando qualquer diferença entre suas predições e as observações efetuadas.

### **3 AS TECNOLOGIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS**

Neste capítulo apresentamos algumas idéias sobre a importância da utilização da modelagem e simulação no ensino de Ciências.

#### **3.1 MODELAGEM E A SIMULAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS**

Diversos estudos (e.g. CAMILETTI e FERRACIOLLI, 2001; TRINDADE e FIOLETTI, 1999; ESQUEMBRE, 2001) têm demonstrado que novas tecnologias proporcionam a criação de ambientes que possibilitam a aprendizagem significativa de conceitos associados ao conhecimento das Ciências, particularmente na Física e na Química.

No processo de aprendizagem, afirma Sandholtz, Ringstaff e Dwyer (1997), “[...] Novas competências, como as habilidades de colaborar, reconhecer e analisar problemas com sistemas, de adquirir e utilizar grande quantidade de informações e de aplicar a tecnologia na solução de problemas do mundo real, são resultados valorizados”. Nesse contexto, “a tecnologia é utilizada de forma mais poderosa como uma nova ferramenta para apoiar a investigação, a composição, a colaboração e comunicação dos alunos”.

As novas tecnologias provêm ferramentas que oportunizam a criação de ambientes de aprendizagem que estendem as possibilidades das tecnologias tradicionais (livros, quadro de giz,...), afirma Esquembre (2001).

Uma ferramenta que tem demonstrado possuir potencial expressivo como recurso para visualizar e interpretar informações complexas é o microcomputador (ESQUEMBRE, 2001). O uso do microcomputador possibilita aos estudantes de diferentes níveis de ensino (fundamental, médio, graduação) emergirem em um ambiente virtual e interagirem com modelos que possibilitem a aprendizagem significativa dos conceitos. A aplicação do microcomputador tornar-se-á parte dos currículos de Física e Química dos cursos de graduação, possibilitando aos alunos visualizarem as possibilidades do uso da informática e de novas tecnologias para a aprendizagem significativa de conceitos, para a formação de habilidades e competências necessárias ao desempenho profissional, afirma Vieira (1997).

Os computadores apresentam potencial para melhorar o desempenho dos estudantes, se forem adequadamente utilizados, como parte de uma aproximação coerente do ensino (ESQUEMBRE, 2001). Os computadores também possibilitam a abordagem dos tópicos de uma perspectiva diferente e mais excitante que a tradicional. Conforme Bransford, Brown & Cooking (2000) citado por Esquembre (2001) as novas tecnologias podem ser importantes para: (i) trazer para sala de aula currículos estimulantes baseados em problemas do mundo real; (ii) prover ferramentas para melhorar o nível de aprendizagem; (iii) oportunizar aos professores e alunos condições para refletir, avaliar e revisar e, (iv) ampliar a oportunidade para a aprendizagem dos professores.

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DE SOFTWARES PARA O ENSINO DE FÍSICA E QUÍMICA

Na última década surgiu uma grande quantidade de softwares educacionais para o ensino de física e de química. Esquembre (2001) apresentou uma classificação desses softwares educacionais de acordo com seus princípios de uso, resumindo como deveria ser sua utilização pedagógica, categorizando-os em:

#### *(i) Ferramentas de aquisição e manipulação de dados*

São formadas por *scanners*, câmeras de vídeo e instrumentos que possuem sinal de saída que pode ser transmitido aos computadores, como sensores de pressão, de temperatura, de posição, medidores de pH, espectrofotômetros e outros, os quais compõem os Laboratórios Baseados em Computador (sigla em inglês MBL) e a Análise de Vídeo Digital (sigla em inglês DVA). Os dados coletados através desses instrumentos podem ser manipulados e analisados pelos estudantes, permitindo quantificar situações experimentais que, em geral, são analisadas qualitativamente em laboratórios didáticos (VIEIRA, 1997).

#### *(ii) Softwares de multimídia*

Apresentam a informação de modo estruturado, obtida através de diferentes meios com: áudio, imagens, gráficos, textos lineares e não-lineares. Controles interativos de navegação permitem aos estudantes seguirem o caminho que desejarem sem precisar obedecer a uma dada seqüência, podendo ser utilizados sem o auxílio direto do professor. Esses softwares necessitam da avaliação prévia do professor para que sejam validados como ferramentas de ensino, podendo ser utilizados como uma fonte complementar da matéria de ensino.

#### *(iii) Micromundos e simulações*

Os micromundos consistem em programas completos de computação, elaborados por especialistas, que implementam a simulação de uma grande extensão de processos físicos, químicos e suas leis. Esses programas possibilitam aos estudantes explorar e interagir com o sistema pela inclusão de elementos, alterarem alguns parâmetros e observarem o resultado da manipulação.

As simulações são programas em pequena escala que contém o modelo de um sistema ou processo e são dedicadas à visualização gráfica. Algumas vezes a visualização pode ser simples, em outras é sofisticada, incluindo técnicas de realidade virtual. Em grande parte dos casos o estudante apenas observa o processo, sem poder modificar as variáveis ou as condições que caracterizam o fenômeno.

#### *(iv) Ferramentas para modelagem*

São ambientes de software que possibilitam aos estudantes construir sua própria simulação computacional. As ferramentas de modelagem beneficiam-se das mesmas vantagens educacionais das simulações, somada com a possibilidade de permitir que os estudantes tornem explícitas as suas concepções. Aos estudantes é fornecido um jogo de ferramentas que os ajuda a descrever relações entre conceitos, percorrer os modelos resultantes e comparar os seus resultados com o modelo aceito pela ciência ou com os resultados das experiências de laboratório. A confrontação da sua simulação, possivelmente com erros conceituais, com o modelo aceito pela comunidade resulta na percepção pelo estudante de suas concepções alternativas, facilitando assim a transição. As ferramentas de modelagem também podem ajudar o estudante a entender as equações como relações físicas entre grandezas, fazer sentido da tradução entre as representações, dando ao estudante o empenho e a atitude para aprender as experiências e serve como caderno de esboço no qual o

estudante pode explicar a sua compreensão do fenômeno ou processo ao companheiro e ao professor, ajudando-o assim a visualizar o que está pensando.

*(v) Ferramentas para telemática e Internet*

Exploram a capacidade da intercomunicação entre computadores fazendo uso de todos os tipos de software. Permitem um grau maior ou menor de interação ao incluir as inúmeras formas de comunicação humanas. Essas ferramentas são os meios através dos quais os usuários interagem com outros usuários. Constituem a tecnologia emergente que mais tem crescido nos últimos anos, especialmente com o uso da Web.

Como recurso didático, segundo Yamamoto e Barbeta (2001), as aplicações computacionais podem ser classificadas nas seguintes modalidades: tutorial, exercícios e práticas, demonstrativos, simuladores e jogos. As ferramentas computacionais mais utilizadas no laboratório de física são: a simulação de experimentos e as ferramentas para coleta e análise de dados. Nas aulas teóricas, o computador tem sido utilizado como uma forma de instrução assistida por computador e um modo de simulação de situações físicas. (ROSA, 1995 citado em YAMAMOTO e BARBETA, 2001).

Utilizando as técnicas da modelagem matemática e a simulação computacional é possível criar ambientes virtuais que permitam aos alunos explorarem alguns conceitos macroscópicos e microscópicos de sistemas físicos e químicos para os quais não existem modelos de referência acessíveis, relacionando-os com a representação simbólica, possibilitando a compreensão e a aprendizagem significativa dos conceitos.

Para Zamarro et al. (1998), a possibilidade por parte do aluno de aprender investigando se apresenta como uma importante característica na melhoria da aquisição de conhecimentos. O computador é uma ferramenta eficaz para o desenvolvimento do aluno, desde que lhe permita adquirir um conhecimento que possa ser utilizado em situações novas e distintas daquelas que tenha aprendido.

Conforme Vieira (1997) os programas de modelagem, simulação e de base de dados são ferramentas que podem possibilitar e facilitar a aprendizagem significativa dos conteúdos de Química.

Para que o desenvolvimento da aprendizagem mediada pelo computador apresente resultados, o aluno deve ser guiado de forma que a informação fornecida não se converta em um receituário que ele siga de maneira automática ou se limite a manipulação de um conjunto de dados, mas que lhe permita adquirir um conhecimento que passe a formar parte de sua bagagem cultural e possa ser utilizada em novas situações com as quais ele se confronte. Zamarro et al. (1998) propõem um suporte didático para a melhoria do processo de aprendizagem incorporando o uso de simulações, que apresenta as seguintes características:

*1 – A idéia básica de fornecer um modelo de simulação que possibilite descobrir e compreender o fenômeno físico ou químico numa seqüência crescente de complexidade.*

*2 – Propor questões e tarefas que orientem o estudante no objetivo de obter o modelo da simulação.*

*3 – Elaborar explicações que dêem ao estudante uma visão direta das propriedades que caracterizam o domínio.*

A idéia de aprender explorando é vista como algo positivo no processo de aprendizagem, desde que o aluno incorpore o conhecimento em sua estrutura cognitiva, o qual deve permanecer de forma mais estável do que quando ele for adquirido de forma passiva.

Citamos anteriormente que, para o ensino de física e de química as simulações computacionais têm tido aceitação crescente como forma de utilização do computador na construção de conceitos. Zamarro et all (1998) afirma que “As simulações gráficas interativas de fenômenos naturais e de experiências realizáveis graças às capacidades gráficas e de cálculo dos computadores auxiliam a compreensão dos mesmos e possibilitam a introdução de conceitos abstratos”. As simulações permitem tornar viáveis experimentos que só poderiam ser efetuados em laboratórios bem equipados.

O uso de programas de modelagem e simulação computacional nas salas de aula, sem um método de aplicação que promova a aprendizagem pode não resultar em uma melhoria significativa no aprendizado. Há estudos demonstrando que alguns métodos de aplicação de softwares desenhados para uso em programas de simulação contribuem de forma significativa para a melhoria da aprendizagem (WU, KRAJCIK e SOLOWAY, 2001; TAO e GUNSTONE, 1999). Então, optamos por investigar se estes métodos auxiliam a aprendizagem dos conceitos que descrevem o comportamento dos gases. Utilizamos a metodologia P.O. E (predict-observe-explain) proposta por White e Gunstone (1992) apud Tao e Gunstone (1999).

A escolha da modelagem e simulação computacional para o ensino da termodinâmica e da teoria cinética dos gases foi efetuada baseando-se nos relatos das dificuldades dos estudantes na aprendizagem do tema apresentados em diversas pesquisas (p.e.NIAZ, 2000).

### **3.3 A UTILIZAÇÃO DE UM AMBIENTE COMPUTACIONAL NO USO DA ESTRATÉGIA P.O.E.**

A elaboração de tarefas com base na estratégia prever-observar-explicar utilizando um ambiente computacional permite aos estudantes trabalhar em pequenos grupos e executar as tarefas propostas com motivação e entusiasmo quando se compara com a sua atuação no tradicional ambiente da sala de aula conduzido pelo professor.

Um programa desenvolvido num computador e baseado nessa estratégia pode ser o suporte para o compromisso dos estudantes com a aprendizagem, permitindo a eles moverem-se ao longo das questões em seu próprio ritmo. Esta autonomia dá aos alunos a oportunidade de discutirem e refletirem nas suas previsões, argumentos e observações. Uma simulação computacional é um ambiente onde a previsão e a observação, podem ser fisicamente separadas, porque nesta situação o aluno não possui acesso ao modo de como são gerados os resultados, apenas modifica os parâmetros para visualizar a solução do problema.

Também o ambiente computacional pode facilitar o uso de recursos multimídia permitindo aos estudantes observarem situações normalmente não possíveis de serem realizadas no laboratório pela dificuldade de elaboração, pelo custo, tempo ou perigo. As demonstrações podem mostrar interessantes fenômenos científicos que permitirão ir além dos limites temporais, perceptivos ou experimentais. Por exemplo, um vídeo digital é um ambiente que permite ao estudante utilizar ferramentas sofisticadas (p.e. *slow-motion* ou *step frame*), para fazer observações de roteiros complicados e também retomar réplicas exatas de demonstrações tantas vezes quantas for necessário. A fase de observação da estratégia P.O.E. é crucial na medida em que efetivamente provê o *feedback* do aluno nas suas previsões. A

observação ampla, tornada possível pelo uso da multimídia efetivamente melhora a qualidade do *feedback* nas predições dos estudantes. Estudos diversos (KEARNEY,2002; CROOKS, 1999) mostram que a natureza multimídia dos programas oportuniza um novo desenvolvimento para o uso da estratégia P.O.E. no ensino de ciências.

White e Gunstone (1992) apontam que uma parte essencial da estratégia P.O.E. é animar os estudantes a terem o compromisso com suas predições e argumentar antes de observar a demonstração. O programa permite ao estudante voltar atrás, revisar e redigir as predições e argumentos e também exigir que ele indique seu nível de compromisso nas respostas finais do grupo.

Na utilização da estratégia P.O.E. os professores devem selecionar coerentemente a seqüência de tarefas para possibilitar a observação de algumas demonstrações que possam dar a visão da “ciência correta” para as tarefas seguintes (WHITE e GUNSTONE,1992). Cada aluno, trabalhando em ritmo próprio, deve ter um tempo determinado para completar a tarefa, refletir nas suas idéias, discutir e tentar novas aproximações e reprisar o programa. As interações dos estudantes, quando trabalham em grupo pode fornecer informações sobre o seu desenvolvimento conceitual.

A utilização de tarefas fundamentadas no computador na estratégia P.O.E pode auxiliar o estudante a articular, justificar e refletir criticamente sobre as suas concepções científicas e as de seu parceiro, fornecendo a oportunidade para produzir consenso significativo e se tornar ciente de suas próprias concepções alternativas; facilitar o desenvolvimento das habilidades discursivas dos alunos e de se comprometerem no discurso da ciência; igualmente facilitar o desenvolvimento das habilidades dos estudantes no processo

científico (observar, prever, etc) e favorecer a consciência e a avaliação das relações integrais entre a ciência e o cotidiano dos estudantes.

### **3.4 CONSIDERAÇÕES PEDAGÓGICAS**

O professor desempenha papel fundamental na aplicação dessa estratégia de aprendizagem. As perguntas formuladas pelos estudantes relativas ao contexto da tarefa são essenciais para direcioná-los quando estão fazendo suas previsões como primeiro passo do procedimento P.O.E. A natureza do contexto apresentado no roteiro, baseado em recursos de multimídia, geralmente é complexo e a tarefa do professor consiste em clarear estes contextos sendo essencial prestar atenção às questões propostas pelos grupos. Os estudantes podem necessitar de orientação na execução das observações e no estágio da explicação quando são questionados a reconciliarem qualquer diferença existente com as suas previsões. Os professores também podem conduzir o estágio da explicação mediante a discussão em grande grupo. Durante a execução da atividade pode-se reservar um espaço de tempo para a realização de mini-experimentos que auxiliam os estudantes a considerarem as respostas dadas na execução da tarefa.

As tarefas desenvolvidas com a estratégia previsão-observação-explicação fundamentadas no uso do computador podem ser usadas como diagnóstico, uma ferramenta de avaliação pré-instrucional ou de avaliação pós-instrucional. Sendo as tarefas do roteiro escolhidas cuidadosamente, as respostas a elas indicarão fortes evidências das concepções pessoais dos alunos, em contraste com o “conhecimento escolar formal” numa dada disciplina (WHITE e GUNSTONE,1992).

Um dos papéis fundamentais da estratégia P.O.E. baseada no uso do computador é registrar as respostas dos alunos e confrontar isto com as respostas do professor, utilizando-as para planejar o ensino subsequente e ter acesso às concepções alternativas comuns (WHITE e GUNSTONE, 1992).

Separadamente da função diagnóstico, as tarefas podem apresentar resultados positivos para o processo de aprendizagem significativa. Quando utilizado como ambiente de aprendizagem, os resultados podem ser significativos e, dependendo da seleção dos componentes dos grupos e da familiaridade dos estudantes com a estratégia de aprendizagem, a atividade do professor é facilitada durante a execução das tarefas. Os estudantes podem executar individualmente a tarefa, mas perdem importante oportunidade para articular, discutir e refletir sobre as suas próprias concepções e dos colegas em diferentes perspectivas. Do ponto de vista da visão construtivista social, os estudantes trabalhando em pequenos grupos podem testar a viabilidade do novo conhecimento, sustentar com seu parceiro a conexão das novas idéias com a experiência pessoal e o conhecimento existente e discutir o conhecimento compartilhado.

Finalmente, é desejável que os usuários se familiarizem com a estratégia P.O.E. antes de utilizarem o programa. Para a aula tradicional, a introdução ideal é uma demonstração utilizando uma tarefa estruturada na estratégia P.O.E. Uma consideração pedagógica importante é que as tarefas podem ser respondidas nas aulas posteriores. É recomendado favorecer a discussão em pequenos grupos ou com a classe inteira, preferencialmente auxiliada com a exibição das respostas selecionadas e as concepções alternativas comuns (WHITE e GUNSTONE, 1992).

A estratégia P.O.E. é uma estrutura fundamental auxiliar para um ambiente computacional de aprendizagem. Cada tarefa é baseada em torno da estratégia P.O.E. e estrutura o entrosamento do aprendiz com a demonstração digital. Sem isso, a interação do estudante com as demonstrações, pode tornar-se passiva e a mesma se torna sujeita a síndrome do “clique descuidado”.

### **3.5 O USO DA COMPUTAÇÃO PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

O desempenho dos alunos no processo ensino-aprendizagem mediado pelo computador tem sido objeto de estudo de diversas pesquisas desenvolvidas (p.e. TAO e GUNSTONE, 1999a). Os estudos desenvolvidos mostram que os computadores apresentam um grande potencial para melhorar o desempenho dos estudantes, se eles forem utilizados adequadamente como parte de um modo correto de educação.

As novas tecnologias proporcionam a oportunidade para a criação de ambientes de aprendizagem que ampliem as possibilidades das tecnologias tradicionais, oferecendo novas possibilidades anteriormente não acessíveis. Esquembre (2001) indica algumas possibilidades de utilização das novas tecnologias, como trazer situações baseadas em problemas do mundo real para a sala de aula, as quais desafiem os estudantes a buscarem a solução, proporcionando a estrutura e as ferramentas que possibilitem a aprendizagem. Igualmente devem dar aos estudantes e professores a oportunidade de realização do feedback, da reflexão e revisão das idéias.

O modo como os computadores podem ser utilizados para melhorar a qualidade do ensino é variada, ajudando na compreensão dos fenômenos e na introdução de conceitos

abstratos. Os computadores facilitam a compreensão dos fenômenos naturais e a realização de experimentos, graças a suas capacidades de cálculo e gráficas. O uso de simulações para a representação de processos, modelos ou conceitos relevantes, a representação de conceitos abstratos, o controle de escalas de tempo e a simulação de mundos hipotéticos são considerados aspectos típicos que fazem com que o computador introduza diferenças qualitativas no processo didático. No processo da simulação, pode-se inverter o modo habitual de ensinar, mostrando inicialmente o fenômeno através da utilização da visualização gráfica e de representações tridimensionais e então apresentar o modelo matemático.

No complexo mundo da aprendizagem a possibilidade do aluno aprender investigando é uma característica importante na melhoria da aquisição de conhecimentos. Para que o desenvolvimento mediante o uso do computador seja eficiente deve-se orientar o aluno de forma que a informação que se lhe ministra não se converta em um simples receituário que ele siga de modo automático, nem ser escassa que se limite a jogar com a simulação, sem realizar a tarefa de investigação que lhe permita adquirir um conhecimento que passe a formar parte de sua bagagem cultural, podendo ser utilizada em novas situações.

Os limites exploratórios que permitem a simulação computacional necessitam serem combinados com outras medidas que possibilitem um sistema de aprendizagem eficiente.

Utilizando o computador para conseguir alto rendimento no processo de aprendizagem que incorpora o uso de simulações, a idéia básica é a oferta de um modelo progressivo da simulação para descobrir e compreender um fenômeno físico ou químico mostrando as propriedades de domínio de um modo gradual ao estudante e oferecendo uma seqüência de modelos numa escala crescente de complexidade.

A idéia de aprender explorando é admitida principalmente como algo positivo no processo de aprendizagem, uma vez que o estudante encontre algo explorando por si mesmo, este conhecimento deverá permanecer de forma mais estável do que quando é adquirida de forma passiva. A simulação é uma ferramenta ideal para que se produza esse tipo de aprendizagem, porém embora existam estudantes com capacidade de iniciativa para obter bons resultados com este tipo de ferramenta, a maioria dos alunos necessita de orientação e de sugestões para que este recurso seja aproveitado de forma adequada. Manter um equilíbrio entre a liberdade do aluno para explorar o ambiente e as ferramentas utilizadas nesse processo é o elo que estabelece a qualidade do produto. Sem estas orientações, o aluno apenas jogará com a simulação, mas dificilmente aprenderá algo.

## **4 O COMPORTAMENTO DOS GASES**

Neste capítulo apresentamos a evolução das idéias sobre o comportamento dos gases e a teoria cinética dos gases e o modo como este tema é apresentado nos manuais de ensino de física e de química utilizados no ensino médio e no ensino superior.

### **4.1 VISÃO HISTÓRICA**

Até o século XVII utiliza-se o termo ar para identificar as substâncias que se encontram no estado ‘gasoso’. Robert Boyle em 1660 publica o resultado de suas pesquisas sobre o comportamento elástico do ar; no livro ‘New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air and its Effects’ propõe uma explicação teórica para a elasticidade do ar considerando-o formado por pequenos corpos ligados por molas, sem movimento independente, constituindo um fluido elástico e introduz o conceito de pressão. Propõe, de forma qualitativa, a relação de proporção inversa entre a pressão e o volume do ar contido em um recipiente, denominada hoje de lei de Boyle; também constata que a viscosidade do ar independe da sua densidade. Porém, não identifica de que forma é a força que existe entre os “átomos”.

Na obra ‘Phylosophia Naturalis Principia Mathematica’ publicada em 1687 Isaac Newton explica o comportamento de fluidos quando comprimidos: “Se um fluido é composto

de partículas que exercem forças repulsivas sobre seus vizinhos, a intensidade da força é inversamente proporcional à distância que separa essas partículas quando a pressão for inversamente proporcional ao volume”. Conforme Brush (1976) citado por Niaz (2000), Newton proveu uma das primeiras explicações da lei de Boyle nos seus Principia.

Em 1720, ao publicar ‘Hydrodynamica’, Daniel Bernoulli apresenta as bases da teoria cinética dos gases, propondo a idéia de que os ‘átomos’ são esferas rígidas que se chocam continuamente por estarem em movimento; a colisão dessas esferas com as paredes do recipiente é que produz a pressão. Porém, nesse período a predominância das idéias de Newton sobre a interação entre os ‘átomos’ dificulta o desenvolvimento de uma teoria cinética dos gases.

Conforme Niaz (2000), “em 1857 Rudolf Clausius publica diversos artigos sobre a teoria cinética; retomando a idéia de átomo como uma esfera rígida; explica a pressão e a temperatura do gás em função da velocidade das partículas; demonstra que, devido as constantes colisões as moléculas percorrem pequenos trechos, que ele denomina de caminho livre médio”. O texto de Niaz (2000) descreve o trabalho de Clausius citando:

*“Seu modelo para a teoria cinética apresenta as seguintes hipóteses: (i) o espaço preenchido pelas moléculas do gás deve ser infinitesimal em comparação com o espaço inteiro ocupado pelo gás; (ii) a duração do impacto das moléculas deve ser infinitesimal comparado com o intervalo de tempo entre as colisões; (iii) a influência das forças intermoleculares deve ser infinitesimal”.*

Cita Niaz (2000), “Em 1860 James Clerk Maxwell propõe um novo modelo para a teoria cinética dos gases, formulando as seguintes hipóteses: (1) os gases estão compostos de partículas em movimento rápido; (2) as partículas são esferas perfeitamente elásticas; (3) as partículas só interagem entre si durante as colisões; (4) o movimento das partículas está sujeito aos princípios da mecânica newtoniana; (5) a velocidade das partículas aumenta com

aumento da temperatura do gás; (6) as partículas se movem com velocidade constante em linhas retas contra os lados do recipiente, produzindo a pressão; (7) a derivação da lei de distribuição assume que as componentes  $v_x$ ,  $v_y$ , e  $v_z$  da velocidade são independentes”.

Aparentemente, devido à autoridade de Newton, Maxwell em seu paper de 1875 "Na evidência da dinâmica da constituição molecular de corpos" reitera que os princípios newtonianos eram aplicáveis a partes não observáveis dos corpos. Bruschi (1976), citado por Niaz (2000) mostra uma contradição explícita "*As leis de Newton da mecânica são no final das contas a base da teoria cinética dos gases, entretanto esta teoria teve que competir com a teoria das repulsões atribuída a Newton*".

Conforme o modelo de Clausius, as moléculas adquiriam uma velocidade comum entre elas após sucessivas colisões; Maxwell propõe a hipótese de que as constantes colisões intermoleculares produzem uma distribuição estatística das velocidades, na qual todas as velocidades poderiam ocorrer com uma probabilidade conhecida.

No mesmo período, em 1873 Johannes Diderik van der Waals apresenta sua tese de doutoramento "Over de Continuïteit van den Gas – en Vloesistoestand (On the continuity of the gas and liquid state)", onde propõe uma equação de estado que abrange simultaneamente os estados gasoso e líquido. Nessa equação van der Waals insere coeficientes que descrevem as interações de repulsão e de atração intermoleculares.

## **4.2 TEORIA DOS GASES IDEAIS**

Como citamos anteriormente a teoria cinética dos gases descreve o comportamento do sistema gasoso do ponto de vista microscópico e é compatível com a descrição empírica relacionando as variáveis macroscópicas (pressão, volume, temperatura) que caracterizam o estado termodinâmico na equação de estado  $pV = nRT$ . Esta equação refere-se ao sistema gasoso definido como 'gás ideal'. O modelo do gás ideal funciona de modo bastante satisfatório porque a maior parte dos sistemas gasosos investigados na época do desenvolvimento deste conceito eram sistemas de baixa pressão (NETZ e ORTEGA, 2002).

No gás ideal não há interação entre as moléculas, exceto nas colisões; as moléculas se movem em linha reta com velocidade constante entre colisões sucessivas; o volume efetivamente ocupado pelas moléculas é desprezível quando comparado com o volume do recipiente. Estritamente falando, o volume molecular de um gás ideal é nulo, conforme Netz e Serrano (2002).

O desenvolvimento da teoria dos gases ideais como foi descrito anteriormente, pode ser caracterizado através de sucessivas etapas de descobertas e formulação de hipóteses e modelos matemáticos. A seqüência dos estudos está mostrada a seguir:

-Relação pressão-volume: aproximadamente em 1660, de forma independente, Robert Boyle e Edme Mariotte estudaram o modo como o volume ocupado por um gás varia com a variação da pressão, para uma dada temperatura. Seus resultados verificaram que  $V \propto 1/P \Leftrightarrow P \propto 1/V \Rightarrow P.V = k$ , quando  $T$  é constante e  $k$  é a constante de proporcionalidade entre as duas variáveis.

-Relação volume-temperatura: em 1787, Jacques Charles e de 1802 a 1808, Joseph Gay-Lussac estudando o comportamento de alguns gases, demonstram que eles se expandem

na mesma proporção quando aquecidos em pressão constante. Seus resultados verificam que  $V \propto T \Leftrightarrow V=aT$ , quando  $P$  é constante; essa expressão descreve a Lei de Charles.

-Relação pressão-temperatura: no período citado, Joseph Gay-Lussac estudou o comportamento de alguns gases e demonstrou que a variação de pressão ocorria na mesma proporção que a variação da temperatura quando aquecidos em volume constante. Seus resultados verificaram que  $P \propto T \Leftrightarrow P=aT$ , quando  $V$  é constante; essa expressão descreve a Lei de Gay-Lussac.

Relação volume-quantidade de moléculas: um dos resultados dos trabalhos de Joseph Gay-Lussac mostrou a lei da combinação dos volumes: Quando medidos sob as mesmas condições de temperatura e pressão, os volumes dos reagentes e produtos gasosos de uma reação estão em razões de números pequenos e inteiros. Essa relação foi explicada por Amedeo Avogadro em 1811, ao propor, como ficou conhecido, o ‘*Princípio de Avogadro*’: “em pressão e temperatura constantes o volume de uma amostra de um gás é proporcional ao número de moléculas na amostra”. Isso pode ser expresso como:  $V \propto n$ , ( $T, P$  constantes)

As leis de Boyle, Charles e o princípio de Avogadro são enunciados de proporcionalidade que descrevem gases ideais. Elas podem ser resumidas como:

*Lei de Boyle:*  $V \propto 1/P$  ( $T, n$  constantes)

*Lei de Charles:*  $V \propto T$  ( $P, n$  constantes)

*Princípio de Avogadro:*  $V \propto n$  ( $T, P$  constantes).

Combinando as três proporcionalidades obtemos:  $V \propto \frac{1}{P}(T.n)$  que pode ser reescrita

na forma da igualdade:  $\frac{V \cdot p}{T \cdot n} = R$ , onde  $R$  é a constante de proporcionalidade, denominada de

constante universal dos gases. A igualdade normalmente é escrita na forma  $pV = nRT$ , sendo conhecida como lei do gás ideal.

A figura 1 mostra o comportamento da pressão e do volume de uma determinada quantidade de um gás ideal, submetida a um processo isotérmico, para diferentes valores da temperatura. Nela observa-se que, para iguais volumes iniciais, as pressões apresentam valores diferentes e proporcionais às temperaturas nas quais ocorrem os processos.

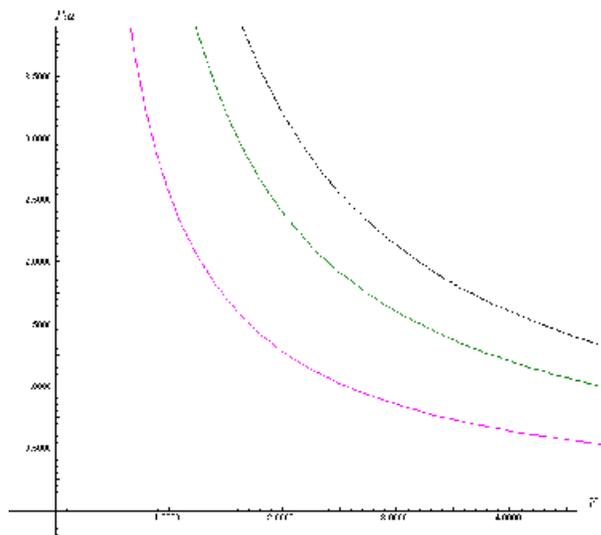


Figura 1: Isotermas de um gás ideal, para as temperaturas 80K, 60K e 33 K.  
Captura da tela do programa Modellus mostrando as diferentes isotermas.

### 4.3 TEORIA DOS GASES REAIS

O gás ideal é um modelo que incorpora apenas as características consideradas mais importantes para a descrição do sistema físico. No modelo de gás ideal, as interações são

consideradas nulas o que faz com que este modelo seja (em determinadas condições) aplicável a qualquer tipo de gás. Os gases que existem na natureza, contudo, são gases constituídos de moléculas que apresentam interações, ainda que muito débeis.

Quando estudamos o comportamento dos gases reais observamos que eles se comportam como gases ideais apenas em altas temperaturas ou em pressões ou densidades baixas (GONÇALVES, 1969). Em condições normais, a maioria dos gases reais tem comportamento que se desvia apenas levemente do ideal. Em sistemas a alta pressão, que começaram a ser importantes com o avanço da tecnologia, contudo o comportamento dos gases reais desvia-se consideravelmente do comportamento dos gases ideais. Os gases reais apresentam desvios em relação à lei dos gases reais em virtude das interações moleculares. Para descrever o comportamento do gás real devem ser efetuadas modificações na equação de estado com a introdução de parâmetros que descrevam as interações intermoleculares, tanto atrativas quanto repulsivas.

As forças de repulsão intermolecular resultam de interações de curto alcance e só se tornam significativas quando a distância média entre as partículas é da ordem do diâmetro molecular. As forças de atração intermolecular são de longo alcance e se manifestam até a distâncias de diversos diâmetros moleculares. Estritamente falando, não há limite para a expansão. Quando as forças atrativas forem tão acentuadas, a ponto de limitarem a expansão, teremos o sistema no estado líquido. As interações repulsivas entre as partículas de um gás são levadas em conta admitindo-se que cada molécula comporta-se como uma pequena esfera rígida e impenetrável, que apresenta volume não-nulo. Em conseqüência, cada molécula movimenta-se num volume  $V-nb$ , menor que o volume ocupado pelo gás. A parcela  $nb$  corresponde ao volume ocupado pelas próprias moléculas sendo denominado de co-volume; o

fator  $b$  é uma constante característica do gás e representa o volume por unidade de quantidade de matéria. A expressão da equação de estado do gás que leva em consideração o co-volume é expressa por  $p(V - nb) = nRT$ . A pressão do gás depende da frequência das colisões com as paredes e da força de cada colisão, as quais são reduzidas, independentemente, pelas forças atrativas que atuam com intensidade proporcional à concentração molar,  $\frac{n}{V}$  das moléculas da amostra de gás. Como a frequência e a força das colisões são reduzidas cada qual isoladamente pelas forças atrativas, a pressão é reduzida proporcionalmente ao quadrado da concentração molar. Escrevendo a redução da pressão como  $-a\left(\frac{n}{V}\right)^2$ , onde  $a$  é uma constante positiva característica de cada sistema gasoso e representa o produto da pressão vezes o quadrado do volume dividido pelo quadrado da quantidade de matéria. Os efeitos combinados das interações atrativas e repulsivas permitem escrever a equação de estado dos gases na forma:  $p(V - nb) - a\left(\frac{n}{V}\right)^2 = nRT$ . A expressão que leva em consideração esses parâmetros é denominada de equação de Van der Waals (NETZ e ORTEGA, (2002); ATKINS,2001).

A figura 2 mostra o comportamento de um gás real submetido a um processo isotérmico, para diferentes temperaturas. Nela observa-se que, para volumes iguais os valores das pressões são diferentes e proporcionais à temperatura; a curva próxima dos eixos coordenados apresenta a região de transição de fase do sistema gás-líquido.

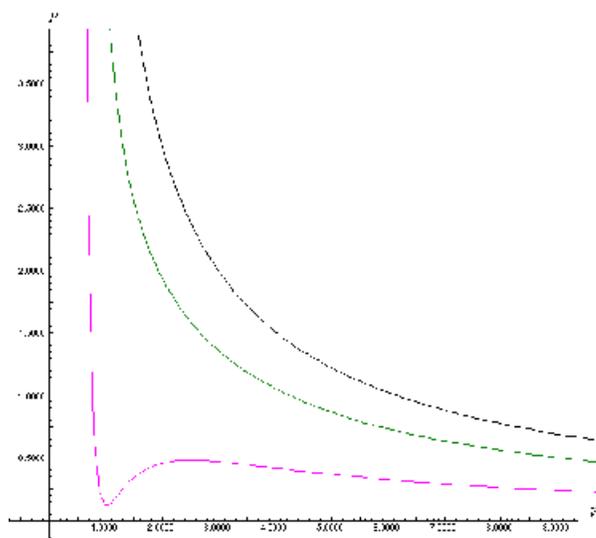


Figura 2: Isothermas de um gás real para as temperaturas 80K, 60K e 33 K. Captura da tela do programa Modellus mostrando as diferentes isothermas.

## **5 APLICAÇÃO DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

O presente capítulo é dedicado a caracterizar a modelagem matemática e as simulações computacionais. Inicialmente são apresentadas as características das simulações computacionais e sua importância para o ensino de física e de química. A seguir são relatados os procedimentos e critérios adotados na elaboração do guia de ensino desenvolvido para o ensino do comportamento dos gases.

### **5.1 A COMPREENSÃO DO COMPORTAMENTO DOS SISTEMAS GASOSOS**

No estudo da interpretação pelos estudantes do comportamento dos sistemas químicos, Gabel (1993), Johnstone (1993) apud Wu, Krajcik e Soloway (2001) identificam três níveis de representação dos sistemas físicos e químicos: o nível macroscópico (sensorial); o nível microscópico (atômico/molecular) e o nível simbólico. No nível macroscópico, por exemplo, são observáveis processos como a expansão de um balão de ar aquecido; no nível microscópico são descritos a forma, o arranjo, a distribuição e o movimento de moléculas e átomos. No nível simbólico a representação é feita por equações, gráficos, fórmulas, diagramas e estruturas. A compreensão pelos estudantes dos processos físicos e químicos nos níveis simbólico e microscópico é dificultada porque os mesmos são abstratos e invisíveis e as

peças interpretam e descrevem o mundo através dos sentidos. Para muitos estudantes a compreensão da química está restrita pelas experiências perceptíveis de sua vivência diária, tendendo eles a ficar no nível macroscópico e são inábeis na visualização e interpretação das representações microscópicas ou simbólicas. A figura 3 mostra os níveis de representação de um sistema gasoso contido em um cilindro munido de um pistão durante um processo de aquecimento isotérmico.

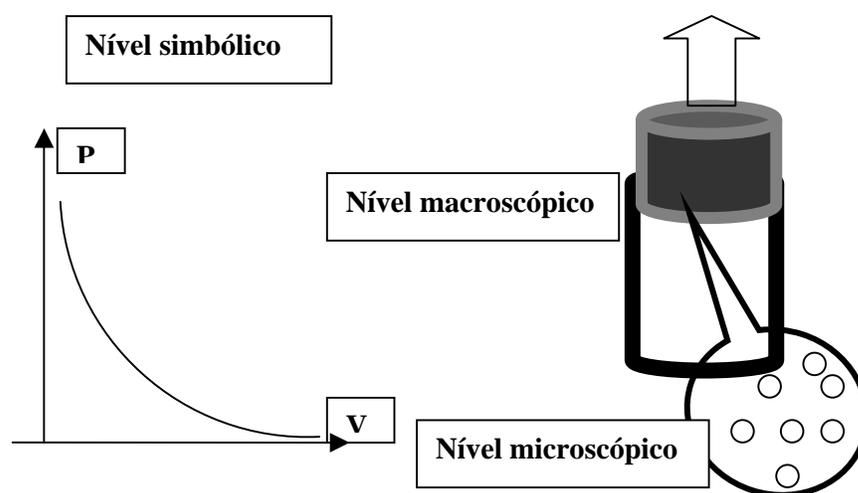


Figura 3: Níveis de representação molecular de um sistema gasoso

Estudos realizados com estudantes de diferentes níveis de ensino (p.e. NIAZ, 2000) mostram que os alunos encontram dificuldades na construção e interpretação das relações entre as variáveis macroscópicas como a pressão, o volume e a temperatura que descrevem o estado de um sistema gasoso. Essas pesquisas também revelam as dificuldades dos estudantes na interpretação do comportamento microscópico de sistemas gasosos. Diversas pesquisas (NIAZ e ROBINSON, 1993 citado em NIAZ, 2000) indicam que, no processo de ensino do comportamento dos gases predomina a representação dos sistemas no nível simbólico, com ênfase na resolução de problemas numéricos.

O uso de experimentos didáticos tem se mostrado um bom recurso para que os estudantes tenham aprendizagem dos conceitos estudados em muitos campos da física como, por exemplo, aplicações das leis de Newton, a conservação da energia mecânica, o princípio das trocas de calor, os circuitos elétricos, dentre outros. Porém, nos laboratórios tradicionais, pela ausência de equipamento adequado, nem sempre são dadas condições para que o estudante investigue o comportamento dos sistemas gasosos através das relações entre as grandezas termodinâmicas macroscópicas. Assim, para ajudar os estudantes na compreensão dos processos nos três níveis, são sugeridas uma variedade de abordagens instrucionais, por exemplo, a utilização de recursos computacionais.

## **5.2 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DE FÍSICA E DE QUÍMICA**

A base da modelagem por computador - a experimentação matemática - é uma ferramenta para conectar os fenômenos observados com os processos causais. A compreensão do funcionamento do mundo físico depende da nossa habilidade para construir modelos sobre este. Os modelos particularmente são valiosas ferramentas mentais, porque simplificam as complexidades do mundo real, permitem concentrar nossa atenção em determinados aspectos e isso é de interesse e significação. Sugere-se até mesmo que a habilidade para criar, examinar, e refinar tais modelos é crucial para a compreensão do mundo e que sem esta habilidade, não poderíamos literalmente "pensar como humanos".

A modelagem fundamentada no computador é particularmente poderosa quando for unida à habilidade do computador para simular o sistema modelado e exibir seu

comportamento por meio de gráficos. A modelagem fornece uma ferramenta central e fundamental para descrever e explorar fenômenos complexos. Em tempo real modelos interativos com exibições animadas - os mesmos tipos de ferramentas que são usadas com grande benefício na pesquisa científica - podem ser acessíveis para utilização pelos estudantes. Os modelos e ferramentas de modelagem como as que os estudantes trabalham são estruturas mais simples do que as usadas pelos cientistas, mas o caráter fundamental da atividade modeladora é a mesma.

De acordo com Esquembre (2001), “As ferramentas de modelagem beneficiam-se das mesmas vantagens educacionais das simulações acrescidas da possibilidade de permitir que o estudante torne explícitas as suas concepções”.

No processo de modelagem os estudantes recebem um jogo de ferramentas que os ajuda a descrever as relações entre conceitos, percorrer os modelos resultantes e comparar os resultados com o conhecimento formal ou com as experiências de laboratório.

As ferramentas de modelagem podem ajudar os estudantes a entenderem as equações como relações físicas entre grandezas, fazer sentido da tradução entre representações, dar atrativo aos estudantes, possibilitar aprender experiências e servir como bloco nos quais os estudantes podem explicar a sua compreensão ao colega ou aos professores, ajudando assim o estudante a visualizar o que está pensando. As simulações provêm um ambiente para explorar conceitos novos, para a compreensão da interação entre fenômenos complexos relacionados e para a construção de modelos simplificados do funcionamento dos tópicos que estão em estudo.

### **5.3 A DESCRIÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA E DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O ENSINO DO COMPORTAMENTO DOS SISTEMAS GASOSOS**

A modelagem e a simulação utilizadas na pesquisa foram desenvolvidas através do software *Modellus* (TEODORO, VIEIRA e CLÉRIGO, 2002). O software *Modellus* é uma ferramenta que possibilita modelar e simular atividades experimentais em diferentes áreas do conhecimento. Apresenta recursos para a modelação através da utilização de ferramentas matemáticas como funções, derivadas e equações diferenciais, visualizadas através de tabelas, gráficos, animações.

Ao discutirem a importância da modelagem no ensino/aprendizagem de Física, Veit e Teodoro (2001) descrevem que o “*Modellus* é uma ferramenta cognitiva para auxiliar a internalização de conhecimento simbólico, preferencialmente em contexto de atividades de grupo e de classe, em que a discussão, a conjectura e o teste de idéias são atividades dominantes, em oposição ao ensino direto por parte do professor”.

Também foi utilizado o programa Teoria Cinética dos Gases, componente do software *SCIENS* (*freeware*) desenvolvido pelo grupo da Experimentoteca/Ludoteca do Instituto de Física da USP e que apresenta um conjunto de programas que simulam fenômenos e processos físicos e químicos através da manipulação das variáveis que caracterizam a situação proposta. O programa utilizado é a simulação da Teoria Cinética dos Gases que descreve o comportamento de um gás ideal, podendo-se variar volume e temperatura.

#### 5.4 O USO DO MODELLUS NA ESTRATÉGIA POE

Conforme Veit e Teodoro (2001) o software “*Modellus*, como outras ferramentas computacionais, permite ao usuário fazer e refazer *representações, explorando-as sobre as mais diversas perspectivas*. Deste modo, facilita a *familiarização* com essas representações, criando de certo modo uma *intimidade entre aprendiz e representação*, intimidade essa que muito dificilmente resulta da simples *observação ocasional* de equações e representações feitas pelo professor ou apresentadas nos livros. Essa *intimidade*, por outro lado, é fundamental para a *reificação* dos objetos formais, algo que é imprescindível no desenvolvimento do pensamento científico”.

O Modellus é uma ferramenta de modelagem, simulação e cálculo que possibilita o estudo de fenômenos e processos físicos, químicos, entre outros, e que podem ser descritos através de modelos matemáticos. Abrange desde conceitos simples, como as relações de proporção direta até a resolução de sistemas de equações diferenciais ordinárias.

Quando o programa é aberto a barra de ferramentas apresenta um menu onde constam os seguintes itens: Modelo, Janelas, Casos e Acerca, onde cada ítem possibilita a realização de novas ações.

A figura 4 apresenta a captura da janela do Modellus, visualizando-se os quadros Modelo, Controle, Animação, Condições Iniciais e Gráfico.

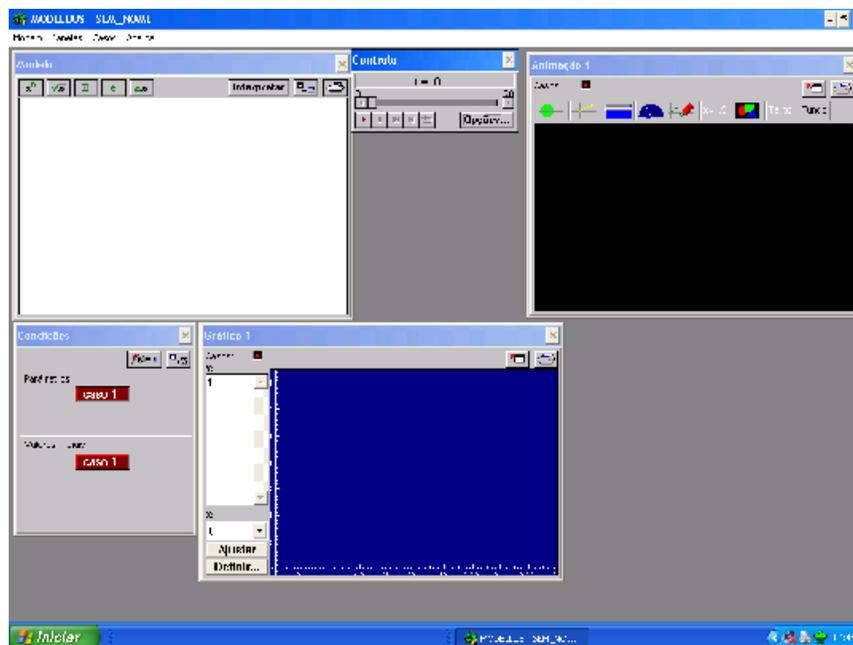


Figura 4: Captura de tela das Janelas do Modellus.

Para implementar o modelo do comportamento de sistemas gasosos no Modellus escreve-se na janela Modelo a equação que descreve a transformação gasosa a ser analisada, inserem-se os parâmetros nas condições iniciais e faz-se rodar o programa no comando controlo. O programa constrói os gráficos e executa a animação que for solicitada.

Após a implementação do modelo, antes de ativar o botão começar, os estudantes devem responder a questões de natureza matemática, como: Qual será a forma do gráfico  $P \times T$ ? Qual será a forma do gráfico  $V \times T$ ? Qual será a forma do gráfico  $P \times V$ ?

Iniciada a simulação, os estudantes devem observar com atenção as características dos diferentes gráficos que estão sendo construídos, comparar com os diagramas que eles construíram e verificar se as hipóteses propostas inicialmente estão sendo confirmadas.

Para a interpretação dos gráficos são formuladas questões de análise do comportamento de um gás ideal nas transformações isocóricas num plano  $PxT$ ; nas transformações isobáricas no plano  $VxT$ ; as transformações isotérmicas no plano  $PxV$ . O processo é efetuado acompanhando a expansão ou a compressão do gás.

## **6 METODOLOGIA E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS**

Neste capítulo são abordados a metodologia e os instrumentos utilizados na pesquisa. Em relação aos instrumentos são relatadas as características e procedimentos utilizados na construção, aplicação e análise dos mesmos. No final são mostradas as principais características da amostra e cronograma de intervenção.

### **6.1 CARACTERÍSTICAS DA METODOLOGIA UTILIZADA**

Inicialmente, efetuamos o levantamento dos livros, textos e periódicos que tratam dos temas relacionados com a pesquisa (modelagem e simulação computacional, teoria cinética dos gases e cognição) fazendo-se a seleção dos que foram considerados mais relevantes para o projeto. A partir da pesquisa bibliográfica efetuada foi esboçado e formulado o presente trabalho.

A primeira parte do estudo culminou com a aplicação de um teste a uma amostra formada por alunos da UCS, denominada de grupo C, matriculados nas disciplinas de Termodinâmica e Termodinâmica para Químicos, após eles estudarem o conteúdo relacionado com o comportamento dos gases em aula expositivo-dialogada; a uma amostra de alunos da

ULBRA e da UNILASSALE, que constituíram o grupo B, inscritos na disciplina Físico-Química 1, foram aplicados o pré-teste, seguido do uso do tutorial e finalmente do pós-teste no 2º semestre de 2002. Os instrumentos utilizados no pré-teste e no pós-teste encontram-se no anexo II. Após a análise da primeira aplicação realizada com os alunos da UCS (BALEN, NETZ, SERRANO, 2003), quando foram considerados os níveis de representação como referência para identificação das concepções dos estudantes, foram feitas correções e reformulações nos instrumentos de coleta de dados. No primeiro e no segundo semestre de 2003 foram realizadas as intervenções finais, com a aplicação dos questionários de pré-teste e pós-teste e do guia de estudos elaborado na forma de um tutorial a uma amostra formada pelos alunos da UCS (grupo A), da ULBRA e da UNILASSALE (grupo B). Durante o desenvolvimento do projeto foram feitas diversas reformulações nos testes e na última versão foram utilizadas questões de escolha múltipla para as quais o aluno deveria justificar a resposta escolhida.

A análise dos instrumentos aplicados aos grupos A, B e C foi efetuada utilizando-se métodos qualitativos e métodos quantitativos. Na coleta de dados prevaleceu a metodologia qualitativa, sob a forma de questões discursivas, porém também foram aplicados testes de escolha múltipla. Visando a validação e a fidedignidade dos instrumentos coletados foi realizada uma análise quantitativa utilizando-se como ferramenta o software estatístico SPSS.

Os dados qualitativos coletados também tiveram a análise quantitativa. Greca (2001), ao fazer comentários relativos à metodologia utilizada pelos pesquisadores que elaboraram os 130 trabalhos aceitos para apresentação oral no III ENPEC, defende a necessidade de se fazer uso mais intenso da integração entre as abordagens qualitativa e quantitativa nas pesquisas desenvolvidas na área de ensino de ciências.

A análise dos dados coletados foi executada em duas etapas. Inicialmente, partindo da visão geral dos dados coletados, os resultados foram interpretados levando-se em consideração os níveis de representação, utilizando as categorias: C – correto; PC – parcialmente correto; E – errado e NR - não respondeu. Esta categorização possibilitou identificar a compreensão dos alunos de cada nível de representação, bem como das relações entre os diferentes níveis de representação. Essa etapa foi realizada com a amostra de alunos que formaram o grupo C, matriculados nas disciplinas de Termodinâmica e Termodinâmica para Químicos, os quais responderam ao teste após assistirem aulas expositivo-dialogadas.

Na segunda etapa, os alunos dos grupos A e B responderam ao pré-teste, sendo então aplicado o tutorial e o pós-teste. Nessa etapa caracterizaram-se as respostas dadas, classificando-as nas seguintes categorias CT – compreensão total, quando o aluno respondeu de acordo com o modelo aceito pelo formalismo da física e da química; CP – compreensão parcial, quando a resposta foi parcialmente correta, apresentando falhas nos conceitos ou na interpretação gráfica do sistema; nessa categoria incluímos as concepções alternativas dos estudantes; CE, concepção errônea; quando o aluno respondeu utilizando argumentos sem nexo; NC, nenhuma compreensão ou indefinido quando o estudante não respondeu. A metodologia adotada na análise seguiu a utilizada em diversas pesquisas no ensino de ciências, destacando-se Lin, Cheng e Lawrenz (2000) e Barnea e Dori (2000).

Também foi feita a classificação das respostas em termos da identificação do perfil conceitual dos alunos, baseada nas categorias propostas por Mortimer (2000) para identificar os conceitos dados a sólidos, líquidos e gases. Usamos as categorias substancialista e atomista clássica para classificar as respostas dadas pelos alunos a questões que envolviam a descrição do comportamento microscópico dos gases. Os resultados são mostrados no anexo III.

A modelagem e a simulação computacional foram as ferramentas utilizadas para explorar conceitos fundamentais para o estudo dos gases como (1) as leis que descrevem o estado macroscópico de um gás ideal; (2) a inclusão de parâmetros que descrevem a atração e a repulsão entre as moléculas; (3) identificar a forma dos gráficos que relacionam as variáveis de estado do sistema gasoso. Conforme estudo de Gabel, Samuel & Hunn (1987), citado por Wu, Krajcik e Soloway (2001), a aprendizagem dos níveis macroscópico e microscópico dos sistemas gasosos são de difícil aprendizagem porque sua compreensão dos processos químicos baseia-se nas informações obtidas no nível sensorial pelos estudantes, que propõem concepções alternativas ao interpretá-los.

Através dos resultados quantificados, foi analisada a compreensão dos conceitos pelos estudantes através de comparações (entre momentos e entre grupos) e testes de correlações entre os conceitos. Nessa etapa foi utilizado o programa estatístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), onde foram realizados os seguintes testes:

- *Teste de significância para uma média populacional ou teste t-student para verificar as médias de compreensão dos conceitos, em ambos os grupos (experimental e controle), em diferentes momentos (pré e pós-testes). No teste t-student a comparação entre as médias foi considerada significativa quanto p era menor que 5% ( $p < 0,05$ ).*
- *Testes não paramétricos (qui-quadrado); coeficiente de contingência; Kendall's tau-b; correlações de Spearman e de Pearson's; teste de Kolmogorov-Smirnov; teste de Wilcoxon.*

## **6.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS**

Os instrumentos utilizados para a coleta de dados são constituídos do pré-teste, para avaliação do perfil conceitual e identificação de concepções alternativas de cada estudante antes da intervenção, do pós-teste, aplicado para avaliar o perfil conceitual de cada aluno e verificar se houve aprendizagem significativa, conforme propõe Ausubel (1976) citado por Moreira (2001). Também foram utilizadas as respostas do guia de modelagem e simulação produzidas pelos estudantes e foi avaliada a estratégia de ensino.

### **6.2.1 O Pré-Teste e o Pós-Teste.**

Para verificar se ocorreu uma evolução ou a mudança conceitual, foram utilizados pré-testes e pós-testes, mostrados no anexo II. Nos testes que antecederam o processo de ensino buscou-se avaliar as concepções dos estudantes sobre o assunto e nos testes que sucederam a aplicação do tutorial procurou-se avaliar se os estudantes utilizavam as concepções científicas ou mantinham suas próprias concepções para interpretar o fenômeno (MORTIMER, 2000).

Para os instrumentos utilizados no pré-teste e do pós-teste foram elaboradas duas questões de múltipla escolha, das quais o estudante deveria selecionar a resposta correta e explicar a escolha, seja através de gráfico, equações ou texto. As questões de múltipla escolha foram adaptadas do artigo de Niaz (2000). Também quatro questões dissertativas foram propostas, aonde o aluno deveria responder a pergunta explicando-a através de texto ou de gráfico. Para as respostas das questões não havia necessidade de resolução algorítmica/numérico, sendo possível respondê-las apenas conceitualmente. O estudante pôde responder através de conceitos, esquemas ou diagramas. As questões procuravam focar os diferentes níveis de representação dos sistemas gasosos: macroscópico, microscópico e

simbólico (JOHNSTONE, 1993; GABEL, 1998 citados por WU, KRAJCIK, SOLOWAY, 2001).

O resultado esperado na aplicação dos pré-testes é que os estudantes apresentem concepções alternativas, mesmo os que apresentam concepções semelhantes às científicas. O esperado após a atividade computacional é que os estudantes tenham preenchido pelo menos algumas lacunas apresentadas inicialmente, esperando-se que os estudantes tenham construído os conceitos e saibam utilizá-los em situações problema.

No final do pós-teste foram incluídas nove questões do tipo Likert (LIKERT, 1986, citado por SILVEIRA e MOREIRA, 1999), onde os estudantes realizavam auto-avaliação e avaliação das atividades e do tutorial, as quais são apresentadas no anexo II.

Também foi aplicado um questionário cujo objetivo era traçar o perfil dos alunos, buscando-se informações sobre a formação escolar, a atuação profissional, o conhecimento de informática e das idéias de modelagem simulação. O instrumento aplicado apenas aos alunos dos grupos A e C (UCS), é apresentado no anexo III.

### **6.2.2 Características do Guia Para a Execução dos Experimentos.**

Para o desenvolvimento do estudo optou-se pela adoção da estratégia de ensino denominada de Previsão – Observação – Explicação (P.O.E.), proposta por White & Gunstone (1992). O procedimento da estratégia P.O.E. baseia-se no modelo clássico de pesquisa onde uma hipótese é enunciada e são produzidas e testadas as possíveis causas sobre por que a situação pode ocorrer, obtendo-se dados e, finalmente, os resultados são discutidos, confirmando-se ou não a hipótese (WHITE, 1988). A aplicação da estratégia P.O.E. envolve

os estudantes que predizem o resultado de uma demonstração e explicam as diferenças entre as suas predições e suas observações. Usamos o ambiente do computador para facilitar o ajuste dos estudantes. O controle do computador pelos estudantes mediando as tarefas do P.O.E. é um elemento fundamental neste design.

As tarefas da estratégia P.O.E. fundamentadas no computador podem ser usadas como ferramenta para diagnóstico, avaliação pré-instrucional ou avaliação pós-instrucional. A escolha adequada dos itens possibilita que as respostas dos estudantes sejam pensativas e permitem sondar potencialmente os estudantes, dando visão pessoal e segura (em contraste com o inerte e formal 'conhecimento escolar') de uma determinada disciplina (WHITE & GUNSTONE. 1992). Conseqüentemente, um dos 'papéis de suporte' das tarefas de POE fundamentadas no computador é possibilitar o registro das respostas dos estudantes, podendo ser usada para avaliar as concepções alternativas comuns e planejar o ensino subsequente. A função diagnóstica destas tarefas tem fornecido resultados positivos para a aprendizagem dos estudantes. Quando utilizados em uma sondagem, enquanto atuam como ambientes de aprendizagem, estes resultados podem ser muito significativos, dependendo da seleção apropriada dos grupos, da familiaridade do estudante com as suas limitações, enquanto aprende estratégias e facilita a ação do professor durante as tarefas. Os estudantes podem se ocupar individualmente destas tarefas, mas eles perdem importantes oportunidades para articular, discutir e poder refletir sobre suas concepções e as de seu colega sob perspectivas diferentes. Na visão construtivista social, os estudantes que trabalham em pequenos grupos podem testar a viabilidade do novo conhecimento buscando com o seu colega, idéias novas com a experiência pessoal e o conhecimento existente e negociar as compreensões compartilhadas, conforme Esquembre (2001).

Tao & Gunstone (1999) utilizam a metodologia P.O.E. para “promover conflitos conceituais que facilitem a mudança conceitual”. Utilizando esta metodologia, para cada atividade proposta sobre o comportamento de sistemas gasosos, os estudantes, que podiam atuar em dupla ou em trio (dependendo do equipamento disponível na sala de aula), após escrever a modelagem da equação que relaciona as variáveis que descrevem o estado do sistema gasoso, deveriam desenvolver a atividade, predizendo o que eles acreditavam que ocorresse no ambiente de simulação, observando o experimento virtual e, finalmente registrando suas explicações enquanto comparavam o previsto com o observado.

Esta técnica tem sido utilizada com sucesso e consiste em fazer com que o aluno tente prever o que vai ocorrer antes da simulação e registre o que espera que ocorra. Em seguida, efetua a simulação observando o que acontece e finalmente, compara o que esperava que fosse acontecer com o que foi simulado, tentando explicar diferenças entre o observado e o previsto, se houver essas diferenças. Foi solicitado que o aluno siga esta técnica, para aproveitar melhor o resultado de seu trabalho. Não deve tentar simular o comportamento antes de ter refletido sobre o que irá acontecer e ter registrado no guia a sua previsão.

A atividade consiste em, dado o modelo completo de um sistema gasoso, tentar identificar as características do comportamento dos diferentes gases. Após a redação do modelo no programa, antes de ativar o botão começar, são levantadas questões de natureza matemática, tais como: como será a forma do gráfico  $P \times T$ ? Como será a forma do gráfico  $V \times T$ ? Como será a forma do gráfico  $P \times V$ ? Esta tarefa é uma questão de prever. Após iniciar a simulação, é enfatizado ao aluno que ele deve observar com atenção as características dos diferentes gráficos que estão sendo construídos. Também são formuladas questões para verificar se as hipóteses propostas inicialmente estão sendo confirmadas

Ao comparar o previsto com o observado, o estudante pode utilizar conceitos físicos ou químicos e ferramentas matemáticas para tentar explicar possíveis diferenças entre suas concepções e o resultado da simulação.

Durante o desenvolvimento da atividade inicialmente o aluno é solicitado a escrever a expressão da pressão em função da temperatura para a transformação isométrica do gás ideal; a seguir deve escrever a expressão do volume em função da temperatura para a transformação isobárica do gás ideal. Em ambos os casos o aluno deve verificar o comportamento destas variáveis para diferentes massas de gás, num intervalo dado de temperaturas.

Na segunda parte, é introduzida a noção de covolume a qual corresponde ao volume das moléculas e os estudantes escrevem a equação de estado do sistema considerando esse parâmetro. Após ajustarem os parâmetros, os estudantes simulam o comportamento desse sistema, no processo isotérmico, para diferentes temperaturas e comparam o comportamento do gás onde ocorrem interações repulsivas com o comportamento do gás ideal nas mesmas condições.

Finalmente, é introduzida a noção de interação de atração intermolecular, quando os estudantes escrevem a equação de estado, na forma da equação de van der Waals, considerando esse parâmetro. Após ajustarem os valores constantes, os estudantes simulam o comportamento desse sistema gasoso, no processo isotérmico, para diferentes temperaturas e comparam o comportamento do gás de van der Waals, (que é uma boa aproximação a um gás real) com o gás com interações repulsivas e com o gás ideal nas mesmas condições. Nessa

etapa, os alunos identificam as condições de mudança de fase do estado gasoso para o líquido, nas vizinhanças do ponto crítico do gás.

### **6.3 O TESTE PILOTO**

O teste piloto tem papel importante para o desenvolvimento do projeto. Fornece informações concretas sobre quais problemas podem ser enfrentados na aplicação do trabalho, qual o tempo necessário para o desenvolvimento das atividades e a identificação de problemas relacionados com os instrumentos utilizados.

Em relação aos instrumentos de coleta de dados (testes) utilizados nessa etapa destacam-se:

1. No teste, a maioria dos alunos não justificava a resposta dada. Em geral os alunos utilizavam concepções alternativas na resposta dada.
2. Os alunos mostravam um domínio maior da representação simbólica do que da representação microscópica ou da sensorial.
3. Na construção de gráficos, em geral, os alunos traçavam os diagramas sem identificar as variáveis dependente e independente e, em geral, não mostravam uma relação de proporção direta entre elas.

A aplicação piloto dos testes teve importância significativa na elaboração dos instrumentos utilizados nesta pesquisa, particularmente na elaboração do tutorial e na reformulação dos pré-testes e pós-testes.

#### 6.4 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A amostra foi constituída por cento e cinquenta e oito alunos, sendo setenta e cinco do curso de Química da Universidade Luterana do Brasil; nove do curso de Química da Universidade LaSalle e setenta e quatro dos cursos de Licenciatura Plena em Química, Engenharia Química, Engenharia Mecânica e Tecnologia em Automatização Industrial da Universidade de Caxias do Sul. Para parte esta amostra, formada por setenta e seis alunos foram aplicados testes piloto; trinta alunos formaram um grupo de comparação e quarenta e seis alunos constituíram o grupo experimental. Após a aplicação dos instrumentos, para analisar os resultados foram considerados apenas os alunos que estavam presentes em todos os encontros. Para o grupo experimental, inicialmente foi aplicado o pré-teste, a seguir foi aplicada a atividade computacional e após o pós-teste. A duração da atividade foi de três encontros (12 horas-aula) na ULBRA e UNILASSALE e de quatro encontros (16 horas-aula) na UCS. Os alunos do grupo de comparação foram apresentados e estudaram o conteúdo em dois encontros (8 horas-aula).

Os quarenta e seis estudantes do grupo experimental provinham de duas turmas, denominadas de turma A e de turma B. A turma A, constituída por alunos da UCS, era composta por quinze alunos matriculados na disciplina Aplicações Computacionais na Química e por doze alunos da disciplina Física III; a turma B constituída por alunos da ULBRA e UNILASALLE, foi formada por dezenove alunos matriculados na disciplina Físico-Química 1. Os conceitos trabalhados no conteúdo do Comportamento dos Sistemas Gasosos foram tratados da mesma forma (tanto a metodologia, quanto o conteúdo e as atividades), diferindo no instrumento de coleta de dados. A aplicação dos instrumentos foi

realizada nas diferentes turmas que constituíram os grupos, nos horários das aulas das disciplinas indicadas anteriormente.

Os trinta alunos do grupo de comparação, denominado turma C, apenas responderam ao pós-teste. Esse grupo foi formado por alunos dos cursos de Engenharia Mecânica, Engenharia Química e Licenciatura Plena em Química, matriculados em disciplinas cujo enfoque era a Termodinâmica, atendidas por diferentes professores. Desta forma existe uma distribuição aleatória dos diferentes perfis curriculares em todas as turmas. A disciplina apresenta denominações diferentes, mas o conteúdo programático associado ao comportamento dos gases é similar em todas elas. O tratamento estatístico indica que há diferença estatisticamente relevante entre os dois grupos.

Os alunos que estudaram o conteúdo relativo ao comportamento dos gases através da modelagem e simulação computacional também responderam a um questionário de avaliação da metodologia aplicada.

Foi também aplicado um questionário para elaborar o perfil de caracterização dos estudantes da UCS.

## **6.5 CARACTERIZAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS**

Na elaboração dos instrumentos de coleta de dados o critério utilizado para a formulação das questões foi o nível conceitual de representação dos sistemas gasosos: sensorial, microscópico e simbólico. O aluno deveria explicar o comportamento das grandezas

termodinâmicas macroscópicas e representar o movimento molecular de diferentes formas de representação do gás; também deveria construir e interpretar gráficos que relacionavam as grandezas termodinâmicas em diferentes processos. Igualmente, deveria comparar o comportamento macroscópico e microscópico de diferentes sistemas gasosos.

Foram elaborados e aplicados diversos questionários contendo questões de múltipla escolha, para as quais deveria ser justificada a resposta, bem como questões dissertativas.

O instrumento construído para elaborar o perfil de caracterização dos estudantes solicitava informações sobre a formação de nível médio, o número de horas aula de física e química existentes no currículo e o curso de nível superior freqüentado; sobre a atuação profissional e o conhecimento e uso da informática.

## **6.6 A CATEGORIZAÇÃO DOS CONCEITOS INVESTIGADOS.**

Para cada conceito investigado foram elaboradas quatro categorias as quais caracterizam o perfil da resposta dada pelos alunos às questões propostas. A seguir caracterizamos os grupos de categorias associados a cada um dos conceitos.

### **Conceito C1 – Efeito do aumento da temperatura na pressão do sistema gasoso**

As questões analisadas neste conceito são:

Pré-teste: **1A, 1B**

Pós-teste: **1**

*i. Compreensão total (4)*

O estudante respondeu que as moléculas do gás ganham energia, movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas; representou o comportamento cinético molecular e traçou o gráfico indicando a relação de proporção correta entre a pressão e a temperatura. Nesse nível de compreensão o estudante indicou que tem conhecimento da influência do comportamento cinético das partículas na temperatura e na pressão.

*ii. Compreensão parcial (3).*

O estudante não mostrou a representação correta do gráfico da pressão em função da temperatura ou não representou corretamente o comportamento cinético-molecular na situação proposta. Nesse nível de compreensão o estudante indicou que tem conhecimento da influência da temperatura na pressão no comportamento microscópico ou na descrição macroscópica do gás, mas não compreende corretamente a relação entre ambos.

*iii. Concepções errôneas (2).*

O estudante apresentou certa dificuldade de interpretação do sistema nos níveis de representação microscópica e/ou macroscópica. Tem dificuldade de expressar as relações no nível simbólico. Sua idéia é incompatível com o enunciado proposto indicando que o aluno tem dificuldades de interpretar a situação proposta.

*iv. Não respondeu (1)*

O estudante não respondeu a questão proposta.

**Conceito 2 – Efeito da temperatura na distribuição das posições das moléculas de um gás**

As questões analisadas neste conceito são:

Pré-teste: **2**

Pós-teste: **2**

*i. Compreensão total (4)*

O estudante assinalou a alternativa correta e explicou considerando que os gases ocupam todo o espaço disponível.

*ii. Compreensão parcial (3)*

O estudante assinalou a alternativa correta, mas explicou a escolha com a idéia do comportamento microscópico das moléculas do gás ser similar ao comportamento macroscópico de um sólido ou de um líquido que se expandem quando aquecidos ou contraem quando resfriados.

*iii. Concepção errônea (2)*

O estudante assinalou a alternativa incorreta.

*iv. Não respondeu/nenhuma compreensão (1).*

O estudante não respondeu a questão.

**Conceito C3 – Interações intermoleculares e comportamento macroscópico**

As questões analisadas neste conceito são:

Pré-teste: **4**

Pós-teste: **4**

*i. Compreensão total (4)*

O estudante traçou o gráfico da relação de proporção direta entre a pressão e a temperatura. Representou graficamente o comportamento cinético-molecular e explicou de forma clara a influência das interações microscópicas no comportamento macroscópico do sistema. Por exemplo, citou que o gás real pode exercer maior pressão porque apresenta interações de repulsão e atração intermoleculares.

*ii. Compreensão parcial (3)*

O estudante traçou o gráfico da relação de proporção direta entre a pressão e a temperatura e representou graficamente o comportamento cinético-molecular; explicou que a pressão tem o mesmo valor nos dois botijões.

*iii. Concepção errônea (2)*

O estudante traçou o gráfico da relação entre a pressão e a temperatura mostrando uma relação de proporção inversa ou representou o comportamento cinético-molecular de forma incorreta.

*iv. Não respondeu (1)*

O aluno não respondeu a questão.

**Conceito C4 – Efeito da pressão no volume e vice-versa – diferenças entre o gás ideal e o gás real**

As questões analisadas neste conceito são:

Pré-teste: **5A, 3B e 4B**

Pós-teste: **3 e 4**

*i. Compreensão total (4)*

O estudante representou com clareza o comportamento cinético-molecular dos gases e indicou as diferenças entre eles. Explicou que no recipiente contendo o gás real ou o gás com interações repulsivas fortes a pressão atinge o maior valor nas mesmas condições de volume e temperatura do gás ideal.

*ii. Compreensão parcial (3)*

O estudante representou de forma confusa ou não representou o comportamento cinético-molecular ou não indicou as diferenças entre eles. Também explicou de forma confusa em qual dos recipientes a pressão assume o maior valor nas mesmas condições de volume e temperatura.

*iii. Concepção errônea (2)*

O estudante não utilizou representação clara do comportamento cinético-molecular.

*iv. Não respondeu (1)*

O estudante não respondeu a questão.

**Conceito 5 – Traçado de isotermas de diferentes gases**

As questões analisadas neste conceito são:

Pré-teste: **6A, 5B**

Pós-teste: **5**

*i. Compreensão total (4)*

O estudante construiu os gráficos da pressão em função do volume quando os gases são submetidos a processos isotérmicos traçando na seqüência correta as isotermas de diferentes gases nas temperaturas propostas ou seja próximo dos eixos colocou a isoterma do gás ideal, a seguir a isoterma do gás real e a isoterma do gás com interações repulsivas.

*ii. Compreensão parcial (3)*

O estudante construiu os gráficos da pressão em função do volume quando os gases são submetidos a processos isotérmicos traçando as isotermas de diferentes gases nas temperaturas propostas em posições trocadas, o gás real mais afastado dos eixos ou não indicou a seqüência.

*iii. Concepção errônea (2)*

No diagrama o estudante traçou linhas que não correspondem às isotermas solicitadas para os diferentes gases .

*iv. Não respondeu (1)*

O estudante não respondeu a questão.

**Conceito C6 – Interações e idealidade: o volume molar da água nas CNTP e o gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais**

As questões analisadas neste conceito são:

Pré-teste: **3A, 6B,7B**

Pós-teste: **6,7**

*i. Compreensão total (4)*

Os estudantes responderam corretamente sobre a natureza do GLP, explicando que a substância está no estado líquido e representando o comportamento cinético-molecular de modo correto.

Os estudantes identificaram de forma correta o volume molar da água expresso e indicaram o volume mínimo do recipiente capaz de armazenar a quantidade indicada de líquido relacionada com o volume molar.

*ii. Compreensão parcial (3)*

Quando os estudantes responderam de forma incorreta sobre a natureza do gás liquefeito de petróleo, explicando que o GLP não pode ser considerado gás ideal porque é uma mistura de gases. Representaram o comportamento cinético-molecular de modo correto.

Os estudantes identificaram corretamente o volume molar da água, mas indicaram o volume mínimo do recipiente capaz de armazenar a quantidade indicada sem considerar o estado físico da água.

*iii. Concepção errônea (2)*

Quando os estudantes explicaram que o gás liquefeito de petróleo pode ser considerado gás ideal porque suas moléculas não reagem entre si.

*iv. Não respondeu (1)*

Quando os estudantes responderam “não sei” ou deixaram em branco.

A tabela 1 apresenta o resumo da categorização dos conceitos investigados. Nela indicamos os conceitos e as questões analisadas no pré-teste e no pós-teste.

Tabela 1  
Categorização dos conceitos investigados

Conceito	Enunciado	Questões	
		pré-teste	pós-teste
C1	Efeito do aumento da temperatura na pressão do sistema gasoso.	1A e 1B	1
C2	Efeito da temperatura na distribuição das posições das moléculas de um gás	2	2
C3	Interações intermoleculares e comportamento macroscópico do sistema gasoso.	4	4
C4	Efeito da pressão no volume e vice-versa – diferenças entre o gás ideal e o gás real.	3B, 4B e 5A	3 e 4
C5	Traçado de isotermas de diferentes gases.	5B e 6A	5
C6	Interações e idealidade: o volume molar da água nas CNTP e o gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais	3A, 6B e 7B	6 e 7

## **7 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS**

Este capítulo é dedicado à análise dos resultados. Inicialmente é descrito o perfil dos estudantes que constituem a amostra; a seguir são apresentados e comentados os resultados da análise qualitativa das respostas dos estudantes, em diferentes momentos da aplicação. Depois, são relatados como os procedimentos da análise quantitativa foram efetuados e, por último são apresentados e comentados os resultados finais do trabalho.

### **7.1 CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DOS ESTUDANTES QUE COMPÕEM A AMOSTRA INVESTIGADA**

O perfil dos estudantes que constituem a amostra da população investigada foi elaborado a partir dos dados coletados num questionário específico, aplicado conjuntamente com o pré-teste. O questionário foi aplicado na amostra formada pelos estudantes dos grupos A e C. Os dados coletados possibilitam identificar as seguintes características dos estudantes: formação de nível médio; carga horária semanal das disciplinas física e química; setor de atuação; frequência de uso do computador; programas e softwares mais utilizados; conhecimento e uso da modelagem e da simulação computacional.

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos. Nela observamos a predominância dos cursos de ensino médio na formação dos alunos, com uma carga horária pequena nas disciplinas de Física e Química. A maioria dos alunos trabalha predominantemente na indústria. Igualmente, a maioria usa o computador no exercício de suas atividades, com predominância de utilização dos editores de texto Word e planilha Excel. A maioria dos alunos tem algum conhecimento associado à modelagem computacional e à simulação computacional.

Tabela 2  
Características do perfil dos estudantes

<b>Questão</b>	<b>Resposta predominante</b>	<b>%</b>
Formação acadêmica	Ensino médio	73,5
Carga horária de Física no ensino médio	Duas horas-aula/semana	42,4
Carga horária de Química no ensino médio	Duas horas-aula/semana	45,5
Sector de atuação	Indústria	43,5
Frequência de uso do computador	Sempre	54,2
Programas e softwares mais utilizados	Editor de texto Word e Planilha Excel	80,4
Modelagem computacional	Tem conhecimento e sabe utilizar	50,0
Simulação computacional	Tem conhecimento e sabe utilizar	60,4

## 7.2 IDENTIFICAÇÃO DO PERFIL CONCEITUAL DOS ALUNOS.

Para identificar o perfil conceitual dos alunos, utilizando as categorias propostas por Mortimer (2000) foram selecionadas as questões relacionadas diretamente com o nível de representação microscópica, as quais estão associadas aos conceitos:

C1 – Efeito do aumento da temperatura na pressão de um sistema gasoso, ao qual está associada a questão 1: Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado é aquecido, observa-se um aumento da pressão. Assinale qual das alternativas abaixo melhor explica esse comportamento do gás.

C2 – Efeito da temperatura na distribuição das posições das moléculas de um gás, ao qual está associada a questão 2: A figura 1 representa um tanque de aço contendo gás hidrogênio na temperatura de 20°C e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. Indique qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio se a temperatura do sistema for reduzida para – 20°C? Justifique a resposta escolhida.

A análise dos resultados indica a predominância da concepção substancialista – os “grãos” da matéria que constitui o gás apresentam as mesmas propriedades do corpo, numa analogia entre os mundos macroscópico e microscópico, nos diferentes estados físicos do material. Resultados semelhantes foram encontrados por Niaz e Robinson (1992) apud Niaz (2000) num estudo realizado com estudantes de um curso universitário preparatório para engenharia e ciências. O citado estudo indica que os estudantes apresentam desempenho baixo quando solicitados a responder a questões conceituais.

### **7.2.1 Análise das Respostas Dadas pelo Grupo C para as Questões 1 e 2 após a Aula Expositiva sobre os Gases.**

Na tabela 3 o perfil conceitual observado na questão 1 mostra que 50,0 % dos estudantes apresenta a concepção atomística (CA) para descrever o efeito da temperatura na pressão do gás aquecido.

Na mesma tabela, o perfil conceitual observado na questão 2 mostra que apenas 26,7 % dos estudantes apresentam a concepção atomística (CA) para descrever o efeito da temperatura na distribuição das moléculas do gás resfriado.

Tabela 3

Identificação do perfil conceitual dos estudantes do grupo C expresso nas questões 1 e 2.

n	nome	Q1	Q2
01	ALG	2	1
02	ALL	2	1
03	ALA	1	1
04	AALF	2	1
05	DM	1	1
06	EC	2	2
07	FAB	2	1
08	FGP	2	1
09	IC	1	1
10	LCC	1	1
11	MC	1	1
12	RS	1	1
13	RC	1	1
14	JFC	2	2
15	LEM	1	1
16	MJD	1	1
17	ND	1	2
18	RE	1	1
19	Sés	1	1
20	VaLi	1	2
21	Vli	1	2
22	YuFe	2	1
23	MAVi	2	1
24	GiPS	2	2
25	DaT	2	2
26	FCD	2	1
27	IPÊ	2	1
28	OBi	2	2
29	SSSS	1	1
30	SDB	2	2

1: concepção substancialista (CS)

2: concepção atomística (CA)

Alguns exemplos das respostas dadas são comentados a seguir.

A figura 5 apresenta a resposta do estudante JFC para a questão 1. O aluno mostra a compreensão total do conceito e apresenta a concepção atomística.

1. Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado é aquecido, observa-se um aumento da pressão. Qual das alternativas abaixo melhor explica esse comportamento do gás?

(a) A pressão é inversamente proporcional à temperatura.

(b) As moléculas do gás movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas.

(c) As moléculas do gás se expandem e estas moléculas maiores colidem com maior intensidade nas paredes rígidas.

(d) As moléculas do gás se expandem e comprimem fortemente as paredes rígidas do recipiente.

(e) As moléculas do gás se expandem e se movem mais rapidamente. A combinação velocidade maior e moléculas maiores as fazem colidir com mais intensidade nas paredes rígidas do recipiente.

Justifique a escolha feita (pode utilizar palavras e/ou fórmulas e/ou desenhos).

A energia cinética das moléculas é proporcional à temperatura

Figura 5: Resposta do aluno JFC.

A figura 6 mostra que, na questão 1, o aluno VaLi tem compreensão errônea do efeito da temperatura na pressão e apresenta perfil conceitual substancialista (CS).

1. Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado é aquecido, observa-se um aumento da pressão. Qual das alternativas abaixo melhor explica esse comportamento do gás?

(a) A pressão é inversamente proporcional à temperatura.

(b) As moléculas do gás movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas.

(c) As moléculas do gás se expandem e estas moléculas maiores colidem com maior intensidade nas paredes rígidas.

(d) As moléculas do gás se expandem e comprimem fortemente as paredes rígidas do recipiente.

(e) As moléculas do gás se expandem e se movem mais rapidamente. A combinação velocidade maior e moléculas maiores as fazem colidir com mais intensidade nas paredes rígidas do recipiente.

Justifique a escolha feita (pode utilizar palavras e/ou fórmulas e/ou desenhos).

Visto que o recipiente é rígido ou seja o volume inicial mesmo que ocorra pressões elevadas permanecerá igual no final do processo então ocorrerá apenas uma compressão nas paredes do recipiente.

Figura 6: Resposta do aluno VaLi.

A resposta do aluno YuFe mostrada na figura 7, para a questão 1 indica compreensão total do conceito e perfil conceitual atomista(CA).

1. Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado é aquecido, observa-se um aumento da pressão. Qual das alternativas abaixo melhor explica esse comportamento do gás?

(a) A pressão é inversamente proporcional à temperatura.  
~~(b) As moléculas do gás movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas.~~  
 (c) As moléculas do gás se expandem e estas moléculas maiores colidem com maior intensidade nas paredes rígidas.  
 (d) As moléculas do gás se expandem e comprimem fortemente as paredes rígidas do recipiente.  
 (e) As moléculas do gás se expandem e se movem mais rapidamente. A combinação velocidade maior e moléculas maiores as fazem colidir com mais intensidade nas paredes rígidas do recipiente.

Justifique a escolha feita (pode utilizar palavras e/ou fórmulas e/ou desenhos).

O aumento da pressão se dá com o aumento da quantidade de movimento das moléculas ao colidirem com as paredes do recipiente fechado.

Figura 7: Resposta do aluno YuFe.

A figura 8 indica que o aluno JFC, na questão 2, apresenta o perfil conceitual atomista (CA) e compreensão total do processo.

2. A figura 1 representa um tanque de aço contendo gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. Indique qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio se a temperatura do sistema for reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ ? Justifique a resposta escolhida.

figura 1

(a) (b) (c) (d)

Acredito que nessas condições o  $\text{H}_2$  ainda é gasoso, portanto apesar da diminuição na pressão, mais como ainda é gasoso as moléculas tentam ocupar o maior espaço possível.

Figura 8: Resposta do aluno JFC.

A figura 9 indica que o aluno VaLi, na questão 2, aparenta apresentar o perfil conceitual atomista (CA), mas compreensão parcial do conceito pois explicou no diagrama da vista lateral que o recipiente fica parcialmente preenchido pelo gás.

2. A figura 1 representa um tanque de aço contendo gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. Indique qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio se a temperatura do sistema for reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ ? Justifique a resposta escolhida.

Um tanque com vista superior

vista frontal

Hidrogenio a  $20^{\circ}\text{C}$

Hidrogenio a  $-20^{\circ}\text{C}$

vista superior do tanque

Figura 9: Resposta do aluno VaLi.

A figura 10 mostra que o aluno YuFe, na questão 2, apresenta perfil conceitual substancialista (CS) e compreensão parcial do conceito.

2. A figura 1 representa um tanque de aço contendo gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. Indique qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio se a temperatura do sistema for reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ ? Justifique a resposta escolhida.

A redução da temperatura irá ocasionar um agrupamento das moléculas devido a diminuição dos graus de liberdade da substância nestas condições.

Figura 10: Resposta do aluno YuFe

Ao compararmos na tabela 3 (p.90) as questões 1 e 2, podemos observar que 46,7% dos estudantes apresentaram o perfil conceitual substancialista nas duas questões; 20% dos estudantes tem o perfil conceitual atomístico nas duas questões e 33,3% apresentam um perfil misto. Isso pode significar a presença de concepções alternativas que não foram modificadas com o uso de metodologias tradicionais no ensino.

### 7.2.2 Análise das Respostas dadas pelo Grupo A para as Questões 1 e 2 dos Testes Aplicados Antes e Depois da Aplicação do Tutorial.

Tabela 4  
Identificação do perfil conceitual dos estudantes do grupo A expresso na questão 1

n	nome	Q1	
		Pré- teste	Pós- teste
01	CAC	2	2
02	DB	2	1
03	EL	2	2
04	ES	2	2
05	FaB	2	2
06	FaSc	2	2
07	JJM	2	2
08	LRO	1	2
09	MC	1	1
10	RB	2	2
11	RG	2	2
12	TR	2	2
13	CASP	2	2
14	CC	2	2
15	DM	1	2
16	FaM	2	2
17	FeM	1	2
18	LiT	1	2
19	LiB	1	2
20	LuMe	2	2
21	MaH	2	2
22	MeLo	1	2
23	MiPa	2	2
24	MoZ	2	2
25	MoSc	2	2
26	NAFC	2	2
27	SuR	2	2

1: Concepção substancialista (CS)

2: Concepção atomística (CA)

A tabela 4 mostra que o perfil conceitual atomista (CA) foi apresentado por 74,1 % no pré-teste e 92,6 % no pós-teste. Comparando-se os dois resultados observa-se que 18,5 % da amostra modificaram o perfil conceitual. A análise dos resultados evidencia que 70,4% dos alunos mantiveram o perfil conceitual atomístico e 22,2% passaram do perfil conceitual substancialista para o perfil conceitual atomístico. Verifica-se também que 3,7% passaram do perfil conceitual atomístico para o perfil conceitual substancialista.

Alguns exemplos das respostas dadas a esta questão são comentados a seguir.

As figuras 11a e 11b mostram que o aluno EL apresenta o perfil conceitual atomista (CA) no pré-teste e no pós-teste e compreensão total do conceito.

1. Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado é aquecido, observa-se um aumento da pressão. Qual das alternativas abaixo melhor explica esse comportamento do gás?

(a) A pressão é inversamente proporcional à temperatura.

(b) As moléculas do gás ganham energia, movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas.

(c) As moléculas do gás ganham energia, movem-se mais lentamente e colidem nas paredes rígidas.

(d) A pressão aumenta porque o aquecimento causa a dilatação do recipiente.

(e) Quando o recipiente é aquecido, a pressão não se altera, apenas quem altera é a temperatura.

**Justifique a escolha feita (pode utilizar palavras e/ou fórmulas e/ou desenhos).**

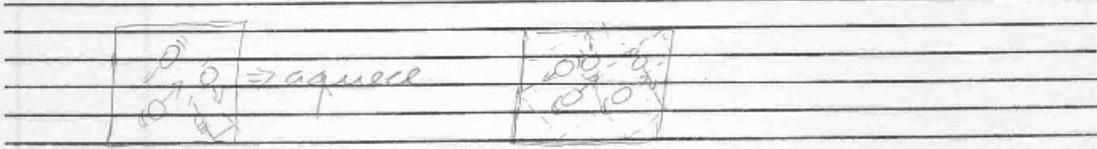


Figura 11a: Resposta do aluno EL no pré-teste

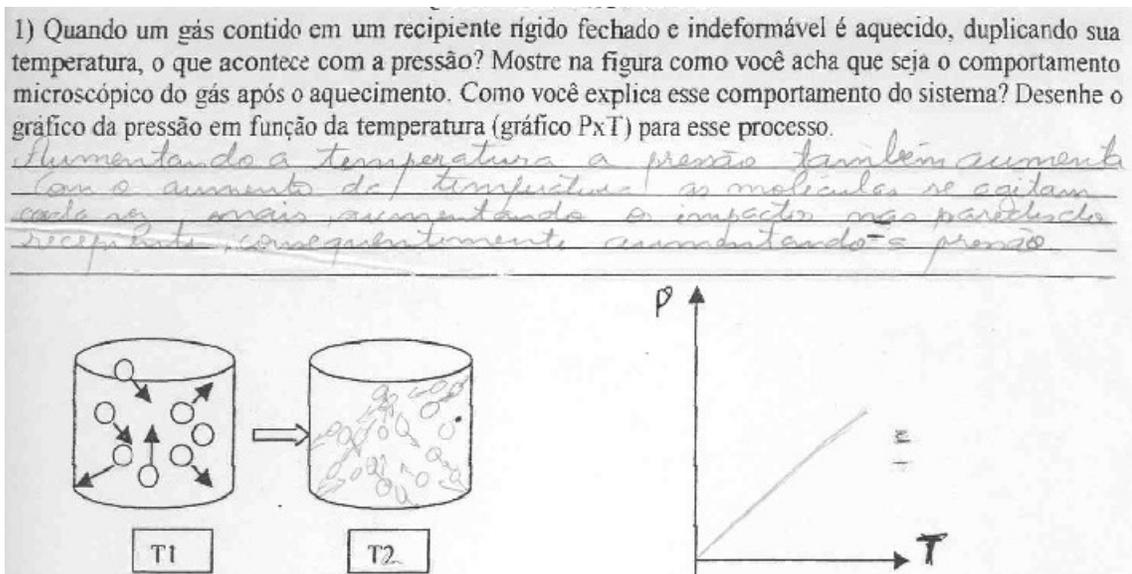


Figura 11b: Resposta do aluno EL no pós-teste

As figuras 12a e 12b mostram que o aluno LRO apresenta evolução do perfil conceitual substancialista (CS) no pré-teste para o perfil conceitual atomista (CA) no pós-teste. Apresenta compreensão total do conceito após a aplicação do tutorial.

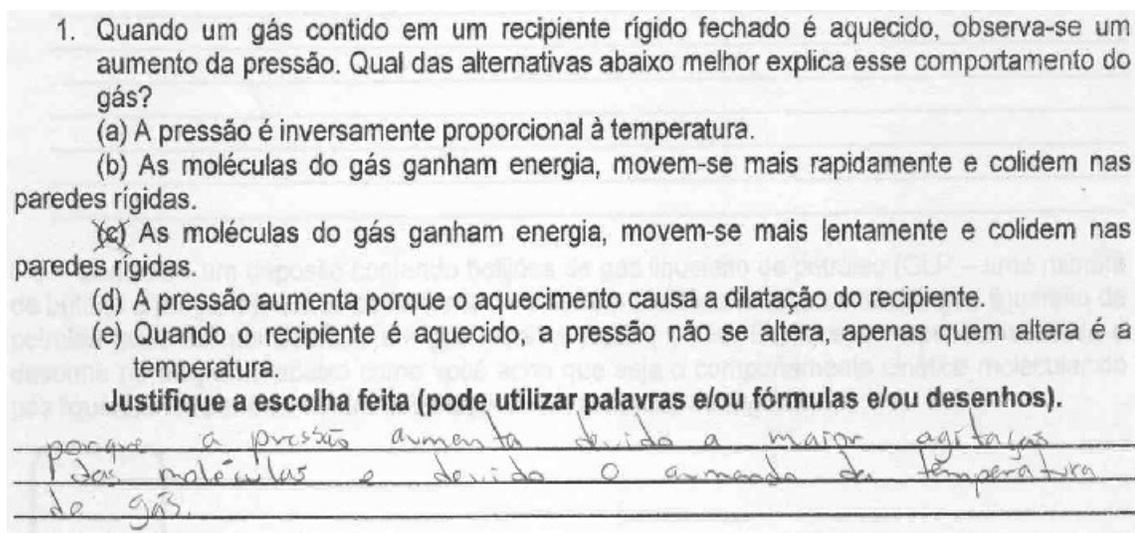


Figura 12a: Resposta do aluno LRO no pré-teste.

1) Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado e indeformável é aquecido, duplicando sua temperatura, o que acontece com a pressão? Mostre na figura como você acha que seja o comportamento microscópico do gás após o aquecimento. Como você explica esse comportamento do sistema? Desenhe o gráfico da pressão em função da temperatura (gráfico  $P \times T$ ) para esse processo.

Ocorre o aumento da pressão. Ocorre uma maior agitação das moléculas ocorrendo o aumento da pressão.

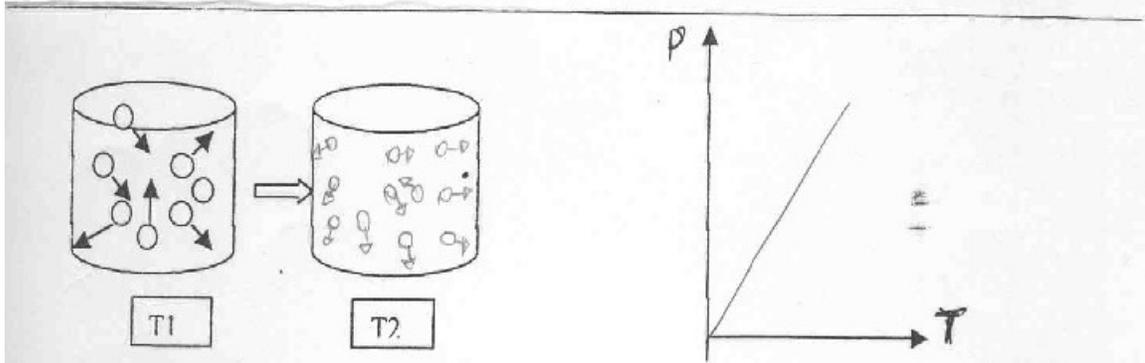


Figura 12b: Resposta do aluno LRO no pós-teste.

As figuras 13a e 13b mostram que o aluno DM apresenta evolução do perfil conceitual substancialista no pré-teste para perfil atomístico no pós-teste. Após a aplicação do tutorial o aluno mostra compreensão total do conceito.

1) Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado e indeformável é aquecido, duplicando sua temperatura, o que acontece com a pressão? Mostre na figura como você acha que seja o comportamento microscópico do gás após o aquecimento. Como você explica esse comportamento do sistema? Desenhe o gráfico da pressão em função da temperatura (gráfico  $P \times T$ ) para esse processo.

A condição ao aumento a temperatura é fazer com que o gás tenha mais partículas por unidade de volume.

Figura 13a: Resposta do aluno DM no pré-teste

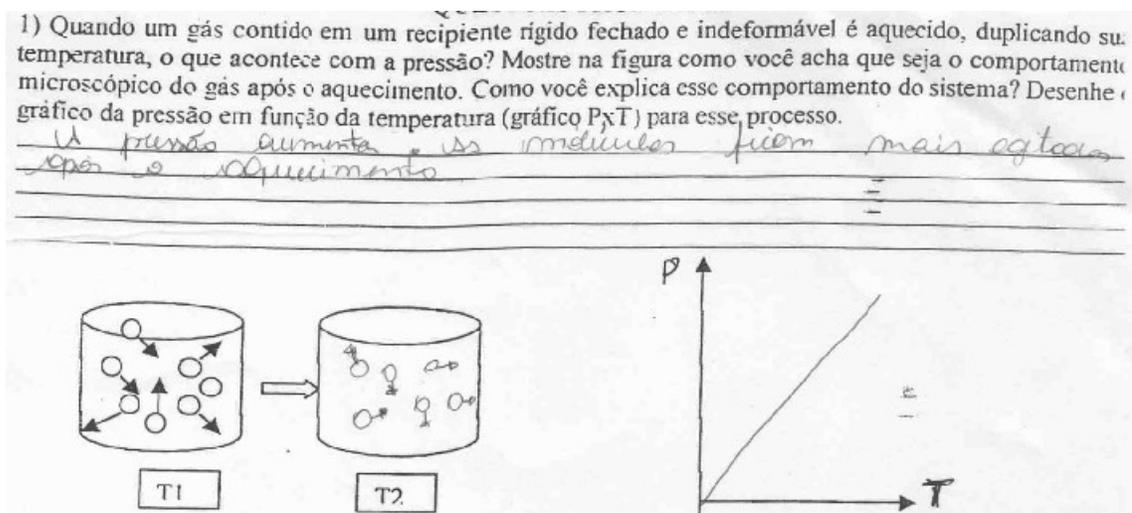


Figura 13b: Resposta do aluno DM no pós-teste

As figuras 14a e 14b mostram que o aluno FaM apresenta perfil atomista tanto no pré-teste como no pós-teste, mas apresentou compreensão total do conceito após a aplicação do tutorial.

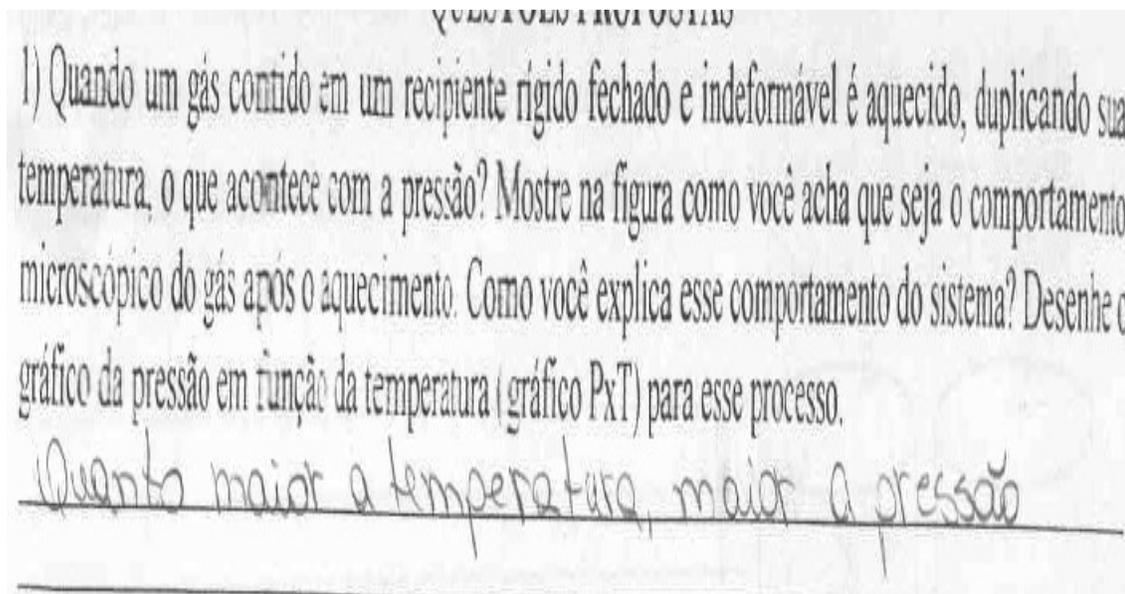


Figura 14a: Resposta do aluno FaM no pré-teste

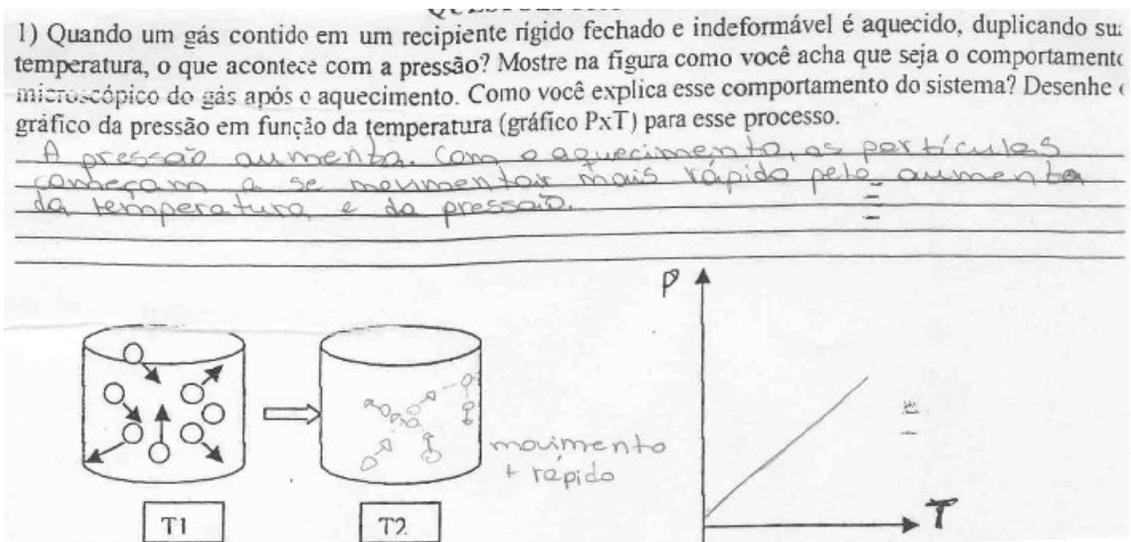


Figura 14b: Resposta do aluno FaM no pós-teste

Tabela 5  
Identificação do perfil conceitual dos estudantes do grupo A expresso na questão 2

n	Nome	Q2	
		Pré-teste	Pós-teste
01	CAC	1	2
02	DB	1	1
03	EL	2	2
04	ES	2	1
05	FaB	1	2
06	FaSc	2	1
07	JJM	1	1
08	LRO	1	1
09	MC	1	1
10	RB	2	2
11	RG	2	1
12	TR	2	2
13	CASP	1	1
14	CC	1	1
15	DM	1	1
16	FaM	2	1
17	FeM	1	1
18	LiT	1	1
19	LiB	1	2
20	LuMe	2	1
21	MaH	1	2
22	MeLo	1	1
23	MiPa	2	1
24	MoZ	1	2
25	MoSc	1	1
26	NAFC	1	1
27	SuR	1	2

1: Concepção substancialista (CS)

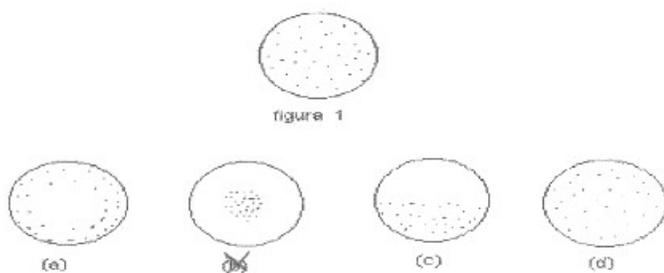
2: Concepção atomística (CA)

A Tabela 5 mostra que o perfil conceitual atomista (CA) foi apresentado por 33,3 % no pré-teste e no pós-teste. Comparando-se os resultados dos dois testes observa-se que 11,1% dos alunos mantiveram o perfil conceitual atomístico e 22,2% passaram do perfil conceitual substancialista para o perfil conceitual atomístico, enquanto que 22,2% passaram do perfil conceitual atomístico para o perfil conceitual substancialista.

Alguns exemplos das respostas dadas pelos alunos a esta questão comentados a seguir.

As figuras 15a e 15b mostram que o aluno CAC aparentemente evoluiu do perfil conceitual substancialista (CS) no pré-teste para o perfil conceitual atomista (CA) no pós-teste. O aluno demonstrou compreensão parcial do conceito, pois não explicou de forma correta a resposta escolhida.

2. A figura 1 representa um tanque de aço contendo gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. Indique qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio se a temperatura do sistema for reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ ? Justifique a resposta escolhida.



*Quando diminui a temperatura as partículas tendem a se agrupar.*

Figura 15a – Resposta do aluno CAC no pré-teste

2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.

A pressão interna do tanque será maior, mas o gás continuará ocupando o espaço maior do tanque.

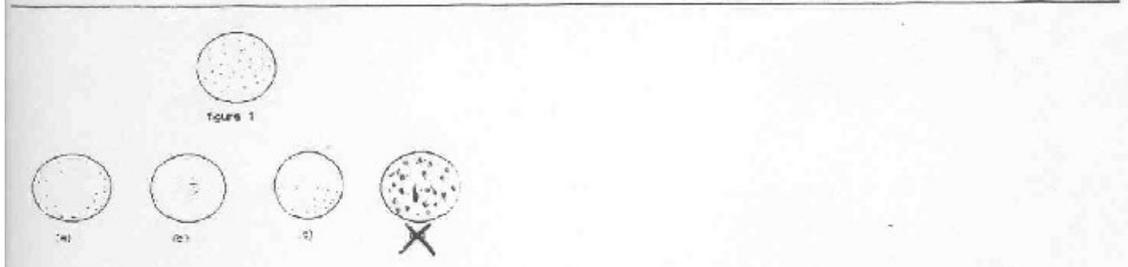


Figura 15(b) resposta do aluno CAC no pós-teste

As figuras 16a e 16b mostram que o aluno EL apresenta o perfil conceitual atomista e compreensão total do conceito.

2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.

As moléculas continuam ocupando todo o espaço dentro do tanque, mas com o resfriamento a pressão diminuiu.

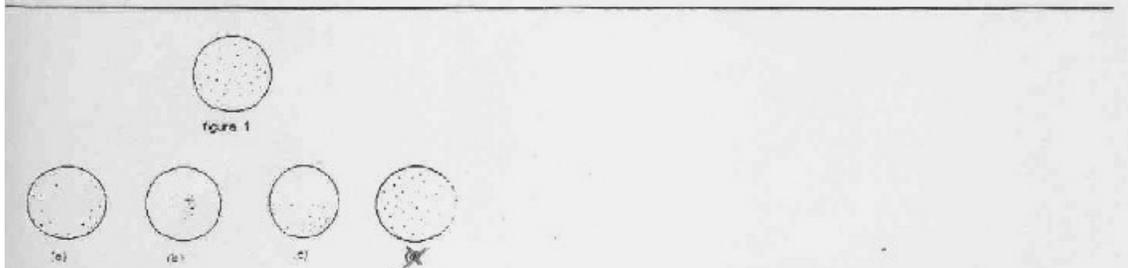


Figura 16a: Resposta do aluno EL no pré-teste

2. A figura 1 representa um tanque de aço contendo gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. Indique qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio se a temperatura do sistema for reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ ? Justifique a resposta escolhida.

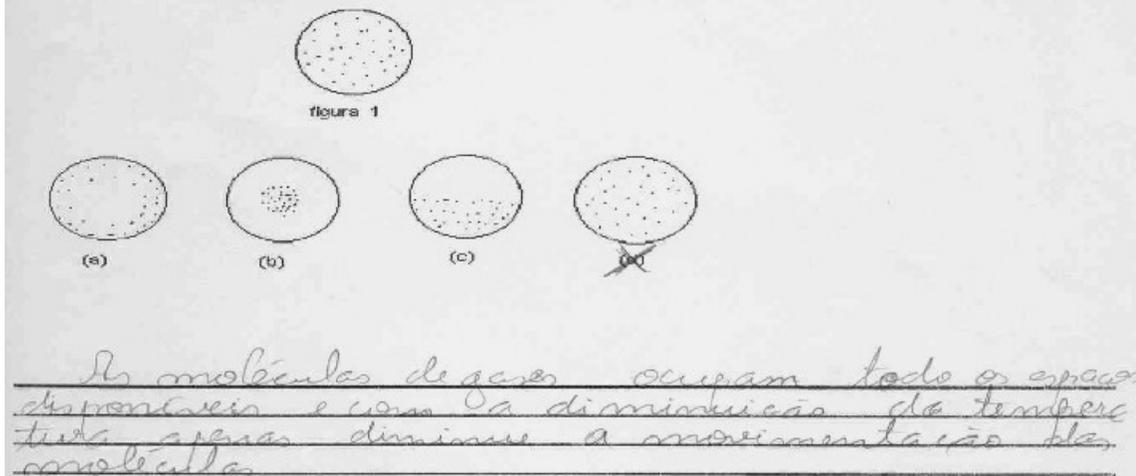


Figura 16 (b) Resposta do aluno EL – pós-teste

As figuras 17a e 17b mostram que o aluno LRO manteve o perfil conceitual substancialista (CS) e apresenta compreensão errônea do conceito.

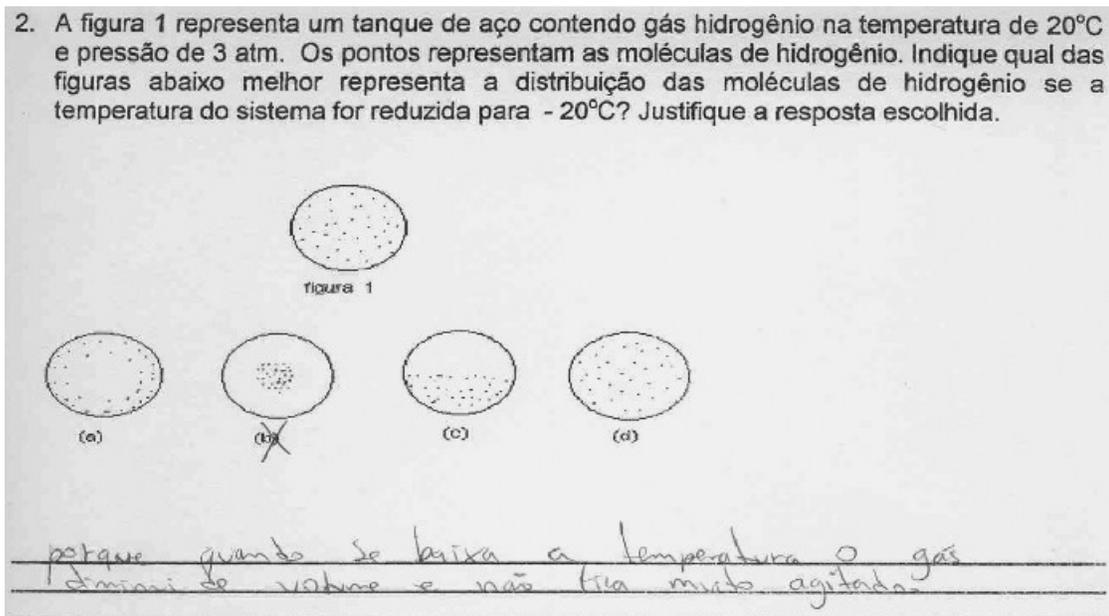


Figura 17a: resposta do aluno LRO no pré-teste

2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.

porque as moléculas se vão diminuindo a pressão no sistema.

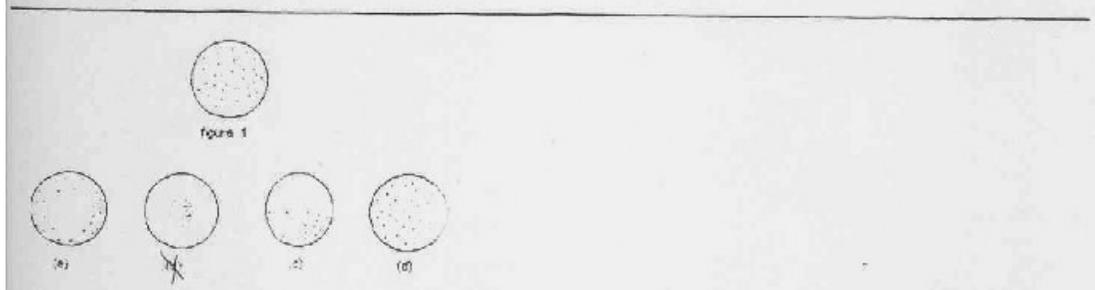


Figura 17b: Resposta do aluno LRO no pós-teste

As figuras 18a e 18b mostram que o aluno RG apresenta o perfil conceitual atomista no pré-teste e no pós-teste, apresenta perfil conceitual substancialista e compreensão parcial do conceito.

2. A figura 1 representa um tanque de aço contendo gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. Indique qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio se a temperatura do sistema for reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ ? Justifique a resposta escolhida.

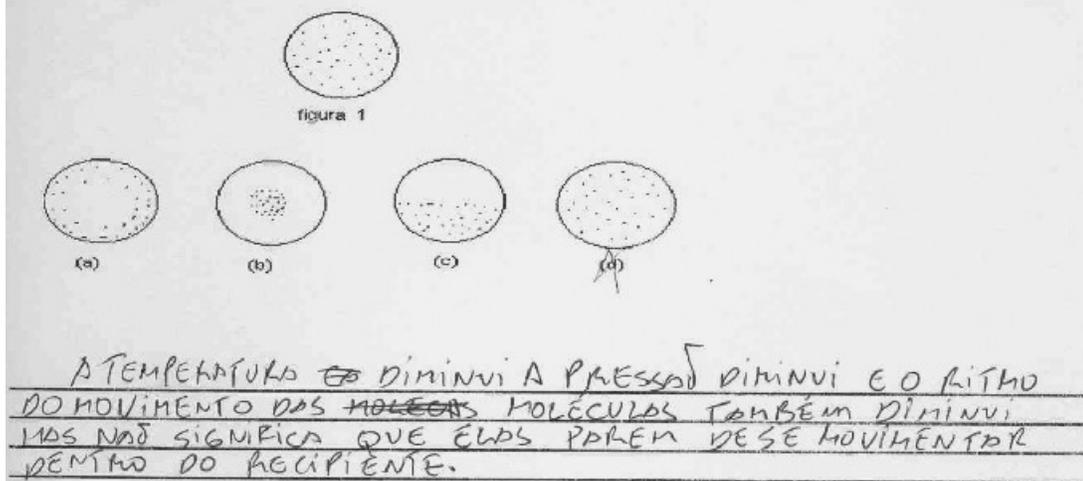


Figura 18a: Resposta do aluno RG no pré-teste

2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.

COM O RESFRIAMENTO DO SISTEMA AS MOLECULAS REDUZEM O RITMO DE MOVIMENTO ASSIM OCACIONANDO UM QUEDA DE PRESSÃO.

The image shows a handwritten student response. At the top, the student has written a justification in Portuguese: "COM O RESFRIAMENTO DO SISTEMA AS MOLECULAS REDUZEM O RITMO DE MOVIMENTO ASSIM OCACIONANDO UM QUEDA DE PRESSÃO." Below this, there are four circular diagrams labeled (a), (b), (c), and (d). Diagram (a) shows a uniform distribution of points. Diagram (b) shows points clustered in the center. Diagram (c) shows points clustered in the center with a small 'X' drawn over it. Diagram (d) shows a uniform distribution of points. A large 'X' is drawn to the right of the diagrams, indicating that none of the options is correct.

Figura 18b: Resposta do aluno RG no pós-teste.

As figuras 19a e 19b mostram que o aluno DM não modificou seu perfil conceitual substancialista e apresenta compreensão errônea do conceito.

2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.

APÓS O RESFRIAMENTO AS MOLECULAS SE UNEM NO CENTRO DA MOLECULA.

The image shows a handwritten student response. At the top, the student has written a justification in Portuguese: "APÓS O RESFRIAMENTO AS MOLECULAS SE UNEM NO CENTRO DA MOLECULA." Below this, there are four circular diagrams labeled (a), (b), (c), and (d). Diagram (a) shows a uniform distribution of points. Diagram (b) shows points clustered in the center with an 'X' drawn over it. Diagram (c) shows a uniform distribution of points. Diagram (d) shows a uniform distribution of points.

Figura 19a: Resposta do aluno DM no pré-teste

2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.

*Devido ao resfriamento as moléculas se agrupam e não se agitam.*



Figura 19b: Resposta do aluno DM no pós-teste

As figuras 20a e 20b mostram que o aluno LB modificou seu perfil conceitual substancialista para o perfil conceitual atomístico, porém apresenta compreensão parcial do conceito.

2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.

*B.*  
*com a diminuição da temperatura as moléculas se juntam.*

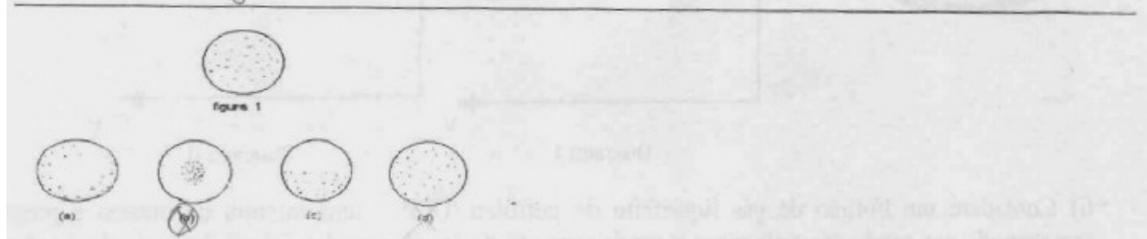


Figura 20a: Resposta do aluno LB no pré-teste

2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.

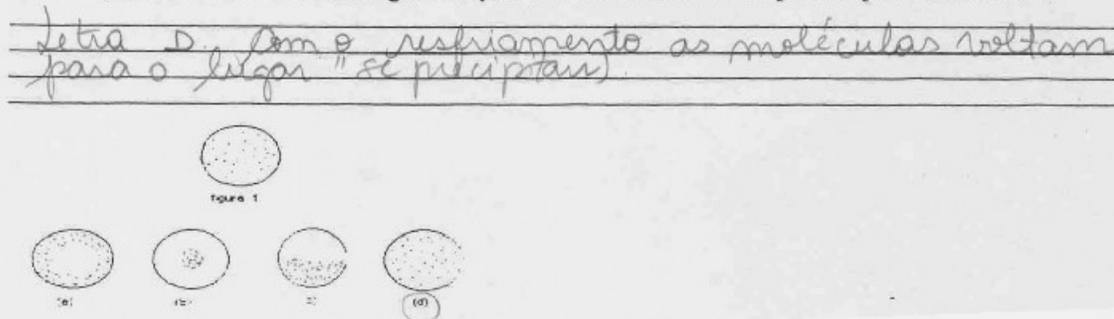


Figura 20b: Resposta da aluna LB no pós-teste

Ao compararmos as tabelas 4 e 5 podemos observar que, tanto no pré-teste como no pós-teste, 29,6% dos estudantes apresentaram o predomínio do perfil conceitual substancialista nas duas questões; 40,7% dos estudantes tem o predomínio do perfil conceitual atomístico nas duas questões; 25,9% dos estudantes apresentam um perfil misto, com predominância do perfil conceitual atomístico na questão 1 e do perfil conceitual substancialista na questão 2. Destaca-se 3,8% da amostra que modificou seu perfil conceitual no pós-teste. Isso pode significar a presença de concepções alternativas que não foram modificadas mesmo com o uso da estratégia adotada.

### **7.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS**

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados da análise estatística dos dados coletados. Os resultados são apresentados na forma de tabelas e gráficos (extraídos do programa SPSS, versão em língua inglesa).

#### **7.3.1 Comparação dos Resultados entre Pré-Teste e Pós-Teste para o Grupo A.**

Inicialmente, através do teste de Wilcoxon para amostras pareadas, analisamos se houve diferença entre dois momentos (pré-teste e pós-teste) para os componentes do grupo A. O resultado deste teste é apresentado na tabela 6 para as diferenças consideradas significativas ( $p \leq 0,05$ ) antes e depois da simulação computacional.

Podemos observar na tabela 6 que não houve diferenças significativas ( $p \geq 5\%$ ) para os conceitos C1 e C2. Como pode ser observado, no conceito C1 não houve mudança do escore para 44,5 % da amostra, enquanto que apenas 25,9% migraram dos níveis baixos aos mais elevados; no conceito C2, 33,3% migraram para os níveis inferiores, 9 alunos (37,1%) apresentaram igualdade de resposta do pré-teste para o pós-teste. O conceito C4, apesar da diferença significativa, apresenta 44,5 % dos alunos com melhoria no seu escore após a aplicação do tutorial. Verifica-se que houve melhoria no desempenho do grupo na resposta dada às questões correspondentes aos conceitos C3, C5 e C6, indicando que o uso do tutorial possibilitou aprendizagem.

Tabela 6

Teste de Wilcoxon para a comparação entre pré-teste e pós-teste do grupo A que realizou a atividade computacional.

Nível de representação	Conceito	resultado	n	%	p	
Microscópico - Simbólico	C1 - Efeito da temperatura no aumento na pressão	Pré>Pós	8	29,6	0,320	ns
		Pré=Pós	12	44,5		
		Pré<Pós	7	25,9		
		Total	27	100,0		
Microscópico	C2 - Efeito da temperatura na distribuição molecular	Pré>Pós	9	33,3	0,846	ns
		Pré=Pós	10	37,1		
		Pré<Pós	8	29,6		
		total	27	100,0		
Microscópico - Macroscópico	C3 – Interações intermoleculares e comportamento macroscópico	Pré>Pós	3	11,1	0,000	s
		Pré=Pós	3	11,1		
		Pré<Pós	21	77,8		
		total	27	100,0		
Microscópico - Macroscópico - Simbólico	C4 – Efeito da pressão no volume – diferenças gás ideal – gás real	Pré>Pós	5	18,4	0,009	s
		Pré=Pós	10	37,1		
		Pré<Pós	12	44,5		
		total	27	100,0		
Simbólico	C5 – Construção de isotermas de gases	Pré>Pós	2	7,4	0,000	s
		Pré=pós	4	14,8		
		Pré<Pós	21	77,8		
		Total	27	100,0		
Simbólico – Macroscópico	C6 - Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo nas condições ambientais	Pré>Pós	1	3,7	0,000	s
		Pré=pós	5	18,5		
		Pré<Pós	21	77,8		
		Total	27	100,0		

s: Diferença significativa ao nível de 1%

ns: Diferença não significativa

Os histogramas abaixo<sup>1</sup> demonstram a evolução do grupo antes e depois da aplicação do tutorial nos diferentes conceitos investigados.

A observação do gráfico 1 mostra que houve um decréscimo das respostas dadas na categoria não respondeu e um acréscimo significativo nas categorias compreensão errônea,

<sup>1</sup> Os histogramas relativos aos conceitos C1 e C2 não são discutidos porque foram analisados nas seções 7.2.2 e 7.2.3.

compreensão parcial e compreensão total para a questão associada ao conceito C3: as interações moleculares e comportamento macroscópico das partículas do gás.

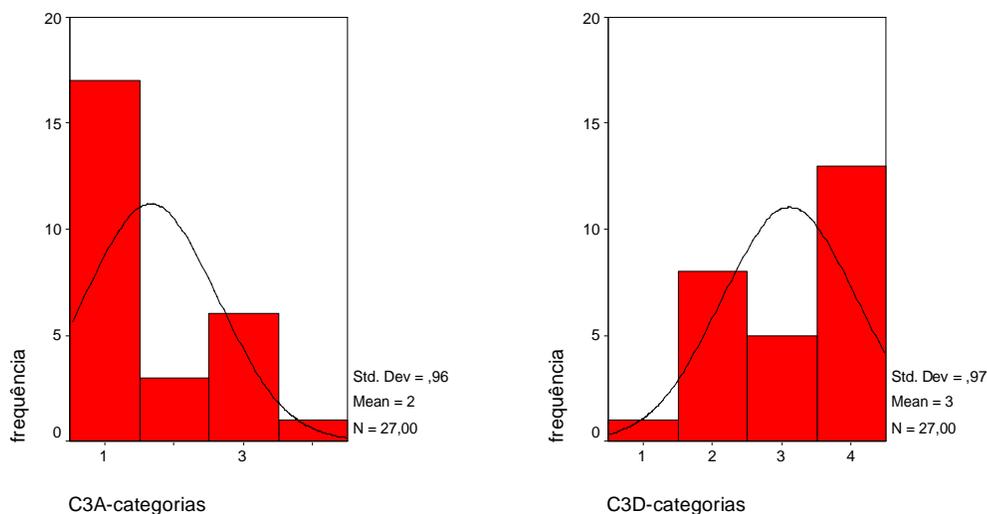


Gráfico 1: Conceito C3: Interações intermoleculares e comportamento macroscópico

A observação do gráfico 2 mostra que houve decréscimo nas categorias não respondeu e compreensão parcial do conceito efeito da pressão no volume, mas aumento significativo nas categorias concepção errônea e compreensão total na questão associada ao conceito C4: efeito da pressão no volume – diferenças entre gás ideal e gás real.

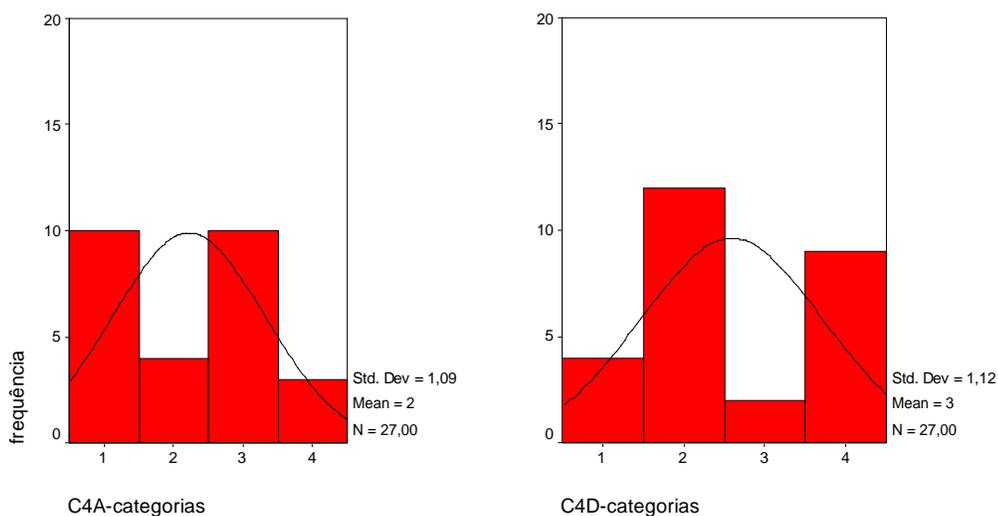


Gráfico 2: Conceito C4: Efeito da pressão no volume – diferenças entre um gás ideal e um gás real.

Observando o gráfico 3 verifica-se que houve acréscimo significativo nas respostas dadas nas categorias concepção errônea, compreensão parcial e compreensão total na questão associada ao conceito C5: construção das isotermas de diferentes gases.

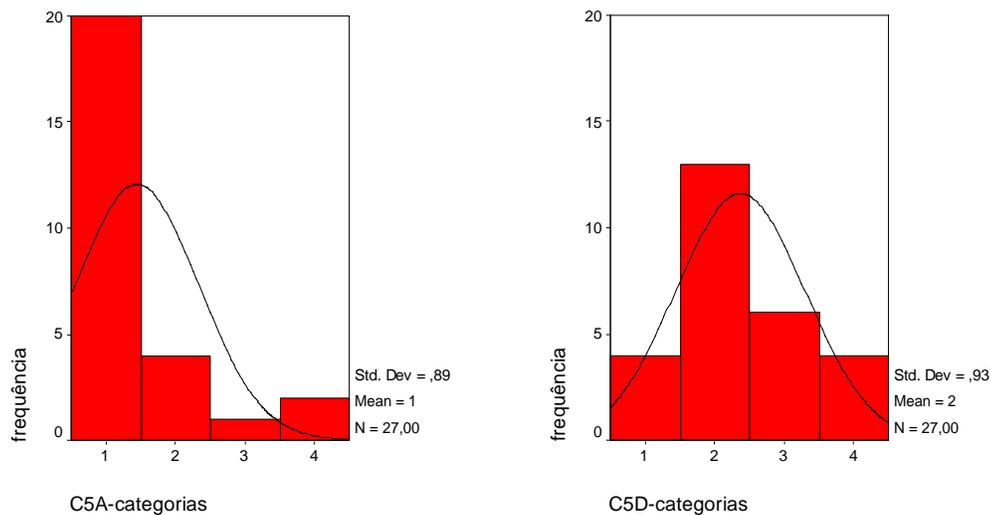


Gráfico 3: Conceito C5: Construção de isotermas de sistemas gasosos.

O gráfico 4 mostra que houve acréscimo significativo na categoria compreensão total nas respostas dadas para a questão associada ao conceito C6: Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais. Nesse conceito ainda predominam algumas concepções errôneas.

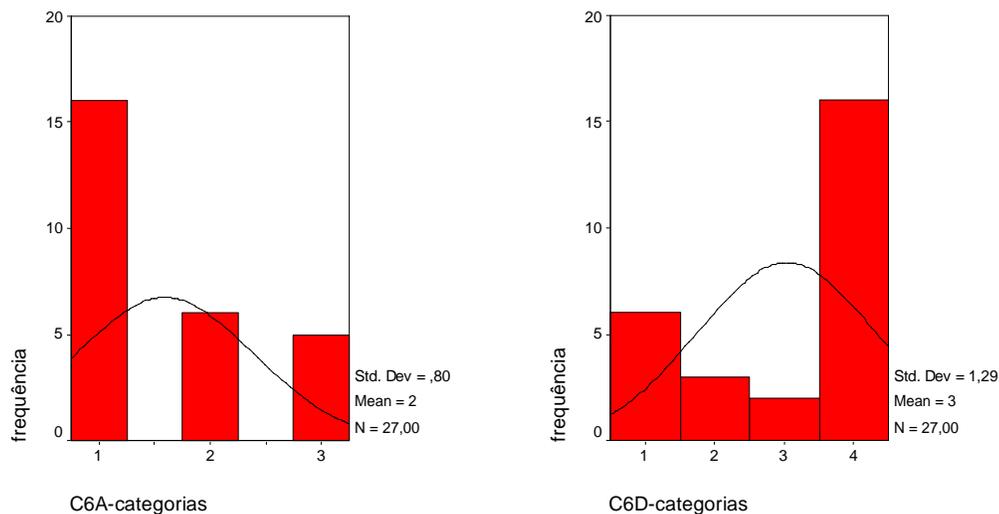


Gráfico 4: Conceito C6: Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais.

Comparando os resultados dos dois testes pode-se inferir que o uso da modelagem e da simulação computacional possibilitou a aprendizagem significativa de alguns dos conceitos investigados nos níveis macroscópico e simbólico.

Os resultados também mostram que os estudantes apresentam dificuldade de articulação dos conceitos nos níveis de representação macroscópica e microscópica, quando tentam explicar as variáveis macroscópicas através do comportamento microscópico das partículas que compõem o sistema gasoso.

### **7.3.2 Comparação dos Resultados entre Pré-Teste e Pós-Teste para o Grupo B.**

Através do teste de Wilcoxon para amostras pareadas, analisamos se houve diferença entre dois momentos (pré-teste e pós-teste) para os componentes do grupo B. Os resultados desse teste são apresentados na tabela 7, para as diferenças consideradas significativas ( $p \leq 0,05$ ) antes e depois da simulação computacional.

Podemos observar na tabela 7 que não houve diferença significativa ( $p \geq 5\%$ ) para o conceito C1. Como pode ser observado, no conceito C1 não houve mudança do escore para 36,8% da amostra, enquanto que 31,6% migraram dos níveis baixos aos mais elevados. Verifica-se que houve melhoria no desempenho do grupo na resposta dada às questões correspondentes aos conceitos C3, C5 e C6, indicando que o uso do tutorial possibilitou aprendizagem. A tabela 7 mostra que no conceito C4 há diferenças significativas, porém observa-se que 63,2 % dos alunos mantiveram a resposta dada no pré-teste. Isto pode

significar que houve aprendizagem ao se desenvolver na atividade. O conceito C2 não foi questionado no grupo B.

Tabela 7

Teste de Wilcoxon para a comparação entre pré-teste e pós-teste do grupo B que realizou a atividade computacional

Nível de representação	Conceito	resultado	n	%	Nível de significância	
Macroscópico Microscópico Simbólico	C1- Efeito da temperatura no aumento da pressão	Pré > Pós	6	31,6	0,796	ns
		Pré = Pós	7	36,8		
		Pré < Pós	6	31,6		
		Total	19	100,0		
Microscópico Macroscópico	C3 – Interações intermoleculares e comportamento macroscópico	Pré > Pós	0	0,0	0,002	s*
		Pré = Pós	8	42,1		
		Pré < Pós	11	57,8		
		Total	19	100,0		
Microscópico Macroscópico Simbólico	C4 – Efeito da pressão no volume: diferenças entre gás ideal e gás real	Pré > Pós	0	0,0	0,001	s*
		Pré = Pós	12	63,2		
		Pré < Pós	7	36,8		
		Total	19	100,0		
Simbólico	C5 – Isotermas de gases	Pré > Pós	0	0,0	0,001	s*
		Pré = Pós	5	26,3		
		Pré < Pós	14	73,7		
		Total	19	100,0		
Simbólico Macroscópico	C6 - Interações e não idealidade –gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais	Pré > Pós	2	10,5	0,008	s*
		Pré = Pós	6	31,6		
		Pré < Pós	11	57,9		
		Total	19	100,0		

ns: Diferença não significativa

s\*: Diferença significativa ao nível de 1

Os histogramas mostrados abaixo demonstram a evolução do grupo antes e depois da aplicação do tutorial nos diferentes conceitos investigados.

A observação do gráfico 5 mostra que houve um decréscimo das respostas na categoria não respondeu e um acréscimo significativo na categoria compreensão parcial para a

questão associada ao conceito C3: as interações moleculares e comportamento macroscópico das partículas do gás. Nesse conceito, não foram observadas respostas no nível 4 – compreensão total.

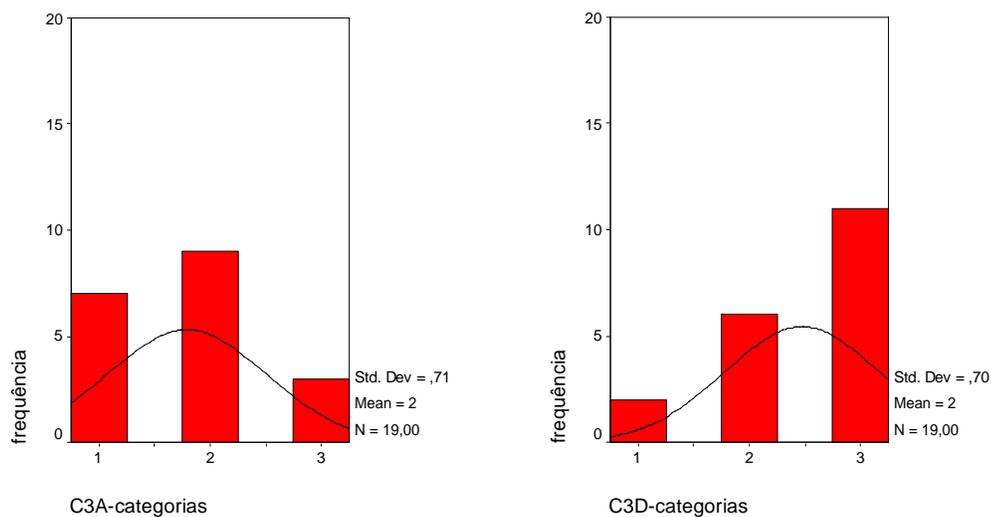


Gráfico 5: Conceito C3: Interações intermoleculares e comportamento macroscópico

A observação do gráfico 6 mostra que houve decréscimo na categoria não respondeu, mas aumento significativo nas categorias compreensão parcial e compreensão total na questão associada ao conceito C4: efeito da pressão no volume – diferenças entre gás ideal e real.

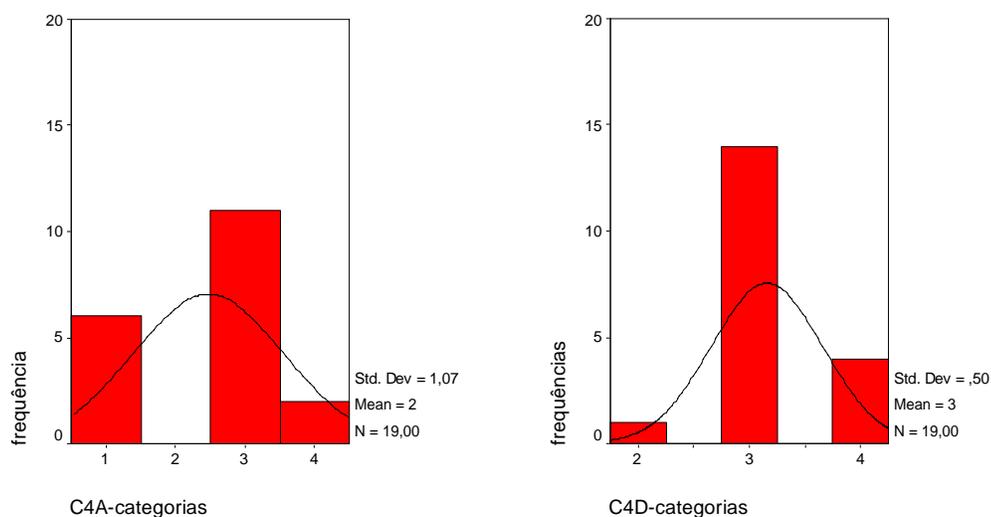


Gráfico 6: Conceito C4: Efeito da pressão no volume: diferenças entre gás ideal e gás real.

A observação do gráfico 7 mostra que houve decréscimo na categoria não respondeu, mas aumento significativo nas categorias concepção errônea e compreensão parcial na questão associada ao conceito C5: construção das isotermas de diferentes gases.

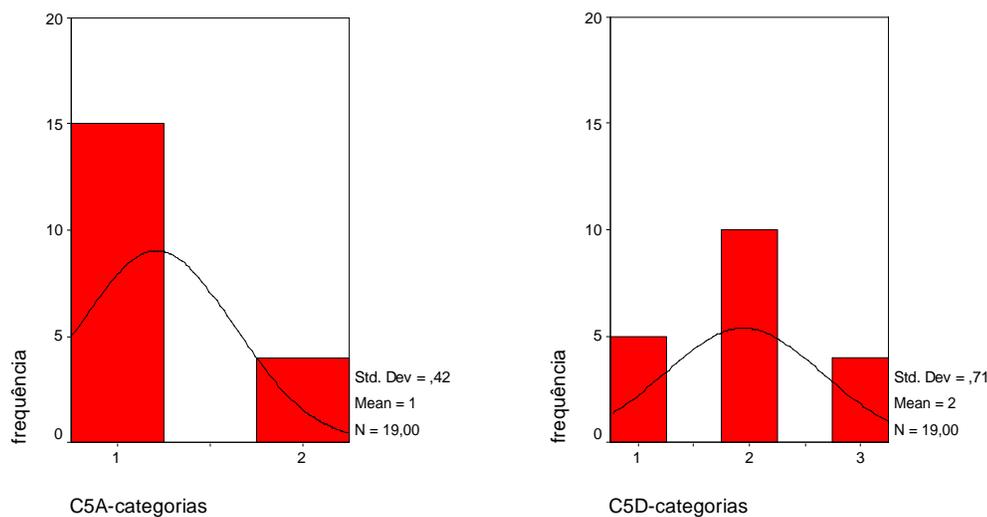


Gráfico 7: Conceito C5: Construção de isotermas de gases

O gráfico 8 mostra que houve acréscimo significativo na categoria compreensão total para a questão associada ao conceito C6: Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais. Nesse conceito ainda predominam algumas concepções errôneas. Verifica-se neste conceito que não houve respostas indicando compreensão total do conceito.

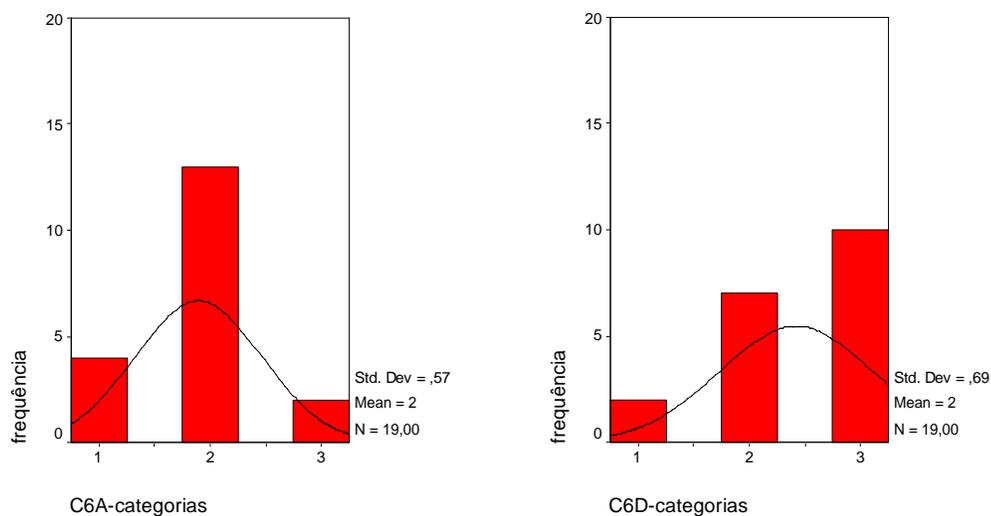


Gráfico 8: Conceito C6: Interações e não idealidade – comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais.

Comparando os resultados dos dois testes podemos inferir que o uso da modelagem e da simulação computacional possibilitou a aprendizagem significativa de alguns dos conceitos investigados nos níveis macroscópico e simbólico.

Os resultados também mostram que os estudantes apresentam dificuldade de articulação dos conceitos nos níveis de representação macroscópica e microscópica, quando tentam explicar as variáveis macroscópicas através do comportamento microscópico das partículas que compõem o sistema gasoso.

### **7.3.3 Comparação dos Resultados do Pré-Teste e do Pós-Teste entre os Grupos A e B.**

Através do teste de Wilcoxon para amostras pareadas, analisamos se houve diferença entre dois momentos (pré-teste e pós-teste) para os grupos A e B tomados em conjunto. Os resultados desse teste são apresentados na tabela 8, para as diferenças consideradas significativas ( $p \leq 0,05$ ) antes e depois da simulação computacional.

Podemos observar na tabela 8 que não houve diferença significativa ( $p \geq 5\%$ ) para o conceito C1. Como pode ser observado, no conceito C1 não houve mudança do escore para 50,0% da amostra, enquanto que 28,7% migraram dos níveis baixos aos mais elevados. Verifica-se que houve melhoria no desempenho do grupo na resposta dada às questões correspondentes aos conceitos C3, C5 e C6, indicando que o uso do tutorial possibilitou aprendizagem. A tabela 8 também mostra que no conceito C4 há diferenças significativas, porém observa-se que 47,8 % dos alunos mantiveram a resposta dada no pré-teste. Como o

grupo B não respondeu ao conceito C2, este não foi analisado nesta situação. Isto pode significar que houve aprendizagem ao se desenvolver a atividade.

Tabela 8

Teste de Wilcoxon para a comparação entre pré-teste e pós-teste aplicados ao grupo AB

Nível de representação	Conceito	Resultado	N	%	Nível de significância	
Macroscópico Microscópico Simbólico	C1 – efeito do aumento da temperatura na pressão	Pré > Pós	10	21,7	0,275	ns
		Pré = Pós	23	50,0		
		Pré < Pós	13	28,3		
		Total	46	100,0		
Microscópico Macroscópico	C3 – Interações intermoleculares e comportamento macroscópico	Pré > Pós	3	6,5	0,000	s*
		Pré = Pós	11	23,9		
		Pré < Pós	32	69,6		
		Total	46	100,0		
Microscópico Macroscópico Simbólico	C4 – Efeito da pressão no volume: diferenças entre gás ideal e gás real	Pré > Pós	5	10,9	0,003	s*
		Pré = Pós	22	47,8		
		Pré < Pós	19	41,3		
		Total	46	100,0		
Simbólico	C5 – Construção de isotermas dos gases	Pré > Pós	2	4,4	0,000	s*
		Pré = Pós	11	23,9		
		Pré < Pós	33	71,7		
		Total	46	100,0		
Simbólico Macroscópico	C6 – Interações e não idealidade: o gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais	Pré > Pós	3	6,5	0,000	s*
		Pré = Pós	11	23,9		
		Pré < Pós	32	69,6		
		Total	46	100,0		

ns: Diferença não significativa

s\*: Diferença significativa ao nível de 1%

Os histogramas demonstram a evolução do grupo antes e depois da aplicação do tutorial nos diferentes conceitos investigados.

A observação do gráfico 9 mostra que houve um decréscimo das respostas dadas nas categorias não respondeu e concepção errônea e um acréscimo na categoria compreensão total, para a questão associada ao conceito C1: Efeito do aumento da temperatura na pressão.

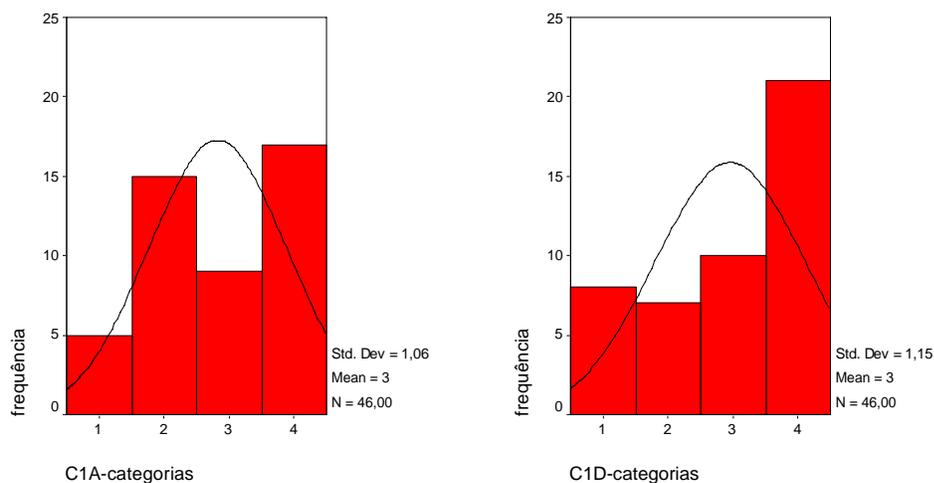


Gráfico 9: Conceito C1: Influência da temperatura no aumento da pressão

O gráfico 10 mostra que houve migração das respostas da categoria não respondeu para as demais categorias na questão associada ao conceito C3: Interações intermoleculares e comportamento macroscópico de um gás.

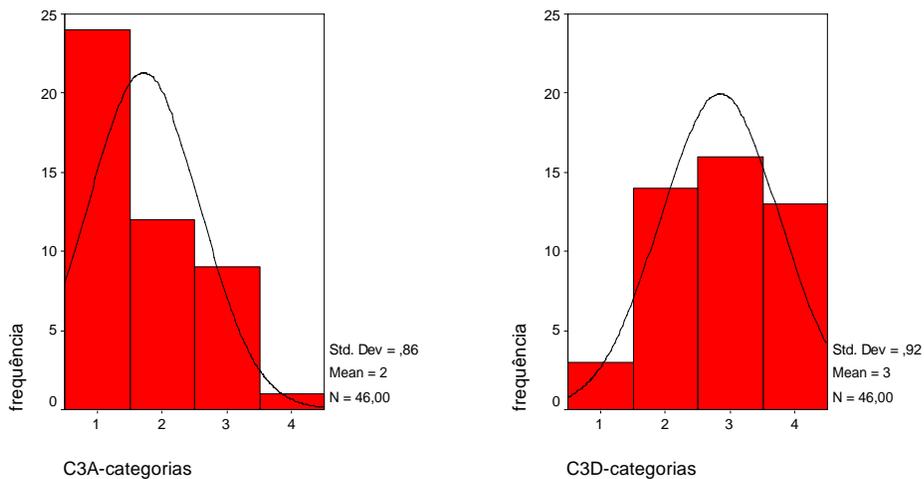


Gráfico 10: Interações intermoleculares e comportamento macroscópico de um gás.

O gráfico 11 mostra que houve migração da categoria não respondeu para as demais categorias da questão associada ao conceito C4: Efeito da pressão no volume – diferenças entre gás real e gás ideal.

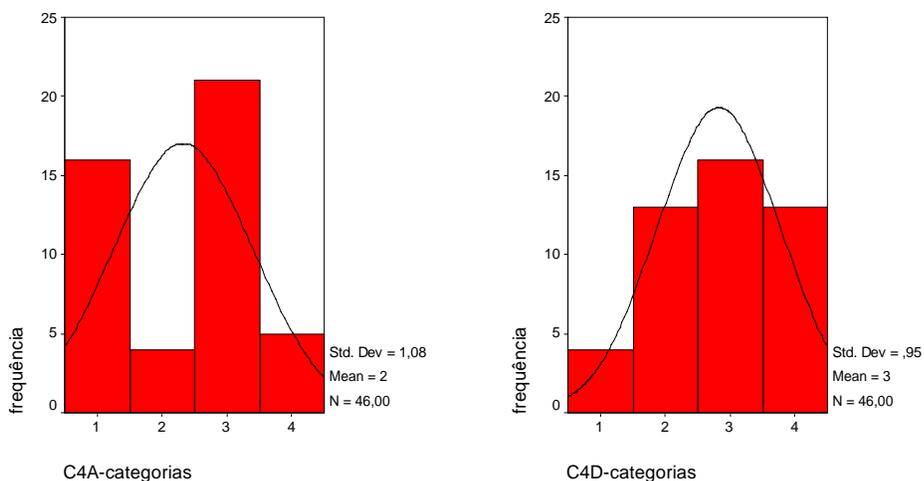


Gráfico 11: Conceito C4: Efeito da pressão no volume – diferenças entre gás real e gás ideal.

O gráfico 12 mostra que houve a migração das respostas na categoria não responde para as demais categorias, nas respostas dadas para a questão associada ao conceito C5: Construção de isotermas de gases, mas observa-se que há um número significativo de respostas na categoria concepção errônea para explicar a forma das curvas que descrevem as isotermas dos sistemas gasosos.

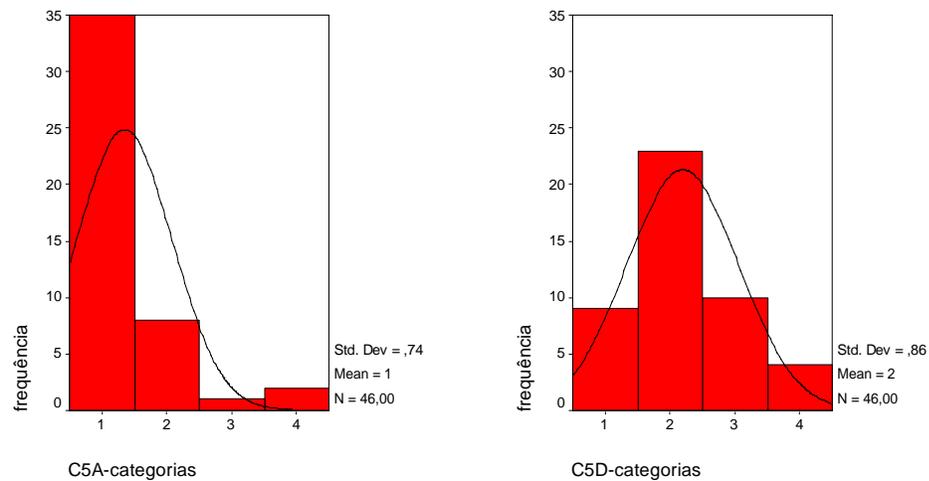


Gráfico 12: Conceito C5: Construção de isotermas de gases

O gráfico 13 mostra que houve melhoria na compreensão do comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais.

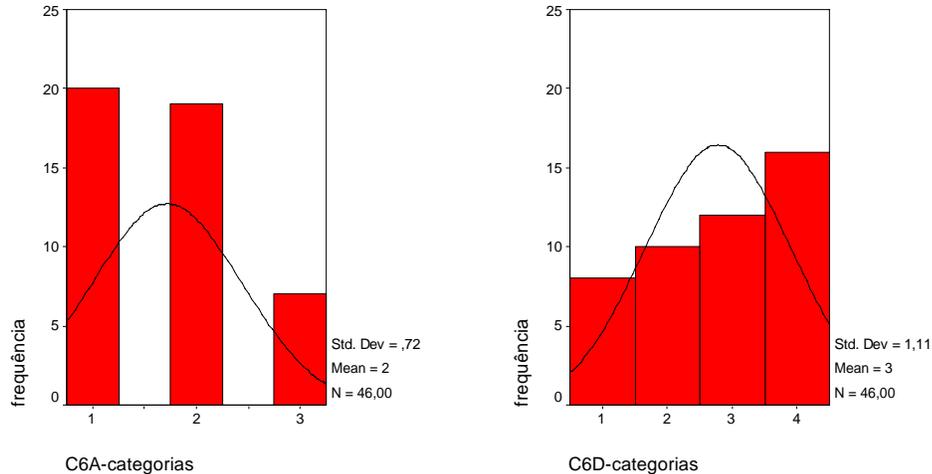


Gráfico 13: Conceito C6: Interações e não idealidade: o comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais.

### 7.3.4 Comparação dos Resultados do Teste aplicado ao grupo C, após a Aula Expositiva.

O grupo C respondeu a um teste igual ao pós-teste aplicado aos grupos A e B, após estudarem os conteúdos associados ao comportamento dos gases em aula expositiva.

Observar-se na tabela 9 que o desempenho dos alunos verificado na análise desse instrumento indica que há diferenças significativas na média das respostas dadas às questões associadas a cada conceito pesquisado.

Tabela 9

Médias da compreensão dos conceitos apresentada pelo grupo C no pós-teste aplicado após o estudo dos conteúdos associados aos gases em aula expositivo-dialogada.

Conceitos	Média	Desvio-padrão	P	
C1 Efeito do aumento da temperatura na pressão	1,90	0,939	0,007	s*
C2 Efeito da temperatura na distribuição de posições das moléculas de um gás	1,17	0,468	0,020	s
C3 Interações intermoleculares E comportamento macroscópico	1,72	0,841	0,005	s*
C4 Efeito da pressão no volume - diferenças entre gás real e ideal	2,28	0,751	0,021	s
C5 Isotermas de gases	1,76	0,912	0,007	s*
C6 Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo nas condições ambientais	2,14	0,875	0,017	s

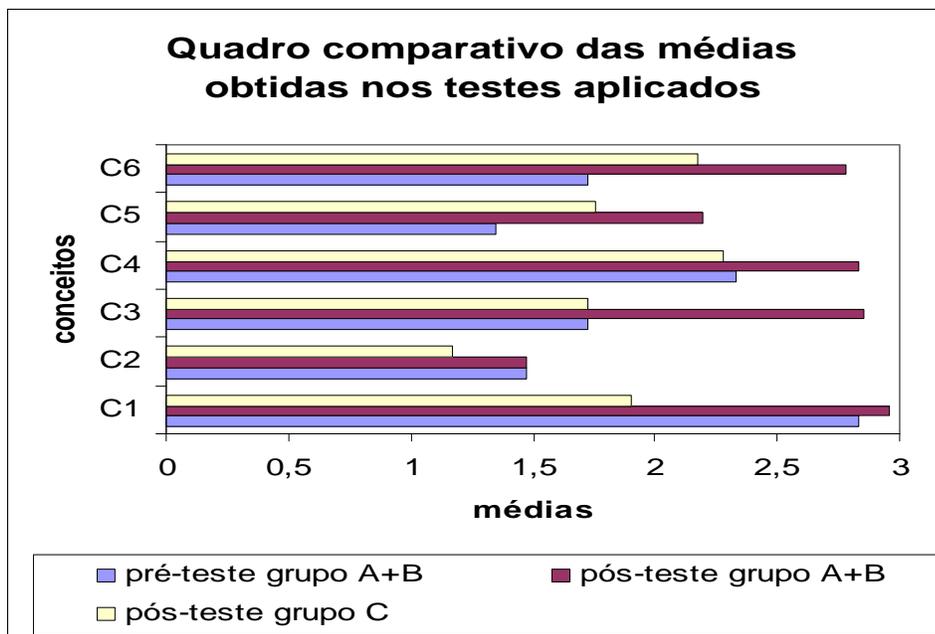
s: Diferença significativa ao nível de 5%      s\*: Diferença significativa ao nível de 1

### 7.3.5 Comparação do Desempenho dos Grupos A, B e C.

O diagrama de barras mostrado tabela 10 indica que o desempenho dos grupos A e B apresentou acréscimo na média no pós-teste e que esta média foi superior à média do pós-teste do grupo C. Na questão associada ao conceito C2 observa-se que não há diferença entre o pré-teste e o pós-teste nas respostas dos alunos dos grupos A e B e que grupo C teve desempenho inferior aos dois grupos.

Tabela 10

Quadro comparativo das médias obtidas nos testes aplicados aos grupos A, B e C



### 7.3.6 Comparação entre os Resultados do Pré-teste e do Pós-teste Aplicados aos Componentes dos Grupos A e B e Relacionados ao Conceito C6: Interações e Não Idealidade: o Volume Molar da Água nas CNTP.

A tabela 11 mostra o desempenho dos alunos dos grupos A e B na questão associada ao conceito C6: Interações e não idealidade: o volume molar da água, aplicada apenas a 34 alunos, matriculados nos cursos de licenciatura e bacharelato em Química. Esse conceito apresenta a maior diferença não significativa e a resposta mais comum é que o volume molar é igual a 22,4 litros, (fisicamente corresponde ao volume ocupado por um mol de qualquer gás nas CNTP), sendo uma concepção alternativa “resistente” que foi observada tanto no pré-teste como no pós-teste.

Tabela 11  
 Teste de Wilcoxon para a comparação das respostas do grupo AB para o conceito C6

Nível de representação	Conceito	Resultado	N	%	Nível de significância
Simbólico Macroscópico	C6 – Interações e não idealidade: volume da água nas CNTP	Pré > Pós	7	20,6	0,968
		Pré = Pós	22	64,7	
		Pré < Pós	5	14,7	
		Total	34	100,0	

ns:diferença não significativa ( $p>0,05$ )

O gráfico 14 mostra o desempenho dos grupos A e B na questão associada ao conceito C6 – interações e não idealidade: o volume molar da água nas CNTP. Pode-se observar que a maioria dos alunos não respondeu a questão e que houve pequena modificação nas categorias concepção errônea, compreensão parcial e compreensão total. Este conceito foi investigado apenas com os alunos da licenciatura e bacharelado em Química.

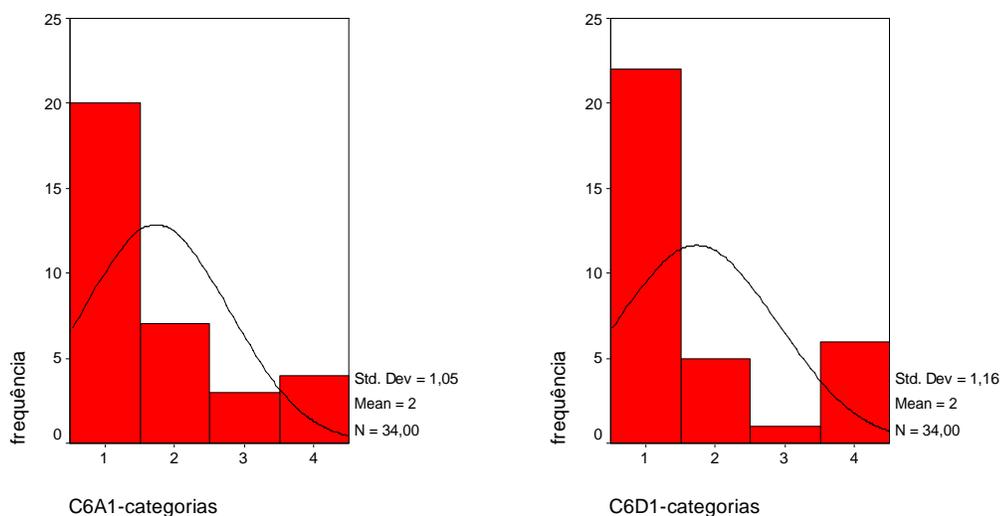


Gráfico 14: Conceito C6: Interações e não idealidade: o volume molar da água nas CNTP.

#### 7.4 AUTO-AVALIAÇÃO DOS ESTUDANTES EM RELAÇÃO AO SEU DESEMPENHO NAS ATIVIDADES REALIZADAS.

Após o desenvolvimento da estratégia de modelagem e simulação computacional, junto com o instrumento de coleta de dados, o pós-teste, foi aplicado a 75 alunos dos grupos A e B um questionário de auto-avaliação dos estudantes e avaliação da efetividade de uso da metodologia.

Os resultados encontrados, tabulados na forma de percentuais, são apresentados na tabela 12. A análise desses resultados mostra que o procedimento foi válido. A aplicação da atividade despertou grande interesse da parte dos alunos, servindo como um agente motivador. Alguns alunos destacaram que gostariam de ter tido mais tempo para explorar o programa.

Tabela 12

Resultados do questionário de validade da metodologia adotada.

Questões	CP	C	NO	D	DP
Eu gostei do método de ensino utilizado.	<b>48,0</b>	45,4	4,0	1,3	1,3
A atividade foi útil para a compreensão dos conceitos.	41,3	<b>50,7</b>	6,7	1,3	0,0
O conteúdo da aula não despertou meu interesse.	4,0	6,7	6,7	<b>56,0</b>	26,6
Considero que trabalhei bem durante as aulas.	20,0	<b>50,7</b>	20,0	9,3	0,0
Tenho a impressão de que aprendi bastante nesta unidade.	21,3	<b>48,0</b>	25,4	5,3	0,0
As tarefas da atividade computacional foram descritas de modo claro.	42,6	<b>50,7</b>	6,7	0,0	0,0
Os conceitos envolvidos foram ficando mais claros no decurso do trabalho.	21,3	<b>58,6</b>	13,4	6,7	0,0
Eu tenho boas habilidades computacionais.	26,7	<b>48,0</b>	10,7	13,3	1,3
Eu tive dificuldades na condução das tarefas	0,0	22,7	18,7	<b>38,6</b>	20,0

Legenda:

CP - concordo plenamente; C – concordo; NO – não opino; D – discordo; DP – discordo plenamente

## 7.5 ANÁLISE QUALITATIVA DOS TESTES

Nesta parte do capítulo realizamos a análise qualitativa dos resultados. São apresentadas e comparadas as respostas selecionadas dadas pelos alunos dos grupos A e B às questões relacionadas com os conceitos investigados no pré-teste e no pós-teste, comparando-se com as idéias expressas no referencial teórico. A análise qualitativa dos instrumentos utilizados possibilita verificar se ocorreu mudança conceitual e aprendizagem significativa e também permite tentar traçar o perfil conceitual dos indivíduos investigados.

### **7.5.1 Conceito C1 – Efeito do Aumento da Temperatura na Pressão do Sistema Gasoso.**

Analisando as respostas dadas apresentamos alguns exemplos extraídos dos questionários respondidos pelos alunos dos grupos A e B.

- No pré-teste o aluno CAC assinalou a alternativa (b) – as moléculas do gás ganham energia, movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas - justificando a escolha com a representação das partículas deslocando-se aleatoriamente no recipiente. No pós-teste explicou que “o aumento da temperatura causa a agitação das partículas e isso origina o aumento da pressão”; representou as partículas através de pequenas esferas deslocando-se aleatoriamente e traçou o gráfico  $P \times T$  na forma de uma reta com declividade positiva para indicar a relação de proporção entre as variáveis pressão e temperatura. A resposta expressa pelo o aluno indica que o mesmo apresenta compreensão total do conceito.

- No pré-teste o aluno FS assinalou a alternativa (b) – as moléculas do gás ganham energia, movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas - mas não justificou a escolha. No pós-teste explicou que “a pressão aumenta devido ao aumento da temperatura, o que faz com que a velocidade das moléculas seja maior e que colisão com as paredes do recipiente ocorra com mais força”; representou as partículas como pequenas esferas como movimento aleatório

e construiu o gráfico PxT traçando um ramo de parábola para representar a relação entre as variáveis pressão e temperatura. A resposta expressa pelo aluno indica a compreensão parcial do conceito.

- No pré-teste o aluno TR, assinalou a alternativa (b) – as moléculas do gás ganham energia, movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas - explicou a escolha desenhando partículas como pequenas esferas movendo-se aleatoriamente. No pós-teste explicou que, “com o aumento da temperatura temos um aumento na pressão, pois o volume é fixo. As partículas circulam mais no meio, batendo mais vezes nas paredes do recipiente, aumentando a pressão”; desenhou as partículas como pequenas esferas em movimento aleatório e traçou uma reta com declividade positiva no gráfico PxT para representar a relação entre as duas grandezas. Observa-se aqui que o aluno apresentou compreensão total do conceito.

- O aluno MC no pré-teste assinalou a alternativa (a)- a pressão é inversamente proporcional à temperatura – explicando a escolha com o traçado de uma hipérbole no gráfico PxV para a relação, e escrevendo uma equação de estado. No pós-teste disse apenas que “a pressão aumenta (as condições enunciadas)”; desenhou as partículas com movimento aleatório; para representar a relação entre a pressão e a temperatura construiu uma reta com declividade positiva para o gráfico PxT. A formulação da resposta possivelmente indica que o aluno apresenta compreensão parcial do conceito.

- No pré-teste, a aluna CASP desenhou as partículas como esferas colidindo com as paredes; explicou que “a pressão irá aumentar, pois a tendência das moléculas é de se expandirem” e construiu o gráfico PxT como uma reta com declividade positiva. A aluna apresentou a concepção alternativa de que as moléculas ao serem aquecidas alteram suas dimensões, que

pode ser também descrito como a evidência da presença do perfil conceitual substancialista, de acordo com Mortimer, 2001. No pós-teste, apresentou com explicação que, “se ocorre aumento da temperatura, logo ocorre um aumento da pressão. Com o aumento da temperatura, as partículas do gás tendem a se dispersar, fazendo pressão para o meio, ficando assim mais agitadas”; aqui verificamos que ocorreu uma evolução no perfil conceitual, mas a compreensão parcial do conceito; as partículas foram orientadas para as paredes e gráfico PxT foi traçado como uma reta com declividade positiva.

- No pré-teste a aluna DM explicou que “a tendência do sistema ao aumentar a temperatura é fazer com que o gás tenha mais pressão forçando a sua saída”, sem desenhar o comportamento molecular ou traçar gráfico PxT. No pós-teste explicou que “a pressão aumenta, pois as moléculas ficam mais agitadas com o aquecimento”; desenhou as partículas com orientação aleatória no recipiente, traçou no diagrama uma reta com declividade positiva para o gráfico PxT, indicando a relação de proporção direta entre as duas variáveis de estado. O aluno mostrou evolução no perfil conceitual e compreensão total do conceito.

### **7.5.2 Conceito C2 – O Efeito da Temperatura na Distribuição das Posições das Moléculas de um Gás.**

Analisando as respostas dadas pelos estudantes as questões associadas a este conceito no pré-teste e no pós-teste, apresentamos alguns exemplos:

- No pré-teste o aluno CAC assinalou a alternativa (b) – os pontos que representam as moléculas concentram-se no centro do tanque de aço, ficando um vazio entre elas e as paredes explicando que, “quando diminui a temperatura as partículas tendem a se agrupar”. No pós-

teste ele assinalou a alternativa (d) – os pontos que representam as moléculas preenchem todo o tanque de aço – explicando que “a pressão será maior (?), mas o gás continuará ocupando o maior espaço no tanque”. No pré-teste observamos a presença do perfil conceitual substancialista, conforme Mortimer (2001); no pós-teste verificamos a substituição pelo perfil conceitual atomístico, indicando a mudança no perfil conceitual.

- No pré-teste o aluno LB assinalou a alternativa (b) – os pontos que representam as moléculas concentram-se no centro do tanque de aço, ficando um vazio entre elas e as paredes – explicando que, “com a diminuição da temperatura as moléculas se juntam”. No pós-teste assinalou a resposta (d) – os pontos que representam as moléculas preenchem todo o tanque de aço – escrevendo que “com o resfriamento as moléculas voltam para o lugar – ‘se precipitam’”. No pré-teste o aluno apresenta o perfil conceitual substancialista e no pós-teste verifica-se a presença do perfil atomista, mas ainda não há clareza na justificativa da resposta, o que caracteriza a compreensão parcial do conceito.

- O aluno SR no pré-teste assinalou a alternativa (b) - os pontos que representam as moléculas concentram-se no centro do tanque de aço, ficando um vazio entre elas e as paredes – e justifica a escolha dizendo que “depois do resfriamento as moléculas de hidrogênio se unem no centro do tanque”. No pós-teste assinalou a resposta (d) - os pontos que representam as moléculas preenchem todo o tanque de aço – e justificou a escolha dizendo que “as moléculas ficam bem distribuídas, porém elas não estão agitadas e sim quase paradas”. O aluno apresentou mudança no perfil conceitual, porque no pré-teste apresenta a concepção alternativa da união das moléculas no centro do tanque e um perfil conceitual substancialista, e no pós-teste mostra compreensão parcial do conceito quando descreve o comportamento das moléculas, mas altera para o perfil atomista.

- O aluno CASP no pré-teste assinalou a alternativa (b) - os pontos que representam as moléculas concentram-se no centro do tanque de aço, ficando um vazio entre elas e as paredes – justifica a escolha dizendo que “ao contrário do aquecimento, onde as moléculas tendem a se expandir, no resfriamento elas tendem a se unir”. No pós-teste escolheu a alternativa (c) – as moléculas posicionam-se no fundo do tanque, ficando vazio acima delas – explicando que “devido à mudança brusca de temperatura as moléculas tendem a ficar menos agitadas.” A aluna apresentou concepções alternativas, caracterizadas pelo perfil conceitual substancialista.

- O aluno MH não respondeu a questão proposta no pré-teste. No pós-teste assinalou a alternativa (d) - os pontos que representam as moléculas preenchem todo o tanque de aço – explicando que, “quando aumenta a temperatura, as moléculas atiram entre si”. A resposta dada indica que o aluno ainda está elaborando o conceito porque a explicação é confusa.

- O aluno MoZ no pré-teste assinalou a alternativa (b) - os pontos que representam as moléculas concentram-se no centro do tanque de aço, ficando um vazio entre elas e as paredes - sem apresentar justificativa para a escolha. No pós-teste assinalou a alternativa (d) - os pontos que representam as moléculas preenchem todo o tanque de aço – explicando que “Nos gases, a distância entre as moléculas é muito grande quando comparada com as dimensões. Quando um gás passa por um resfriamento sua temperatura altera”. No pré-teste apresenta o perfil conceitual substancialista; no pós-teste passa a apresentar perfil conceitual atomístico, porém mostra compreensão parcial do conceito ao redigir a explicação da escolha.

### **7.5.3 Conceito C3 – Interações Intermoleculares e Comportamento Macroscópico dos Gases e Conceito C4 – Efeito da Pressão no Volume e Vice-Versa – Diferenças entre o Gás Ideal e o Gás Real.**

Os dois conceitos são analisados juntos porque as questões apresentavam as idéias dos mesmos. Analisando as respostas dadas pelos estudantes as questões associadas a estes conceitos no pré-teste e no pós-teste, apresentamos alguns exemplos:

- No pré-teste o aluno FS não desenhou o comportamento cinético-molecular dos gases. Explicou “o gás ideal exerce mais pressão; devido à agitação das moléculas no botijão B haverá um volume maior e quanto maior o volume menor a pressão”. No pós-teste, comparando gás ideal com gás com interações repulsivas fortes, afirma: “no gás ideal as forças de repulsão são praticamente nulas ao contrário do gás no recipiente B.”. A pressão não é igual. A pressão no recipiente B será levemente maior, pois a força de repulsão das moléculas influencia a pressão. Quando compara o gás ideal com o gás real afirma “não, pois pressão do botijão B será maior levando em conta a atração e a repulsão das moléculas”. Ao analisarmos as respostas dadas observamos que houve aprendizagem, pois ocorreu a evolução do perfil conceitual.

- No pré-teste o aluno MC não desenhou o comportamento cinético-molecular dos gases e disse que “a pressão tem o mesmo valor nos dois botijões”. No pós-teste, ao comparar gás ideal com gás onde predominam as interações repulsivas fortes, respondeu ‘não, pois com maior repulsão as moléculas colidirão mais nas paredes aumentando a pressão’. Ao comparar o gás ideal com o gás real, afirmou “não, pois a atração e a repulsão aumentam a pressão”. Observamos que houve aprendizagem e evolução do perfil conceitual.

-O aluno FB não respondeu a questão no pré-teste. No pós-teste, ao comparar o gás ideal com o gás onde predominam as interações repulsivas fortes, diz “no gás ideal as forças de repulsão são praticamente nulas, ao contrário do gás no recipiente B. A pressão não é igual. A pressão no recipiente B será levemente maior, pois a força de repulsão das moléculas influencia a pressão”. Ao comparar o gás ideal com o gás real escreve “acho que a pressão do recipiente A será ligeiramente maior, pois as forças repulsivas e as forças atrativas quase se anulam no recipiente B”. Ao analisarmos as respostas vemos que o aluno tem dificuldade de expressar as idéias, permanecendo a confusão conceitual.

- No pré-teste, o aluno DM ao comparar o gás ideal com o gás com interações repulsivas fortes disse que “no gás ideal a tendência é aproximação; no gás com interações repulsivas é expelir”. Não indicou se a pressão era igual ou diferente; no recipiente A desenhou as partículas dirigidas para o centro do botijão; no recipiente B, as partículas estão orientadas para as paredes. No pré-teste, ao comparar o gás ideal com o gás real, desenhou no recipiente A as partículas dirigindo-se para o centro e no recipiente B, traçou as partículas em direções aleatórias. Explicou que “não têm a mesma pressão, pois no botijão A as moléculas tendem a se unir e no B há repulsão e atração”. No pós-teste, quando compara o gás ideal com o gás com interações repulsivas, traça as moléculas orientadas para as paredes do recipiente. No gás A as moléculas se movimentam em todas as direções; no gás B só há interações repulsivas. “Acha que no sistema B terá mais pressão que em A, pois em B tem bastante repulsão”. Ao comparar o gás ideal com o gás real traçou as moléculas orientadas em todas as direções. Assinalou que a “pressão não será igual, pois no botijão B a pressão será maior devido à atração e a repulsão”. O aluno apresentou compreensão total do conceito.

- No pré-teste o aluno MeLo ao comparar o gás ideal com o gás com interações repulsivas, desenhou no botijão A as partículas sem orientação e no botijão B as partículas são orientadas para as paredes. Explicou que “a pressão é maior no recipiente A, pois mantêm as moléculas juntas; em B a pressão não é suficiente para manter as moléculas unidas”. Ao comparar o gás ideal com o gás real traçou as partículas sem orientação. Explicou que “têm a mesma pressão, pois se elas têm ação atrativa e repulsiva é provável que tenham forças intermoleculares”. No pós-teste, ao comparar o gás ideal com o gás com interações repulsivas, traçou em A partículas em direções aleatórias e em B, partículas dirigidas para as paredes. Explicou que “o gás do recipiente A é um gás ideal, portanto não há atração nem repulsão entre as moléculas. No gás do recipiente B há repulsão entre as moléculas. A pressão é maior em B, pois as moléculas exercem mais pressão nas paredes por estarem se repelindo. No recipiente A, a pressão é menor, pois as moléculas não têm interação.” Ao comparar o gás ideal com o gás real, traçou em A e em B partículas com movimento aleatório. Explicou que a “pressão em B é maior, pois há interação entre as moléculas. Em A, as moléculas não interagem.” O aluno apresenta compreensão parcial do conceito. Considerando a articulação entre os níveis de representação observam-se alguns elementos errôneos, pois no nível macroscópico a concepção de pressão está correta, porém no nível microscópico há elementos errôneos expressos.

#### **7.5.4 Conceito C5 – Traçado das Isotermas de Gases.**

Analisando as respostas dadas pelos estudantes às questões associadas a este conceito no pré-teste e no pós-teste apresentamos alguns exemplos, mostrando a evolução do perfil conceitual de alguns alunos.

-No pré-teste o aluno CAC traçou uma reta paralela ao eixo das pressões; no pós-teste traçou a isoterma do gás real próxima aos eixos e a isoterma do gás ideal mais distante dos eixos, ficando a isoterma do gás com interações repulsivas entre as outras duas. O aluno mostrou compreensão parcial do conceito. As figuras 21a e 21b mostram a evolução conceitual do aluno no nível de representação simbólico.

6 – Um botijão rígido e indeformável está munido de um pistão que pode ser deslocado mediante o acréscimo ou retirada de pequenas massas. O gás contido no interior do botijão pode interagir com as vizinhanças trocando calor e mantendo constante a sua temperatura. Trace o gráfico da pressão em função do volume (gráfico  $P \times V$ ), supondo que o botijão contenha:

- um gás ideal.
- Um gás onde a repulsão entre as moléculas é muito forte.
- Um gás onde ocorrem interações atrativas e repulsivas entre as moléculas.



Figura 21a: Resposta do aluno CAC para a questão 6 do pré-teste

5) Um botijão rígido e indeformável está munido de um pistão que pode ser deslocado mediante o acréscimo ou retirada de pequenas massas. O gás contido no interior do botijão pode interagir com o exterior trocando calor e trabalho, enquanto mantém constante sua temperatura (processo isotérmico). No diagrama I trace o gráfico da pressão em função do volume para uma temperatura de  $27^{\circ}\text{C}$ ; repita no diagrama II para uma temperatura de  $-27^{\circ}\text{C}$ , supondo que o botijão contenha:

- um gás ideal;
- um gás com interações repulsivas
- um gás real (com interações repulsivas e atrativas).

Diagrama I

Diagrama II

Para menor temperatura é mesma volume temos menor pressão.

Figura 21b: Resposta do aluno CAC para a questão 5 do pós-teste

- No pré-teste o aluno DB não traçou as isotermas correspondentes aos três sistemas gasosos; no pós-teste, nos dois diagramas, a isoterma do gás real está acima da isoterma do gás com interações repulsivas e a isoterma do gás ideal está mais próxima dos eixos do diagrama; no diagrama da temperatura mais baixa apresentou uma inflexão na isoterma do gás com interações repulsivas, indicando que para este gás a pressão cresce até um dado valor e então passa a decrescer. A análise dos testes mostra que o aluno apresentou compreensão parcial do nível de representação simbólica dos sistemas gasosos.

- No pré-teste o aluno MC traçou apenas uma isoterma, sem especificar o tipo de gás a que ela corresponde. No pós-teste, nos dois diagramas, construiu a isoterma do gás real acima da isoterma do gás com interações repulsivas e a isoterma do gás ideal próxima dos eixos. O aluno mostra compreensão parcial do comportamento dos sistemas gasosos no nível de representação simbólica.

- No pré-teste o aluno JJM traçou apenas uma isoterma, sem especificar o tipo de gás a que ela corresponde. No pós-teste, nos dois diagramas traçou a isoterma do gás ideal próxima dos eixos e a isoterma do gás com interações repulsivas mais distantes dos eixos, ficando entre elas a isoterma do gás real. Corretamente mostrou que a pressão assume valores menores no diagrama dois. A resposta dada ao pós-teste mostra a compreensão total do comportamento dos sistemas gasosos no nível de representação simbólica.

- No pré-teste o aluno DM não traçou as isotermas correspondentes aos três sistemas gasosos; no pós-teste traçou em cada diagrama as isotermas sem identificar os sistemas gasosos, representando-as com uma curva de transição de fase abaixo da temperatura crítica. O aluno mostrou compreensão parcial do comportamento dos gases no nível de representação

simbólica. As figuras 22a e 22b mostram a evolução da compreensão do aluno no nível de representação simbólica.

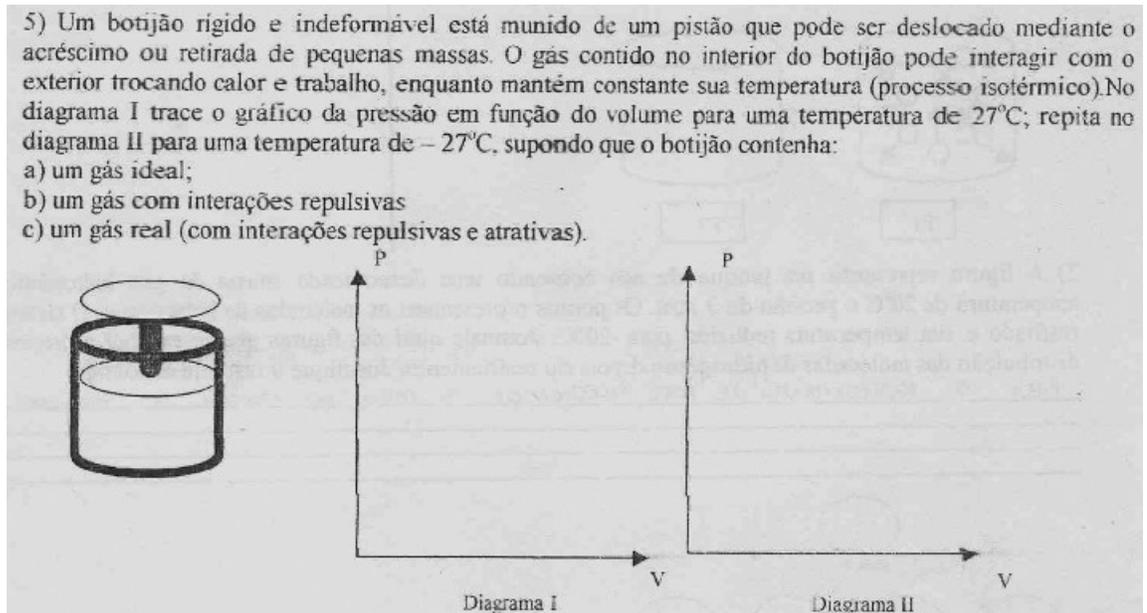


Figura 22a: Resposta do aluno DM para questão 5 do pré-teste

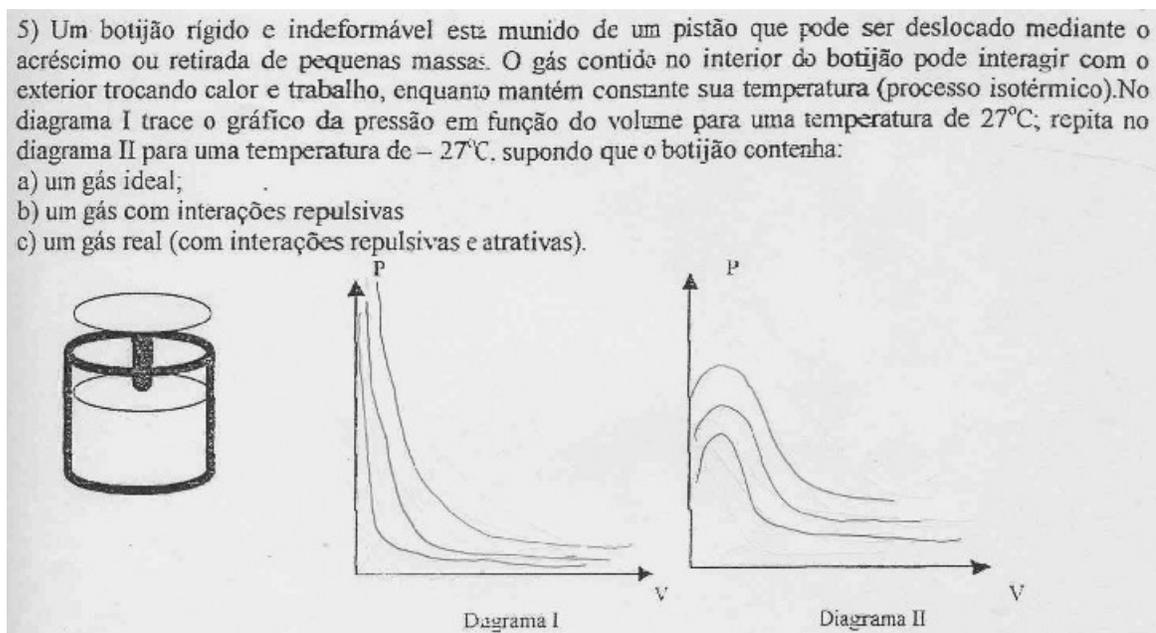


Figura 22b: Resposta do aluno DM para a questão 5 do pós-teste

- No pré-teste o aluno MeLo não traçou as isotermas correspondentes aos três sistemas gasosos: no pós-teste traçou em cada diagrama as isotermas, mas colocou a isoterma do gás com interações repulsivas entre o gás real e o gás ideal. O aluno apresenta compreensão parcial do comportamento dos sistemas gasosos no nível de representação simbólica. As figuras 23a e 23b mostram a evolução da compreensão do aluno no nível de representação simbólico.

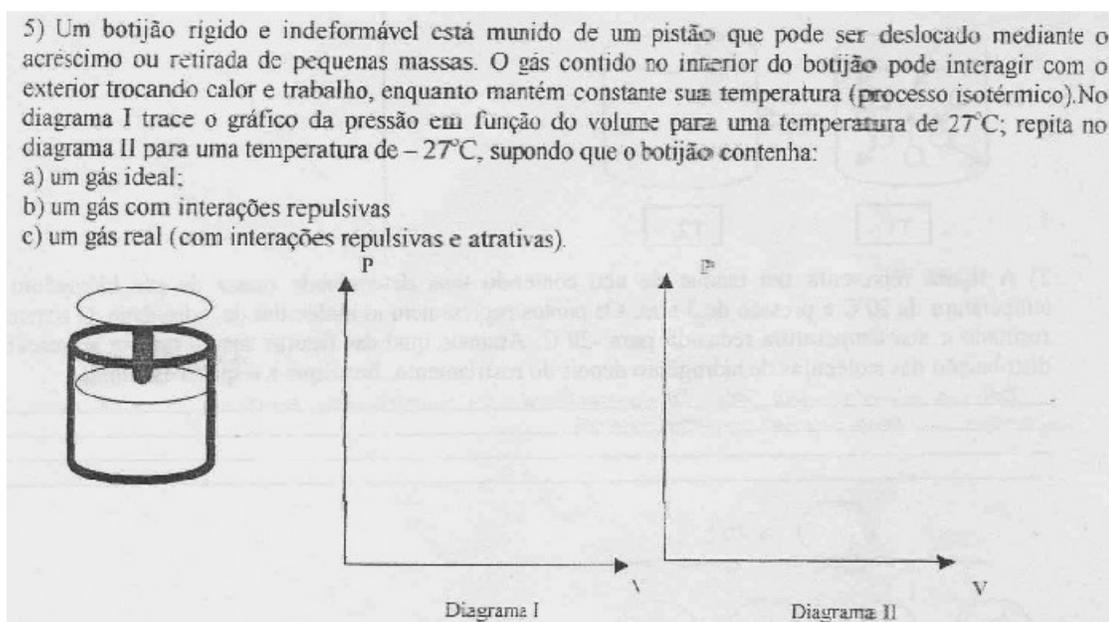


Figura 23a. Resposta do aluno MeLo para a questão 5 do pré-teste

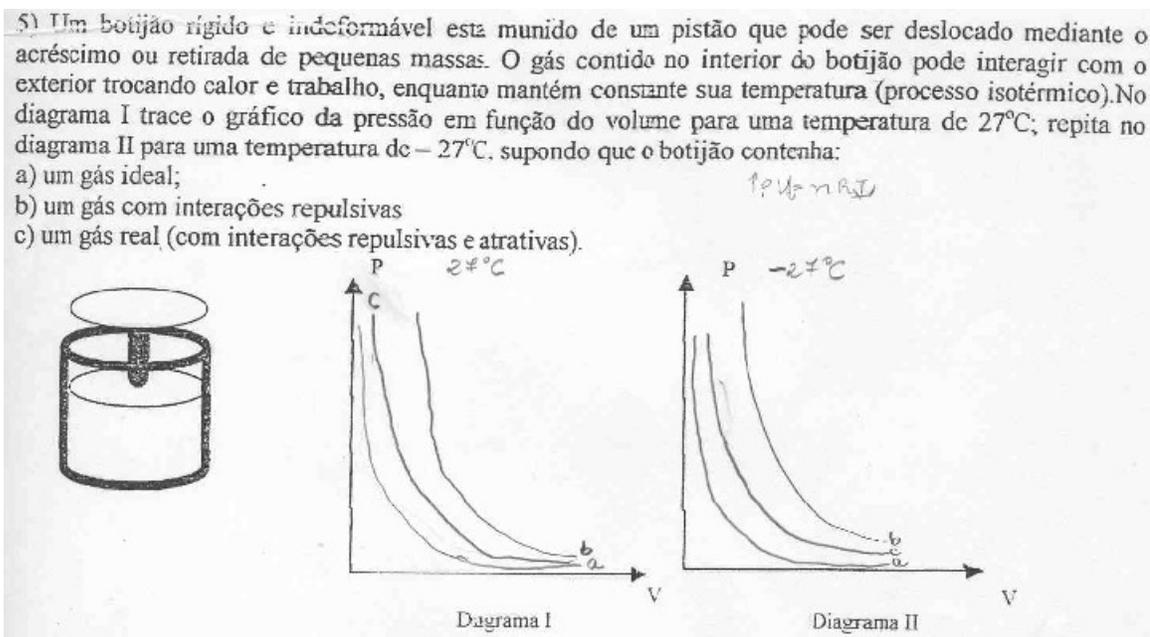


Figura 23b: Resposta do aluno MeLo para a questão 5 do pós-teste

- No pré-teste o aluno LT respondeu não sei; no pós-teste para o diagrama I traçou as isotermas sem identificar o gás e para o diagrama II traçou as isotermas com curvas de transição de fase, sem identificar os gases. O aluno apresenta compreensão parcial do comportamento dos gases no nível de representação simbólica.

- No pré-teste o aluno NAFC respondeu “não sei”; no pós-teste, apenas no diagrama I traçou uma isoterma, sem identificar o sistema. O aluno apresenta compreensão parcial do comportamento dos gases no nível de representação simbólica.

### 7.5.5 Conceito C6 – Interações e Idealidade – o Volume da Água nas CNTP e o Gás Liquefeito de Petróleo Armazenado nas Condições Ambientais.

Analisando as respostas dadas pelos estudantes às questões associadas a este conceito no pré-teste e no pós-teste, apresentamos alguns exemplos relacionados com a descrição da natureza do gás liquefeito de petróleo:

- No pré-teste o aluno CAC não respondeu se o gás liquefeito de petróleo pode ser considerado gás ideal; no pós-teste afirmou que o mesmo não poder ser considerado gás ideal porque em altas pressões ele se transforma em líquido. A justificativa mostra compreensão total do conceito.

- No pré-teste o aluno EL não respondeu se o gás liquefeito de petróleo pode ser considerado gás ideal; no pós-teste afirmou que o mesmo não pode ser considerado gás ideal, pois apresenta interações atrativas e repulsivas entre suas moléculas e, em determinado valor de pressão e temperatura ocorre a mudança de estado físico, com a passagem da forma gasosa para a forma líquida. A justificativa mostra compreensão parcial do conceito.

- No pré-teste o aluno MC afirmou que o gás liquefeito de petróleo pode ser considerado gás ideal porque o sistema toma a forma e o volume do recipiente. As moléculas têm movimento desordenado. A pressão sobre as paredes do recipiente é a mesma em todas as direções. Representou graficamente o comportamento cinético molecular através de partículas orientadas em diferentes direções. No pós-teste respondeu que o gás liquefeito de petróleo não pode ser considerado gás ideal porque apresenta maior interação de atração entre suas moléculas. A justificativa mostra a evolução do perfil conceitual do aluno porque no pré-teste ele descreveu as propriedades gerais dos gases ideais e no pós-teste centralizou a idéia de atração forte. Isso possibilita identificar a compreensão parcial do conceito.

- No pré-teste o aluno TR não respondeu se o gás liquefeito de petróleo pode ser considerado gás ideal; no pós-teste respondeu que o gás liquefeito de petróleo não pode ser considerado gás ideal porque em determinada pressão ele se liquefaz.

- No pré-teste o aluno CC respondeu sim – “pois as moléculas dentro do botijão não são atrativas nem repulsivas”; no pré-teste respondeu não, “pois existem interações atrativas e repulsivas”. Observa-se aqui uma evolução incompleta do perfil conceitual.

- No pré-teste o aluno LT não respondeu a esta questão; no pós-teste respondeu não, “pois as moléculas apresentam interações repulsivas e atrativas”. Aqui também há uma evolução do perfil conceitual, ainda incompleta, com incorreções.

- No pré-teste o aluno LB respondeu sim, explicando “acredito que seja pelas suas propriedades e comportamento”. No pós-teste respondeu não, “pois as moléculas têm forças de atração e repulsão, citando como exemplo o fato de ‘o gás escapa facilmente por causa da movimentação das moléculas e a pressão’”. Aqui se observa a evolução do perfil conceitual, porém ainda incompleta.

- No pré-teste o aluno MeLo não respondeu a questão; no pós-teste respondeu sim, “por poder ser armazenado no estado liquefeito”.

-No pré-teste o aluno ALV afirmou que o GLP “não pode ser considerado um gás ideal porque apresenta interações entre as moléculas.” Representou o comportamento traçando partículas deslocando-se aleatoriamente. No pós-teste explicou “que o estudante está correto, embora a afirmativa não esteja completa. Havendo uma mistura de gases, haverá diferentes interações entre as moléculas, o que confere ao GLP as características de gás real. No entanto, se o butano ou o propano estivessem puros, também não seriam ideais”.

Abaixo são apresentadas as respostas dadas por alguns alunos para a questão associada ao volume molar da água nas CNTP, verificando-se que os mesmos apresentaram dificuldade de compreensão do conceito:

- No pré-teste o aluno CC indicou o volume de 100 mL; no pós-teste respondeu “não sei, pois não tenho o volume da mistura”.

- No pré-teste e no pós-teste utilizou a equação de estado dos gases ideais, encontrando os valores  $V = 2,238 \text{ L}$  e  $V = 22,386 \text{ L}$ .

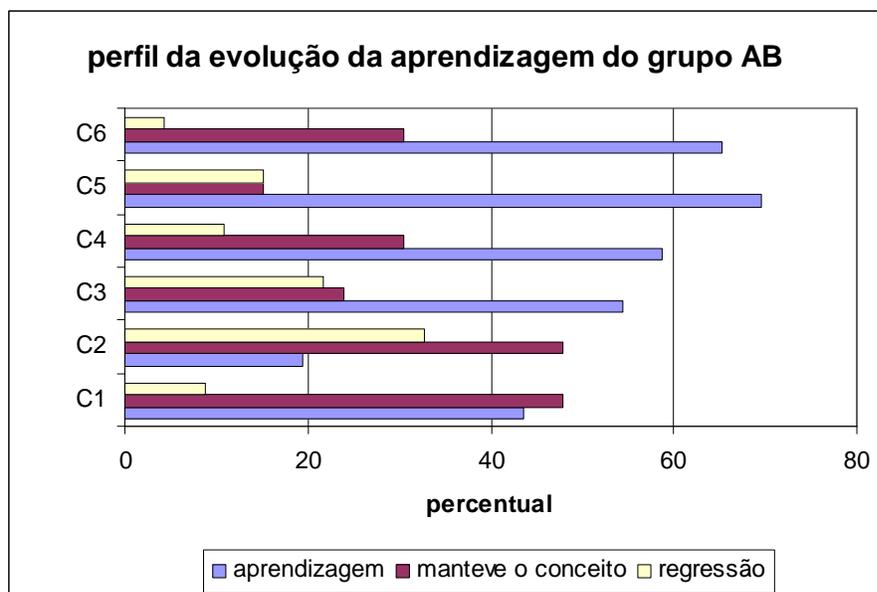
-No pré-teste o aluno NAFC respondeu  $V = 1 \text{ mL}$ ; no pós-teste respondeu “deve ser igual a quantidade de um mol de água”.

## **7.6 PERFIL DA EVOLUÇÃO DA APRENDIZAGEM NOS GRUPOS A E B.**

A partir das respostas dadas no pré-teste e no pós-teste pelos alunos dos grupos A e B a cada conceito, foi elaborada a tabela 13, considerando-se que houve aprendizagem quando a resposta dada mostrou evolução, modificando sua resposta de não respondeu ou de concepção errônea para compreensão parcial ou compreensão total; que não houve alteração do conceito, quando o aluno manteve a resposta e se ocorreu regressão, isto é, quando o estudante modificou sua resposta de compreensão total ou compreensão parcial para concepção errônea ou não respondeu. Observando a tabela indicada pode-se inferir que ocorreu aprendizagem ocorreu nos conceitos C3, C4, C5 e C6, os quais apresentam percentuais superiores a 54 %. A regressão foi evidente nos conceitos C2 e C3, com percentuais entre 20 e 33 %. Nos conceitos C1 e C2 observa-se que a maioria dos estudantes manteve a resposta dada nos dois instrumentos.

Tabela 13

Perfil da evolução da aprendizagem nos grupos A e B



Os resultados mostram que o uso da modelagem e simulação computacional possibilitou, para parte da amostra, a compreensão dos conceitos especialmente os conceitos C3 – Interações intermoleculares e comportamento macroscópico, C4 – Efeito da pressão no volume: diferenças entre gás ideal e gás real e C5 – Construção de isotermas de gases. O uso da metodologia baseada na estratégia prever – observar - explicar combinada com a modelagem e simulação computacional aparenta contribuir para que ocorra evolução conceitual e aprendizagem significativa do comportamento dos sistemas gasosos e identificação de algumas características que diferenciam gases ideais de gases reais, relacionando os diferentes níveis de representação dos gases.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal investigar se o uso de ferramentas de modelagem e de simulação computacional aplicadas ao ensino de Física e Química, auxiliam o estudante na aprendizagem e compreensão de conceitos associados ao modelo de gás ideal e sua comparação com o comportamento dos gases reais. Também tentamos analisar se essas ferramentas contribuíram para a articulação entre os níveis de representação dos fenômenos físico-químicos, o simbólico, o macroscópico e o microscópico (GABEL, 1993).

Os resultados apresentam evidências de que o uso das ferramentas de modelagem e simulação nos procedimentos de ensino possibilita a aprendizagem dos modelos de gás ideal e de gás real. A análise dos dados indica uma diferença significativa na compreensão dos conceitos após a realização das atividades de modelagem e simulação computacional. É possível que os resultados dependam da combinação da estratégia P.O.E. com o guia de estudos elaborado.

Também verificamos que a metodologia P.O.E. (utilizada na elaboração do guia) possibilita explorar as concepções dos estudantes e elaborar o perfil conceitual dos mesmos. Constatamos que esta metodologia foi bem aceita pelos estudantes. O guia foi um instrumento importante na análise dos dados.

Inicialmente fizemos uma análise qualitativa com a finalidade de classificar para cada um dos seis conceitos estudados, as respostas dos alunos de acordo com o nível de compreensão adequado. Através de metodologia estatística verificamos a fidedignidade da hipótese da evolução conceitual, com resultados que mostraram estatisticamente que houve diferença significativa de alguns conceitos entre o pré-teste e o pós-teste, na direção de um aumento da população de categorias conceituais superiores, acompanhados da correspondente diminuição na população de categorias mais baixas. Isso pode indicar que uma estratégia de ensino que faça uso da modelagem e da simulação computacional adaptada a uma metodologia coerente, favorece a compreensão e o aprendizado de determinados conceitos, principalmente nos níveis de representação simbólico e macroscópico.

O estudo apresenta fortes evidências de que o desempenho dos indivíduos aos quais foram aplicadas as ferramentas de modelagem e simulação e o guia de estudos com atividades de predição, observação e explicação, pode ser considerado satisfatório quando comparado com os resultados obtidos pelo grupo ao qual não foi aplicada a estratégia.

Além do objetivo geral proposto, chegamos a algumas considerações interessantes através deste trabalho.

A primeira é referente à aprendizagem significativa dos conceitos. Os resultados da atividade demonstram, parcialmente, que as atividades através da modelagem e da simulação computacional além de auxiliarem os estudantes na construção dos conceitos, podem servir como excelentes recursos pedagógicos na aprendizagem dos fenômenos físicos, por exemplo, os processos termodinâmicos que ocorrem com os gases.

A segunda é referente à correlação dos conceitos. A análise estatística verificou que os conceitos C3 – Interações intermoleculares e comportamento macroscópico; C4 – Efeito da pressão no volume e vice-versa – diferenças entre o gás ideal e o gás real e C5 – Traçado de isotermas de diferentes gases apresentou diferenças significativas comparando-se as respostas dadas antes e depois da aplicação da metodologia adotada como estratégia de ensino. Os conceitos C1 – Efeito da temperatura na pressão do sistema gasoso e C2 – Efeito da temperatura na distribuição das posições das moléculas de um gás não apresentaram diferenças significativas na comparação dos resultados dos testes aplicados. O conceito C6 – Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais, apresentou diferenças significativas na comparação entre os testes antes e depois da aplicação da metodologia, mas não foram observadas diferenças significativas neste conceito na questão sobre o volume molar da água nas condições normais de temperatura e pressão. Um dado que possivelmente possa ter influência nos resultados apresentados no pré-teste está relacionado com a formação de nível médio dos estudantes, os quais, na maioria das situações, pela pequena carga horária semanal de física e de química dificilmente têm oportunidade de estudarem os gases.

A terceira se refere ao papel das concepções alternativas na compreensão conceitual. A análise qualitativa nos faz concluir que a mudança conceitual entendida no sentido de trocar uma concepção alternativa (por exemplo, a idéia da expansão e da contração térmica de um sólido ou líquido) por uma concepção científica (a idéia de que um gás ocupa todo o espaço disponível) não existe, como aponta Mortimer (2001). Porém, após o uso da estratégia constatou-se que é possível encontrar estudantes em diferentes perfis conceituais. Assim, a modelagem e a simulação auxiliaram os estudantes na compreensão de alguns conceitos, mesmo quando eles apresentam concepções difíceis de serem abandonadas ou que dificultam

a aprendizagem de conceitos, como foi o caso da distribuição das partículas que constituem o gás antes e depois do resfriamento quando foi investigado o conceito 2 – Efeito da temperatura na distribuição das posições das moléculas de um gás. Podemos concluir que, quando são utilizados métodos e técnicas adequadas de ensino, o estudante constrói seu conhecimento independentemente de apresentar ou não concepções alternativas, ou ainda conviver com ambas as concepções.

Encontramos uma dificuldade de aprendizagem no conceito 6 – Interações e idealidade: o volume molar da água nas CNTP e o gás liquefeito de petróleo armazenado nas condições ambientais. Verificamos que persiste a idéia de que o volume molar ocupado nas CNTP independente da substância estar na fase sólida, líquida ou gasosa.

A quarta consideração se refere ao interesse dos estudantes por este tipo de atividade. Os resultados demonstram que quando a modelagem e a simulação computacional são utilizadas como atividades bem estruturadas, ancoradas em uma metodologia adequada, além de propiciar a construção do conhecimento, torna-se uma ferramenta atraente para o estudante. A motivação é uma condição essencial para a aprendizagem significativa.

## **PERSPECTIVAS FUTURAS**

Este trabalho deixa algumas questões em aberto que podem ajudar a estabelecer conclusões mais abrangentes em estudos futuros.

Em relação à metodologia P.O.E. utilizada neste trabalho podemos propor o seguinte questionamento:

- Seria possível utilizar a metodologia P.O.E. em aulas experimentais em laboratório, complementadas pela modelagem e simulação computacional?

Em relação ao uso de ferramentas computacionais (modelagem, simulação) e diferentes estratégias de ensino poderia ser investigado:

- Qual (is) seria(m) a(s) melhora(s) metodologias para auxiliar os estudantes a trabalharem com as diferentes concepções?

Por último, conforme também comentamos neste trabalho, através das conclusões obtidas jamais pensamos que atividades computacionais poderiam substituir atividades do laboratório experimental real. Estes, sem dúvida, têm um papel importante

no processo de aprendizagem. Pelo contrário, no início do trabalho já tínhamos a idéia de pesquisar os resultados que poderiam trazer estas duas poderosas ferramentas de ensino, numa combinação com estratégias adequadas, no ensino de física e química.

Devido ao tempo restrito que tínhamos, decidimos trabalhar apenas com a modelagem e a simulação computacional no estudo dos gases ideais e dos gases reais. Não foi possível elaborarmos a fundamentação teórica mais aprofundada do comportamento dos sistemas gasosos, identificando as concepções dos estudantes e relacionando com as dificuldades históricas de formulação das idéias pela dificuldade de percepção nos diferentes níveis de representação dos gases. Porém, após termos chegado a bons resultados, com certeza a idéia possa a ser ainda mais atrativa e, quem sabe, fornecer idéias para futuros trabalhos de doutorado.

Outra possibilidade seria inicialmente desenvolver os fundamentos teóricos que descrevem o comportamento dos gases ideais e dos gases reais. Dada a base teórica poder-se-ia então demonstrar as relações entre os níveis de representação dos gases efetuando as atividades computacionais com o Modellus, que possibilita a construção e interpretação dos gráficos que relacionam as grandezas que descrevem o comportamento dos gases reais e comparar com o modelo proposto para os gases ideais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDALORO, G.; DONZELLI, V.; SPERANDEO-MINEO, R.M. Modelling in physics teaching: the role of computer simulation. **International Journal of Science Education**. Vol. 13(3), pp. 243-254, 1991.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**. Porto Alegre. Editora Bookman, 2001.

AXT, Rolando. Conceitos intuitivos em questões objetivas aplicadas no concurso vestibular unificado da UFRGS. **Ciência e Cultura**. Vol.38, março 1986.

AUSUBEL, D.P. **Psicologia Educativa: um ponto de vista cognoscitivo**. México. Editorial Trillas, 1976.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK; J.D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educativa: um ponto de vista cognoscitivo**. 2ª edição. México, Editorial Trillas, 1983. Citado em: Moreira, Marco Antônio. **Aprendizaje significativo: teoria y práctica**. Madrid: Visor Dis. S.A. 2000.

BACHELARD, Gaston. **The philosophy of no**. New York: The Orion Press (Translated from la philosophie du non (1940) by G.C. Waterston), 1968. Citado em: MORTIMER, E.F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2000.

BALEN, Osvaldo; NETZ, Paulo Augusto; SERRANO, Agostinho A.N. Modelagem e Simulação Computacional: uma aplicação ao ensino de Física e Química. **Ata CD. In: XV Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Código: CO-6-032. Curitiba, março de 2003.

BARNEA, N.; DORI, Y.J. Computerized molecular modeling as a tool to improve chemistry teaching. **Journal of chemical information and Computer Science**, vol 36, pp. 629-636, 1996.

BERNOULLI, Daniel. Biografia disponível no endereço eletrônico:  
<<http://plus.maths.org/issue1/bern/http://plus.maths.org/issue1/bern/>> Acesso em 10 nov. 2003.

BOYLE, Robert. Biografia disponível no endereço eletrônico:  
<<http://www-gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Boyle.html>> Acesso em 10 nov. 2003.

BRANSFORD, J.D; BROWN, A.L.; COCKING, R.R. **How people Learn: Brain, Mind, Experience and School**. National Academy Press, 2000. Citado em ESQUEMBRE, Francisco. Computers in Physics Education. **Computer physics communications**. Vol. 147, pp. 13-18, 2002.

BRUSH, S.G. **The Kind of Motion We Call Heat: A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century**. New York: North Holland.1976, Citado em NIAZ, Mansoor, A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks. **International Science**. Vol 28, pp.23-50, 2000.

CAMILETTI, Giuseppe; FERRACIOLLI, Laércio. A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Vol.18(2), pp.214-228, agosto 2001.

CAMILETTI, Giuseppe; FERRACIOLLI, LAÉRCIO. A utilização da modelagem computacional semiquantitativa no estudo do sistema massa-mola. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol.24 (2), pp.110-123. junho 2002.

CAMPBELL, Donald Thomas; STANLEY, Julian C. **Delineamentos experimentais e quase experimentais de pesquisa**. São Paulo: EPU, EdUSP, 1979.

CHAMPAGNE, A.B.; KLOPFER, L.E.; ANDERSON, J. **Factors influencing the learning of classical mechanics**. University of Pittsburgh, 1979.

COSGROVE, M.; OSBORNE, R. A teaching sequence on electric current. In R. Osborne and P.Freyberg (eds), **Learning in science: The implications of children's science** (Auckland:Heinemann). Citado em: TREAGUST, D. F.; HARRISON, A. G.; VENNVILLE, G. J. Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. **International Journal of Science Education**. Vol 18(2), pp. 213-229, 1996.

CROOK, C. **Computers and the collaborative**. Experiences of learning (London: Routledge), 1994. Citado em: TAO, P.K., GUNSTONE, R.F. Conceptual Change in science through collaborative learning at the computer. **International Journal of Science Education**, v. 21(1), pp. 39-57, 1999a.

DRIVER, Rosalind. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. **Enseñanza de las ciencias**. Vol. 4(1), pp. 3-15, 1986.

DUIT, R. The constructivist view in science education- What it has to offer and what should not be expected from it. **Investigações em Ensino de Ciências**. Vol. 1(1), pp. 40-75, 1996. Disponível no endereço eletrônico: <[www.if.ufrgs.br/ienci](http://www.if.ufrgs.br/ienci)>.

EICHLER, M.; DEL PINO, J. C. Computadores em Educação Química: Estrutura Atômica e Tabela Periódica. **Química Nova**. Vol 23(6), 2000.

EINSTEIN, A. INFELD, L. **A Evolução da Física [The evolution of Physics, 1938]** Rio de Janeiro, Zahar, 1962.

ESQUEMBRE, Francisco. Computers in Physics Education. **Computer physics communications**. Vol. 147, pp. 13-18, 2002.

FERRENTINI, Fabio. **Modelagem Computacional na Educação**. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.nce.ufrj.br/ginape/publicacoes/trabalhos/modelagemmaterial/modpag.e.htm>>, acesso em 10 jan. 2004.

FEYMANN, RICHARD P. **Física em Seis Lições**. Tradução Ivo Korytowski. Rio de Janeiro. Ediouro, 1999.

GABEL, D.; Use of the particule nature of matter in developing conceptual understanding. **Journal of Chemical Education**, 70(3),1993.

GABEL, D.L., SAMUEL, K.V., HUNN, D. Understanding the particulate nature of matter. **Journal of Chemical Education**. No.64, pp.695-697. 1987. Citado em WU, H.K.; KRAJCIK, J.S.; SOLOWAY, E. Promoting Understanding of Chemical Representations: Student's Use of a Visualization Tool in the Classroom. **Journal of Research in Science Teaching**. V. 38. n.7, pp. 821-842, 2001.

GONÇALVES, Dalton. **Física**. Rio de Janeiro. Ao Livro Técnico S.A. 1969. 5ª edição.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Vol. 15(2), pp.107-120; agosto 1998.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio. Physical and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. **Science Education [SCE]**. L.40, august,2001.

GUAYDIER, Pierre. **História da Física**. Lisboa, Edições 70, 1983.

GUNSTONE, R.F.; WHITE, R.T. Understanding of gravity. **Science Education**. 65(3), pp.291-299. 1981.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentals of Physics**. New York, John Wiley & Sons, 4<sup>th</sup>. Edition, 1993.

HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. Conceptual change using multiple interpretive perspectives: Two case studies in secondary school chemistry. **Instructional Science**. Vol. 29, pp. 45-85, 2001.

HESTENES, D; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force Concept Inventory. **The Physics Teacher**. Vol.30. pp.141-153, march 1992.

HEWSON, P. A conceptual change approach to learning science. **European journal of science education**. Vol 3(4), pp. 383-396, 1981.

HEWSON, P.W.; THORLEY, N. R. The conditions of conceptual change in the classroom. **International Journal of Science Education**. Vol 11, pp. 541-553, 1989.

- JIMOYIANNIS, A.; KOMIS, V. Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on student's understanding of trajectory motion. **Computers & Education**. Vol. 36, pp. 183-204, 2001.
- JONG, Ton; JOOLINGEN, W.R. Scientific Discovery Learning with computer Simulations of Conceptual Domains. **Review of Educational Research**. Vol. 68(2), pp. 179-201, 1998.
- JONG, Ton; MARTIN E; ZAMARRO, J-M; ESQUEMBRE, Francisco; SWAAK, Janine; JOOLINGEN, W.R. The integration of computer simulation and learning support: an example from the physics domain of collisions. **Journal of Research in Science Teaching**. Vol.36(5), pp.597-615, 1999.
- JOHNSTONE, A.H. The Development of chemistry teaching. **Journal of Chemical Education**, vol.70 pp.701-705. 1993. Citado em Wu, Hsin-Kai., Krajcik, Joseph S., Soloway, Elliot. Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. **Journal of Research Science Teaching**. Vol.38, No.7, pp.821-842. 2001.
- KEARNEY, Matthew, UTS. **A new tool for creating Predict-Observe-Explain tasks supported by multimedia**. Disponível no endereço eletrônico: <http://www.ed-dev.edu.au/personal>; acesso em 15 nov. de 2003.
- KOZMA, R. B.; RUSSEL, J. Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**. Vol 34(9), pp. 949-968, 1997.
- KOZMA, R.B.; RUSSELL, J.; JONES, T.; MARX, N.; DAVIS, J. The use of multiple, linked representations to facilitate science understanding. In S. Vosniadou, E. De Corte, R. Glaser & H. Mandl (Eds.), 1996. **International perspectives on the design of technology supported learning environments**, pp. 41-61. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- KHUN, T.S. **The Structure of Scientific Revolution**. Chicago, The University of Chicago Press, 1970.
- LÉVY, Pierre. As tecnologias da Inteligência. Coleção Trans. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993.
- LIN, Huann-Shyang; CHEN, Hsin-Ju; LAWRENZ, Frances. The assessment of students and teachers' understanding of gas laws. **Journal of Chemical Education**. Vol.77, n.2. pp.235-238, february, 2000.
- LUCIE, Pierre. **Física Básica:Física Térmica**. Rio de Janeiro: Campus, 1980.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.
- MAOR, Dorit. A teacher professional development program using a constructivist multimedia learning environment. **Learning environments research**. (2),pp.307-330,2000.

McCLOSKEY, M. **Naive theories of motion**. In D. Gentner and A.L. Stevens (eds), *Mental Models* (Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ), 1983. Citado em: ANDALORO, G.; DONZELLI, V.; SPERANDEO-MINEO, R.M. Modelling in physics teaching: the role of computer simulation. **International Journal of Science Education**, V. 13 n.3, pp. 243-254, 1991.

MEDEIROS, A., MEDEIROS, C.F. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V.24, n.2, pp.77-86, junho 2002.

MINGUET, Pilar Aznar (org.). **A construção do conhecimento na educação**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

MOREIRA, Marco Antônio; Masini Elcie F.Salzano. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, Marco Antônio. **Ensino e Aprendizagem** – Enfoques teóricos. São Paulo, Moraes, 1985.

MOREIRA, Marco Antônio. Modelos Mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre:V.1, n.3. dez. 1996. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária LTDA, 1999.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizaje significativo: teoría y práctica**. Madrid: Visor Dis, S.A., 2000.

MOREIRA, Marco Antônio; GRECA, Ileana.Maria. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. In Press: **Jornal de Ciências & Ensino**. São Paulo: UNICAMP, 2003.

MORETTO, Vasco Pedro. **Construtivismo: a produção do conhecimento em aula**. 3.ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2002.

MORGON, H.N. Computação em Química Teórica. **Química Nova na Escola**. V.24, n.5. pp.676-682, 2001.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Concepções Atomistas dos Estudantes. **Química Nova na Escola**. N.1, maio 1995.

MORTIMER, Eduardo Fleury; MIRANDA, L.C. Transformações: Concepções de estudantes sobre reações químicas. **Química Nova na Escola**. N.2, Nov. 1995. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.foco.lcc.ufmg.br/ensino/qnesc/qnesc-02.html>>

MORTIMER, Eduardo Fleury. Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: Para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, V.1, n.1, 1996. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.if.ufrgs.br/ienci.>>.

MORTIMER, Eduardo Fleury. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2000.

NETZ, Paulo Augusto; ORTEGA, George Gonzáles. **Fundamentos de Físico-Química: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

NEWTON, Isaac. **Principios Matemáticos de la Filosofía Natural**. Vol(2) Libro II y Libro III. Madrid: Alianza Editorial, 1987.

NIAZ, Mansoor., ROBINSON, W.R. Teaching algorithmic problem solving or conceptual understanding: Role of development level, mental capacity, and cognitive style. **Journal of Science Education and Technological Education**. Vol.10, pp.53-64. 1993. Citado em NIAZ, Mansoor. A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks. Kluwer Academic Publishers. **Instructional Science**. V.28. pp.23-50, 2000.

NIAZ, Mansoor. A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks. Kluwer Academic Publishers. **Instructional Science**. V.28. pp.23-50, 2000.

LES PRIX NOBEL/NOBEL LECTURES. Physics 1901-1921, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1967.

NOVICK, S.; NUSSBAUM, J. Junior High School Pupil's Understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview Study. **Science education**. Vol. 62, N.3, pp. 273-281, 1978.

NUSSENZVEIG, H. MOYSÉS. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. São Paulo: V.2, Edgar Blücher, 1996, 3ª. Edição.

OLIVEIRA, R. **Informática Educativa: dos planos e discursos à sala de aula**. Campinas, Papirus, 1997. Citado em: EICHLER, M.; DEL PINO, J. C. Computadores em Educação Química: Estrutura Atômica e Tabela Periódica. **Química Nova**. V. 23, N.6, 2000.

PERIN FILHO, Clovis. **Introdução à simulação de sistemas**. Campinas: Editora da Unicamp, 1995.

PIETROCOLA, Maurício. org. **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa visão integradora**. Florianópolis: Ed.da UFSC, 2002.

PORLÁN, Rafael. **Constructivismo y escuela**. Sevilla: Díada Editora S.L., 1998. 5ª edição.

POSNER, G. J.; STRIKE, K.A.; HEWSON, P.W.; GERTZOG, W.A. Accommodation of a scientific conception: Toward a Theory of Conceptual Change. **Science Education**. Vol. 66(2), pp. 211-227, 1982.

POZO, Juan Ignacio. **Teorias cognitivas da aprendizagem**. 3ª.ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

POZO, Juan. Ignácio. La Adquisición de Conocimiento Científico como un Proceso de Cambio Representacional. **Investigações em Ensino de Ciências**. V. 7, N.3, 2002. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.

POZO, Juan Ignácio. **Aprendizes e Mestres: a nova cultura da aprendizagem**. Porto Alegre: Artmed. 2002.

REIS, Mary A. F.; SERRANO, Agostinho A. N.; SAAVEDRA, N. C. F. O uso de simulações computacionais no Ensino de Colisões. **Acta CD. In: XV Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Código: CO-6-032. Curitiba, março de 2003.

RIBEIRO, A.A.; GRECA, Ileana Maria. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em Educação Química: uma revisão da literatura publicada. **Química Nova**. V. 26, N.4, pp. 542-549, 2003.

ROSA, Paulo Ricardo Da Silva. O uso de computadores no ensino de física. Parte I: potencialidades e uso real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol.17, n.2, pp. 182-195. 1995.

SANDHOLTZ, Judith Haymore; RINGSTAFF, Cathy; DWYER, David C. **Ensinando com Tecnologia: Criando salas de aula centradas nos alunos**. Porto Alegre: Artmed, 1997.

SANTOS FILHO, J. C.; GAMBOA, S. S. **Pesquisa Educacional: quantidade-qualidade**. 5ª edição, São Paulo: Cortez Editora, 2002.

SANTOS, G; OTERO, M.R; FANARO, M.A. ¿Como usar software de simulación em clases de física? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. V.17, n.1. pp.50-66, abril de 2000.

SERRANO, Agostinho; NETZ, Paulo Augusto. Um Modelo Microscópico Alternativo para o Ensino de Gases Ideais: Partículas Imateriais. **Acta Scientiae**. V.4. n.2. Jul/Dez.2002.

STRIKE, K. A. & POSNER, G. J. **A revisionist theory of conceptual change**. En R. Duschl & R. Hamilton (Eds.) *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany, NY, SUNY Press. Pg. 147-176, 1992. Citado em: MOREIRA, Marco Antônio; GRECA, Ileana Maria. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. In Press: **Jornal de Ciências & Ensino**. São Paulo: UNICAMP, 2003.

TAO, P.K., GUNSTONE, R.F. Conceptual Change in science through collaborative learning at the computer. **International Journal of Science Education**. V. 21, n.1, pp. 39-57, 1999a.

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, pp. 859-882, 1999b.

TEODORO, Vitor Duarte; DUQUE, João Paulo; CLÉRIGO, Filipe Costa. Modellus – Interactive Modelling with Mathematics. Versão 2.5,2002. Disponível em: <http://phoenix.sce.fct.uni.pt/modellus>.

TREAGUST, D. F.; HARRISON, A. G.; VENNVILLE, G. J. Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. **International Journal of Science Education**. V.18, n.2, pp. 213-229, 1996.

TRINDADE, J.A., FIOLHAIS, C. Aplicação da realidade virtual para visualizar conceitos da mecânica quântica. **II Workshop Brasileiro de Realidade Virtual** – Faculdade de Informática. SP. 1999.

VEIT, Eliane.A.; TEODORO, Vitor Duarte.. Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V.24, n.2, pp.87-96, junho 2002.

VIEIRA, Sérgio Lima. **Contribuições e Limitações da Informática para a Educação Química**. Campinas, 1997. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Estadual de Campinas e Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Brasil, 1997.

VIENNOT, L. Spontaneous Reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**. V.1, n.2, pp. 205-221, 1979.

VOSNIADOU, Stella. Capturando e modelando os processos de mudança conceitual. **Learning and Instruction**. V.4, pp.45-69, 1994. Disponível no endereço eletrônico: <[http://www.geocities.com/modelos\\_mentais/svosniado.htm](http://www.geocities.com/modelos_mentais/svosniado.htm)>.

WHITE, R. T.; GUNSTONE, R. F. Probing **understanding**. London: Falmer, 1992. Citado em: 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, pp. 859-882, 1999.

WILLIAMSON, V.M.; ABRAHAM, M.R. The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. **Journal of Research in Science Teaching**. V.32, pp. 521-534, 1995. Citado em: RIBEIRO, A. A.; GRECA, Ileana. Maria. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em Educação Química: uma revisão da literatura publicada. **Química Nova**. V. 26, n.4, pp. 542-549, 2003.

WU, H.K.; KRAJCIK, J.S.; SOLOWAY, E. Promoting Understanding of Chemical Representations: Student's Use of a Visualization Tool in the Classroom. **Journal of Research in Science Teaching**. V. 38. n.7, pp. 821-842, 2001.

YAMAMOTO, I.; BARBETA, V.B. Simulações de Experiências como ferramenta de demonstração virtual em aulas de teoria de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V.23, n.2, 2001.

ZAMARRO, J.M., MARTIN, E., ESQUEMBRE, F., HÄRTEL, H. Unidades Didáticas em Física Utilizando Simulaciones Interactivas Controladas desde Ficheros HTML. In. IV Congresso RIBIE, 1998. Brasília. Disponível em: <<http://www.niee.ufrgs.br/ribiee98/trabalhos/100PDF>>. Acesso em 30/09/2002.

## **ANEXO I**

### **GUIA DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

## **TUTORIAL DO SOFTWARE MODELLUS**

<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus>

O Programa MODELLUS foi construído para permitir que você possa criar simulações em diversas áreas do conhecimento. No nosso caso, ele será utilizado para o estudo do comportamento dos gases reais e ideais. O MODELLUS, no nosso caso, parte de um modelo matemático no qual você irá definir seus parâmetros e suas variáveis, dando a você a possibilidade de visualizar o comportamento deste modelo matemático, bem como manipular os seus parâmetros.

Você pode conhecer as ferramentas deste programa por manipulação livre, procurando entender e utilizar suas diferentes possibilidades de utilização. Entretanto, para agilizar nosso trabalho elaboramos alguns passos que devem ser seguidos para o aprendizado da utilização do software. Sugerimos que mais tarde você faça uma exploração livre das possibilidades do programa, essa é uma ótima maneira de explorar suas possibilidades e limitações.

### **Aprendendo a utilizar o Programa:**

#### **Primeiro experimento: Transformações Isométricas em Gases Ideais.**

- 1- Vamos imaginar certa quantidade de um gás contida num recipiente lacrado. Se a quantidade de gás presente for constante e se o volume for mantido constante, a pressão dependerá apenas da temperatura do sistema. Uma transformação na qual o volume permanece constante é

chamada de uma transformação isométrica. Vamos simular então uma transformação isométrica para um gás ideal.

- 2- Acesse o programa MODELLUS, no *desktop* ou na *barra do Windows*. Você visualizará a página inicial do Programa.
- 3- Esta página inicial consiste de quatro janelas: **Modelo**, **Controlo**, **Condições Iniciais** e **Notas**. Cada uma destas janelas e outras iremos discutir à medida que desenvolvermos esta atividade inicial.
- 4- Inicialmente, iremos estudar gases ideais. Estes gases são regidos pela equação de estado:

$$PV = nRT$$

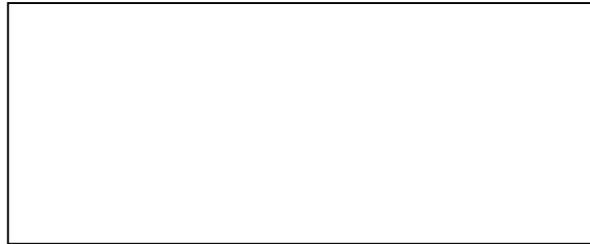
- 5- Vamos agora simular esta equação. Como existem várias variáveis, devemos escolher uma destas variáveis para ser expressa em função das outras. Por exemplo, que tal simular a pressão em função das outras (volume e temperatura), para um gás de  $n=0.7$  moles?
- 6- TAREFA 1 Quais parâmetros poderão variar e quais serão constantes neste caso? Complete a tabela abaixo.

P (Pressão)	
T (Temperatura)	
n (Número de Moles)	CONSTANTE
V (Volume)	

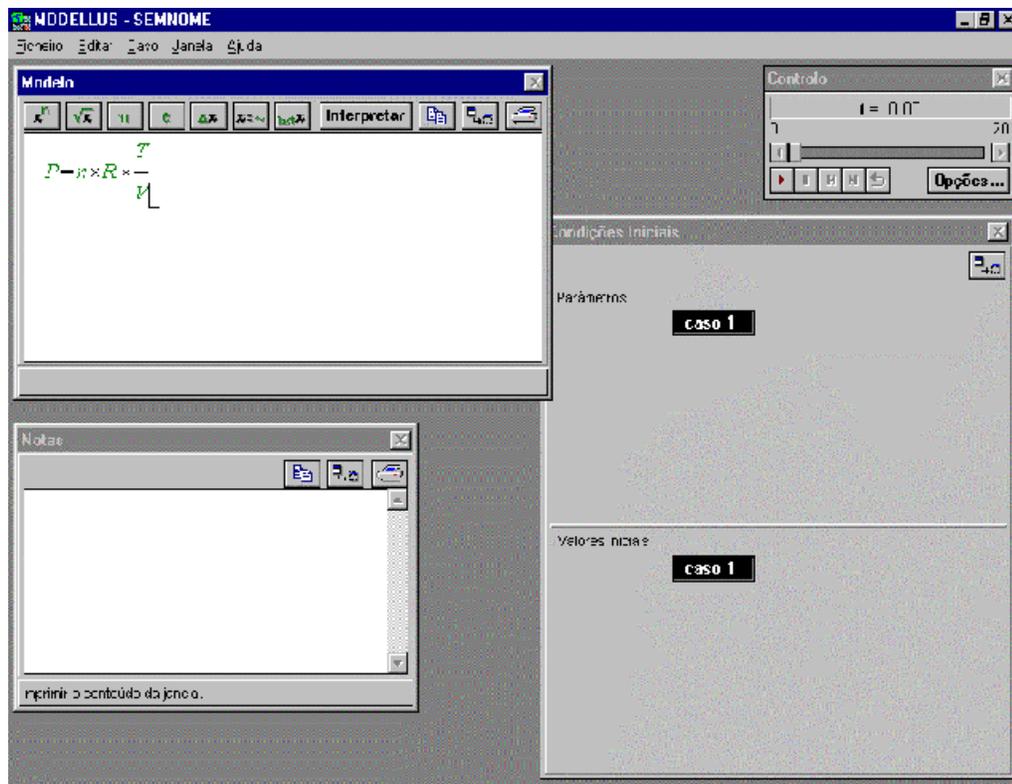
- 7- TAREFA 2: Expresse a pressão, na equação de estado, em função das outras variáveis ou constantes. Escreva esta expressão abaixo e na janela de Modelo do programa. Lembre-

se de digitar cuidando quais letras são maiúsculas e quais deverão ser minúsculas. O sinal de multiplicação deve ser digitado pela tecla asterisco (\*) ou pela barra de espaço.

Expressão:

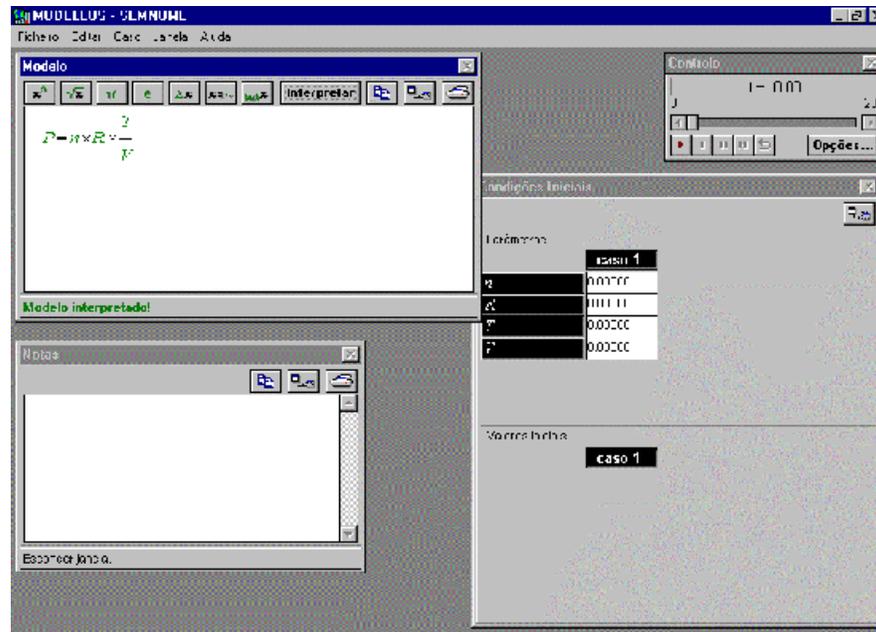


8- Você deverá estar vendo uma cópia fiel da tela abaixo.



- 9- Nessa expressão, a pressão  $P$  depende do número de moles  $n$ , da constante universal dos gases  $R$ , da temperatura  $T$  e do volume  $V$ .

TAREFA 3: Na janela de Modelo do programa, clique em interpretar. Você obterá algo como a janela abaixo.

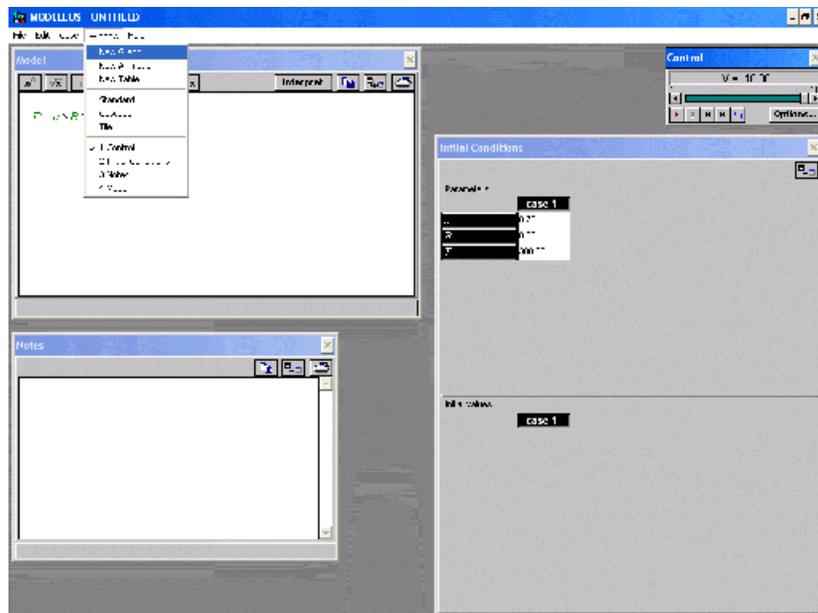


Antes de começar com a simulação propriamente dita, alguns ajustes são necessários: na janela de controle, está indicada a variável tempo  $t$  como variável independente. Na verdade, o que queremos é analisar a pressão em função da temperatura. Devemos, portanto, indicar na janela de controle que a variável independente é a temperatura.

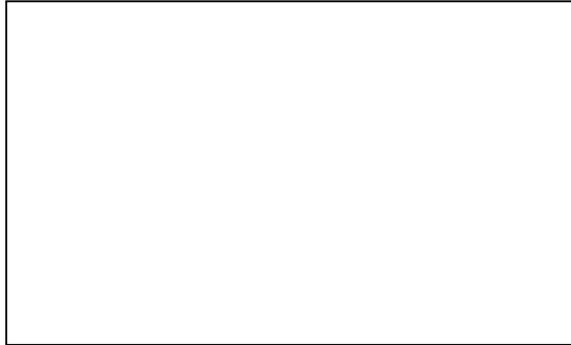
- 10-** TAREFA 4: Clique no botão de opções da janela de controle. Isto fará abrir uma nova janela. Substitua  $t$  por T na opção de variável independente desta nova janela, como indicado ao lado. Para limites, vamos simular para uma temperatura variando entre o mínimo de 300 (na escala Kelvin, ou seja, 27°C) e o máximo de 400 (127°C). Para finalizar, clique em OK.

- 11-** Agora o programa “sabe” que a pressão deve ser calculada em função da temperatura e pede, na janela das condições iniciais, os valores de número de moles, constante dos gases e temperatura. Vamos simular uma amostra de um gás ideal contendo  $n = 0.7$  (moles), em um volume de 20 (litros). Não esqueça que o valor de  $R$  é  $0.082$  ( $\text{atm L K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ).
- 12-** TAREFA 5: Na janela de condições iniciais digite os valores acima.
- 13-** Só falta então uma coisa: Para que você “enxergue” a simulação, você precisa definir o que o programa irá desenhar graficamente.

TAREFA 6 Para isso, clique na opção JANELA (na barra superior, menu principal) e escolha um NOVO GRÁFICO.



- 14-** Antes de efetivar a simulação, desenhe o gráfico que você espera que apareça.



- 15-** TAREFA 7 - Finalmente, vamos apertar no PLAY. Nada aconteceu? Clique em AJUSTE (na janela do gráfico) e clique novamente em PLAY. Você deverá observar o gráfico de  $P \times T$  sendo simulado. Você pode aumentar ou diminuir a janela do gráfico para observá-lo melhor.

- 16-** A simulação está muito lenta? Tente mudar o valor do **PASSO** na janela **CONTROLE**. Desenhe abaixo o gráfico que você obteve Desenhe o gráfico que foi simulado:



- 17-** Agora iremos criar alguns “casos” diferentes. Vamos simular então algumas transformações isométricas para um gás ideal comparando diferentes temperaturas em diferentes “casos”.

- 18-** TAREFA 8 - Clique em CASO e então em ADICIONAR. Você verá surgir uma nova coluna na tabela de CONDIÇÕES INICIAIS escrita CASO 2. Estes valores, inicialmente, são idênticos ao caso anterior. Vamos modificar, então, o volume deste novo caso para 30 L.
- 19-** Antes de simular, na janela GRÁFICO, aparecem, acima, dois pequenos botões referentes aos casos, um preto e outro verde. TAREFA 9 - Clique no botão verde, pois o preto já está selecionado. Clique novamente em PLAY. Desenhe abaixo as curvas que você obteve:



### **Comparando Transformações Isotérmicas em Gases Ideais.**

- 1-** Vamos analisar agora uma simulação de transformações isotérmicas de um mol de gás ideal a 27 °C. TAREFA 1 - Exprese a pressão, na equação de estado, em função das outras variáveis ou constantes. Escreva esta expressão na janela Modelo do programa. Clique no botão de opções da janela de controle e substitua a variável  $t$  por  $V$ . Escolha como

limites 0 e 20 litros e confirme a escolha. Clique em interpretar, na janela do Modelo. Dê entrada nos valores de  $n$ ,  $R$  e  $T$  na janela das condições iniciais, se necessário ajustando o número de casas decimais na janela controle.

- 2- PERGUNTA 1 - Que tipo de gráfico se esperaria, ao desenhar uma transformação isotérmica em um gás ideal num diagrama Pressão versus Volume?



- 3- TAREFA 2 - Abra uma janela gráfica e simule o comportamento do modelo num gráfico  $P \times V$  (pressão como eixo vertical, volume como eixo horizontal), fazendo os ajustes necessários. O que você obteve? Tente mudar o limite inferior de variação do volume para 1 litro (ficando assim os limites em 1 e 20). Clicar novamente em PLAY. O gráfico ficou mais nítido? Por quê?
- 4- O traçado da curva segue dos volumes menores para os volumes maiores, com conseqüente decréscimo gradativo da pressão. Esta situação corresponde a uma expansão. Caso queiramos simular uma compressão, devemos iniciar com um volume elevado e diminuí-lo gradativamente.

TAREFA 3 - Tente fazer com que o traçado da curva seja feito ao contrário do que foi feito acima, isto é, que seja dos maiores volumes para os menores volumes. ...Você conseguiu?

- 5- Uma possibilidade de criar este traçado da compressão é *substituir a variável volume  $V$  (maiúsculo!) por uma variável intermediária  $v$  (minúsculo!), que mede diferença entre o volume do sistema e o volume máximo que ele pode ocupar, neste caso fixamos este limite em 20 litros, ou seja:*

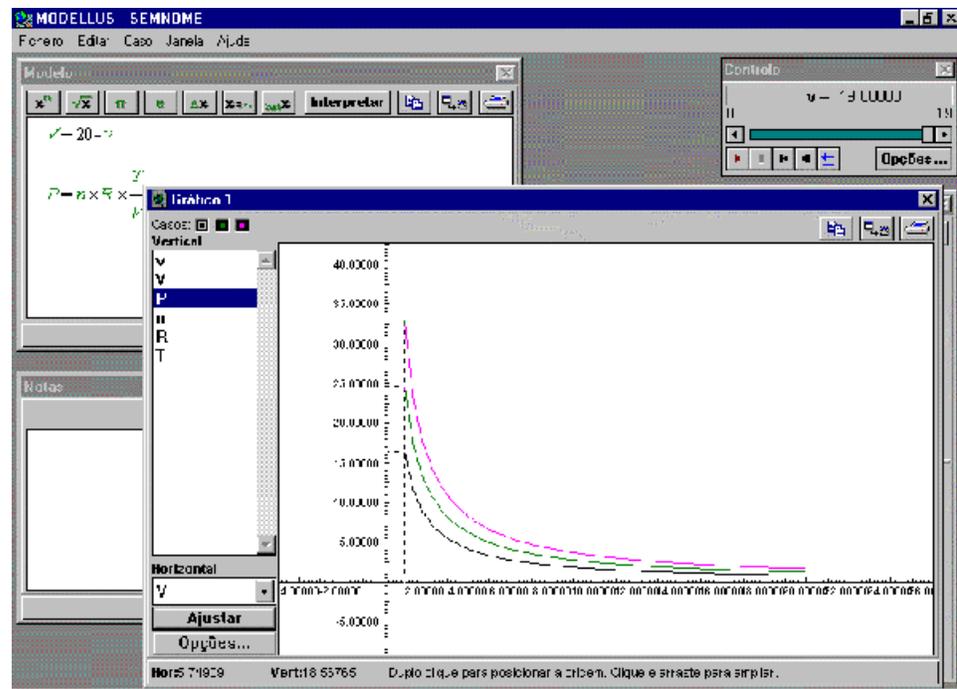
$$v = V_{\max} - V = 20 - V \quad \Leftrightarrow \quad V = 20 - v$$

Os limites de  $v$  devem ser tais que  $V$  esteja entre 1 e 20 litros, como acima, ou seja:

$$1 < V < 20 \quad \Rightarrow \quad 0 < v < 19$$

- 6- TAREFA 4 - Escreva a definição da nova variável, na forma  $V = 20 - v$ , acima da equação dos gases ideais, na janela do modelo. Escolha  $v$  como variável independente na janela de controle e defina os limites como discutido acima. Clique em interpretar e em PLAY. O que você observa de diferente neste gráfico?
- 7- Agora iremos criar alguns “casos” diferentes. Vamos simular transformações isotérmicas para um gás ideal comparando diferentes temperaturas em diferentes “casos”. TAREFA 5 - Clique em CASO e então em ADICIONAR e repita novamente. Você verá surgir duas novas colunas na tabela de CONDIÇÕES INICIAIS. Modifique a temperatura dos 3 casos para  $T = 200$  K,  $T = 300$  K e  $T = 400$  K.

- 8- Antes de simular, na janela GRÁFICO, aparecem, acima, três pequenos botões referentes aos casos, um preto, outro verde e outro cor de rosa. Ative todos os botões. Clique novamente em PLAY. Desenhe abaixo as curvas que você obteve. Explique por que a pressão da curva rosa é sempre maior do que as das outras curvas.
- 9- Você terá obtido curvas com a aparência como abaixo. Salve a simulação com um nome de sua escolha.



- 10- DESAFIO: Você consegue fazer com que duas curvas “se cruzem”? Tente com temperaturas muito próximas. Você poderá ter que utilizar o ZOOM, clicando e arrastando o mouse dentro da janela de gráfico.

### **Introduzindo desvios em relação à idealidade**

- 1- Quando representamos transformações isobáricas num gás ideal num diagrama  $V \times T$ , podemos ver (desenhe ou olhe os resultados das simulações anteriores!) que, à medida que a temperatura diminui o volume também decresce, a ponto de vir a se tornar igual a zero na temperatura do zero absoluto. Será que isto é razoável quando comparado com o comportamento de um gás, na realidade?
- 2- Certamente não, porque o volume de um gás não pode desaparecer. No lugar disto, ao esfriar a amostra, pelo menos o volume "próprio" das moléculas, ou seja, o seu volume de mútua exclusão deverá permanecer. Vamos chamar este volume "próprio", para um mol de moléculas, de *covolume* e representá-lo pela letra  $b$ . Assim, o volume "livre", ou seja, aquele disponível à movimentação das moléculas, é igual ao volume total menos este covolume, ou seja, para  $n$  moles de um gás:

$$V_{\text{livre}} = V - nb$$

Podemos re-escrever a equação dos gases ideais, substituindo o volume pelo volume livre. Obteremos uma nova equação, a chamada *equação do covolume*, expressa por:

$$P_{\text{cov}} = \frac{nRT}{(V - nb)}$$

- 3- TAREFA 1. Digite a equação acima na janela de modelo, substituindo a equação dos gases ideais, no exemplo anterior.

Cuide para que a equação esteja de fato bem escrita, usando parênteses se necessário. Clique em interpretar. Escolha apenas 2 casos (remova o último), escolhendo ambos com  $T = 300$  K. Para o primeiro caso, escolha  $b = 0$ . Isto corresponde exatamente ao gás ideal, como você pode verificar. Escolha  $b = 0.5$  para o segundo caso. Antes de clicar em PLAY, tente prever a forma das duas curvas. Clique em PLAY e observe o resultado.

previsto	observado

- 4- Há muitas diferenças entre as duas curvas? Estas diferenças são sempre iguais, em qualquer volume, ou são maiores numa determinada faixa. Por quê? TAREFA 2 - Examine as diferenças entre as duas curvas usando zoom (com o mouse) em torno de um volume 2 litros e em torno de um volume 18 litros. Comente as diferenças.

---



---



---

- 5- A equação do covolume introduz apenas as interações repulsivas. Para que possamos descrever o comportamento real dos gases, é necessário que possamos considerar também as *interações atrativas*. Estas interações podem ser

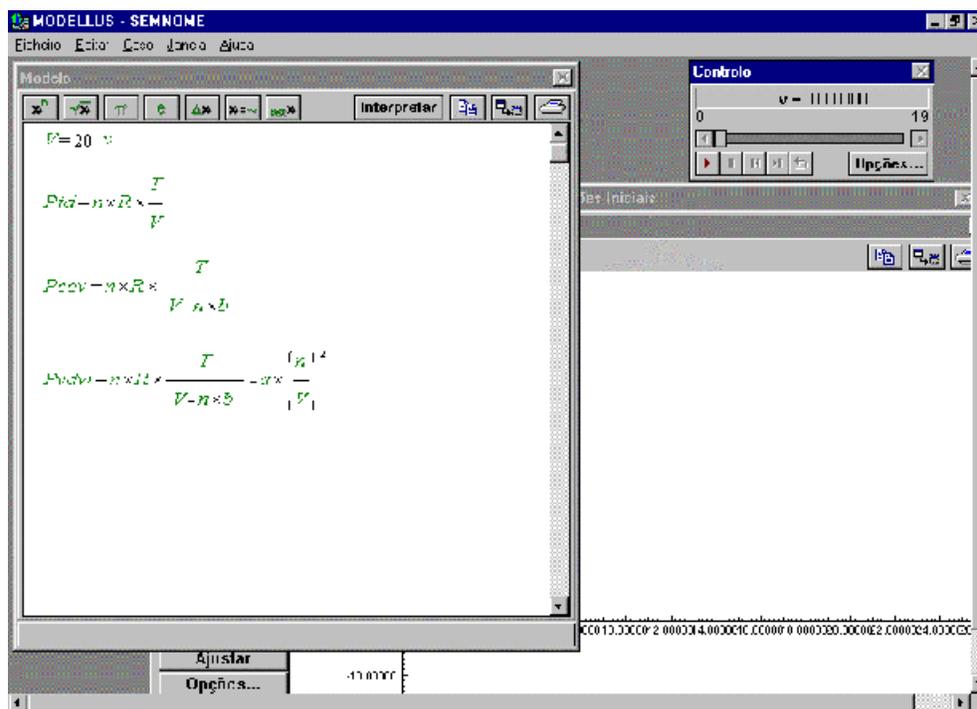
expressas através da equação de van der Waals, onde o parâmetro  $a$  mede a intensidade das interações atrativas.

$$\left[ P + a \left( \frac{n}{V} \right)^2 \right] (V - nb) = nRT$$

Esta equação é frequentemente escrita na forma:

$$P = \frac{nRT}{(V - nb)} - a \left( \frac{n}{V} \right)^2$$

- 6- TAREFA 3: Compare a pressão obtida pela equação dos gases ideais ( $P_{id}$ ), pela equação do covolume ( $P_{cov}$ ) e pela equação de van der Waals ( $P_{vdw}$ ). Digite todas as equações na janela de modelo e clique em interpretar. A janela terá o seguinte aspecto:



- 7- TAREFA 4 - Fique apenas com um caso, com  $T = 300\text{K}$  e escolha  $a = 5.000$  e  $b = 0.500$ . O que você espera do resultado? Escolha, na janela de gráfico, todas as pressões como eixo vertical (com o *mouse*, segurando a tecla *control*). Aperte em *PLAY* e confira. Você vê três curvas. Qual curva corresponde aos gases ideais, qual ao covolume e qual a van der Waals? Por quê? Examine as diferenças em torno do volume de 2 litros e 18 litros.
- 8- TAREFA 5 - Analise o comportamento do sistema a  $T = 400\text{K}$ . O que você concluiu? Analise agora a temperaturas mais baixas: 200K, 100K, 50K, 40K, 30 K. O que você observa?

---

---

---

---

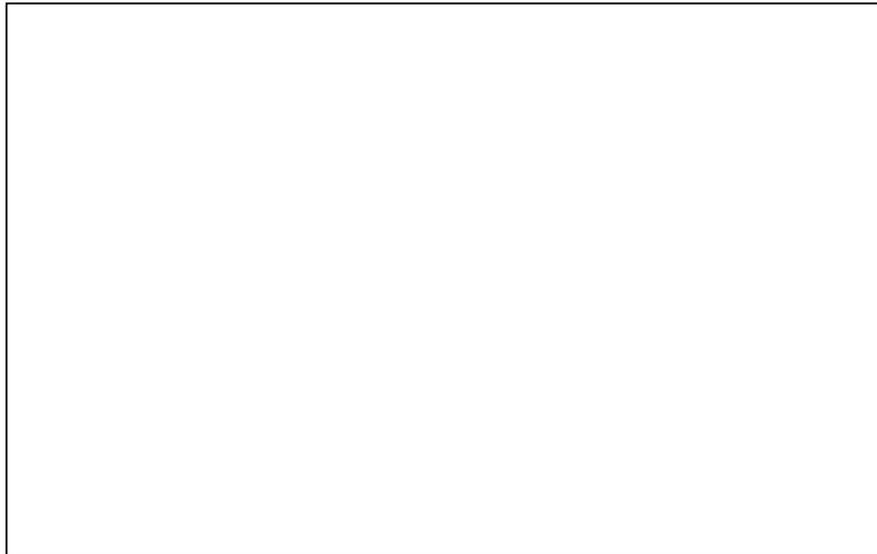
---

- 9- Podemos constatar que a equação de van der Waals apresenta um comportamento muito interessante. Para comparar diferentes casos, o melhor é escolher um modo no qual cada caso represente um modelo, como fizemos no covolume. Por exemplo, o caso 1 pode representar um gás ideal, o caso 2, um gás da equação do covolume e o caso 3, um gás de van der Waals. Assim, podemos ficar apenas com a representação gráfica da equação de van der Waals.

- 10-** TAREFA 6 - Defina 2 novos casos e coloque os seguintes parâmetros nas janelas das condições iniciais:

	caso 1	caso 2	caso 3
$n$	1.00	1.00	1.00
$R$	0.082	0.082	0.082
$T$	200.0	200.0	200.0
$b$	0.000	0.500	0.500
$a$	0.000	0.000	5.000

- 11-** TAREFA 7 - Preveja o resultado desta simulação, desenhando o gráfico que você espera abaixo.



- 12-** TAREFA 8 - Aperte em PLAY e veja o resultado. Repita para as temperaturas de 100K e 30K. O que você conclui?

---

---

- 13-** Vamos analisar detidamente as baixas temperaturas. Você pode reparar que a curva referente à pressão calculada com o modelo de van der Waals apresenta um comportamento peculiar do tipo: sobe-desce-sobe que chamamos de um *loop*. Por quê você acha que ocorre este comportamento?
- 14-** DESAFIO - Tente ver em que condições de temperatura as curvas do gás de van der Waals apresentam este loop.

## **ANEXO II**

### **TESTES APLICADOS**

**01 – QUESTIONÁRIO DO PERFIL DE CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDANTES**

**02 – PRÉ -TESTE A**

**03 – PÓS -TESTE A**

**04 – PRÉ -TESTE B**

**05 – PÓS -TESTE B**

**06 – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DOS INSTRUMENTOS**

**07 – PRÉ-TESTE A-1**

**08 – PÓS-TESTE B-1**

**Projeto de pesquisa**  
**“A modelagem matemática e a simulação computacional no ensino de ciências”.**  
**“Ênfase na termodinâmica”**  
**Instrumento de coleta de dados**  
**Perfil de caracterização dos estudantes**

Prezado aluno

Estamos realizando um projeto de pesquisa que tem como meta verificar se o uso de softwares de modelização matemática e simulação computacional auxiliam a aprendizagem dos conceitos da teoria cinética dos gases e das leis da termodinâmica e a compreensão dos modelos de gases. Tua colaboração é importante, pois possibilitará propor melhorias no processo de ensino – aprendizagem. Agradeço antecipadamente tua colaboração.

Prof. Osvaldo Balen

Nome do Aluno (a)	
Disciplina	horário / /

**Faixa etária:**

- 18 a 20 anos  
 20 a 25  
 25 a 30 anos  
 mais de 30 anos.

**Formação do aluno**

**1-Curso freqüentado no ensino médio:**

- 2ºGRAU  
 técnico (indústria)  
 técnico (comércio)  
 técnico (hospitalar)  
 magistério  
 supletivo

**2-Sistema mantenedor do estabelecimento de ensino:**

- rede estadual  
 rede particular  
 rede municipal

**3-Ano da conclusão do curso: \_\_\_\_\_**

**4-Número de horas aula (por série) no ensino médio:**

- a) FÍSICA:  1  2  3  4 ou mais  
b) QUÍMICA  1  2  3  4 ou mais

**5-Curso que está matriculado na UCS:**

- engenharia mecânica  
 engenharia química  
 licenciatura plena em química  
 tecnologia em automatização industrial  
 outro(especificar) \_\_\_\_\_

**Ano de ingresso na UCS \_\_\_\_\_**

**Atuação profissional:****6-Exerce outra atividade além de estudar**

- sim  
 não

**7-Local de trabalho**

- indústria  
 loja  
 farmácia  
 escola  
 outra (especificar) \_\_\_\_\_

**8-Função:** \_\_\_\_\_

**9-Tempo de serviço** \_\_\_\_\_

**Conhecimentos de informática****11-Utiliza normalmente o computador?**

- sempre  
 às vezes  
 nunca

**12-Local de utilização**

- em casa  
 no trabalho  
 universidade  
 outro.Indique: \_\_\_\_\_

**13-Com que frequência utiliza o computador?**

- diariamente  
 2 a três vezes por semana  
 ocasionalmente  
 não utiliza

**14-Quais são os programas que utiliza frequentemente?**

- Word  
 Excel  
 CAD  
 softwares educativos  
 outro-indicar \_\_\_\_\_

**15-Costuma navegar na Internet?**

- sim  
 não

Com que frequência?

diariamente  semanalmente  ocasionalmente  não costumo navegar

Quais os tipos de sites que você prefere acessar?

---

**16-Você vê alguma utilidade no uso do computador para as disciplinas universitárias e para esta disciplina em particular?**

sim

não.

Explique sua escolha\_\_\_\_\_

**17-Você acha que a computação exerce papel importante para a sua atuação profissional e acadêmica?**

Sim

Não.

Explique sua escolha\_\_\_\_\_

**18-Você sabe o que é modelagem?**

sim

não

**19-Você sabe o que é simulação computacional?**

sim

não

**Instrumento de coleta de dados**  
**Projeto de Pesquisa: "Modelagem Matemática e Simulação Computacional no Ensino de Ciências – ênfase Ensino de Química".**  
**Pré – Teste A**

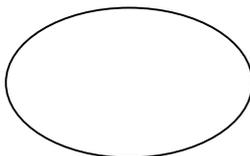
Disciplina:
Nome do aluno
Curso:
data / /

Prezado aluno:

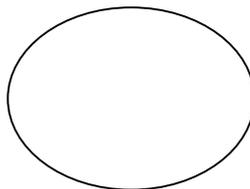
Estamos realizando um projeto de dissertação de mestrado com o objetivo de identificar os modelos explicativos dos sistemas gasosos apresentados pelos estudantes sob o ponto de vista dos processos termodinâmicos macroscópicos e as interações microscópicas. Responda às questões propostas de acordo com tuas idéias e teu conhecimento. Agradeço antecipadamente a tua colaboração.

1. Considere um caminhão contendo botijões de gás liquefeito de petróleo (GLP – uma mistura de butano e propano), usado como fonte de calor em residências e indústrias. O gás liquefeito de petróleo pode ser considerado um gás ideal? ( ) sim ( ) Explica a tua escolha.

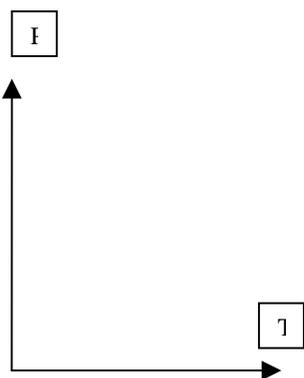
Mostra no diagrama abaixo o comportamento cinético-molecular do gás liquefeito de petróleo dentro do botijão.



2. Quando aumentamos a temperatura do gás mediante aquecimento, a pressão aumenta. De que forma isto pode ser explicado microscopicamente? Desenha no diagrama abaixo, acrescentando a justificativa.



3. Considere um botijão de paredes rígidas e indeformáveis contendo um gás ideal onde o volume não se altera. Ao aquecermos este gás, dobrando a temperatura, o que acontece com a pressão? Explica abaixo e desenha o gráfico da pressão em função da temperatura (gráfico  $P \times T$ ) para esta transformação.

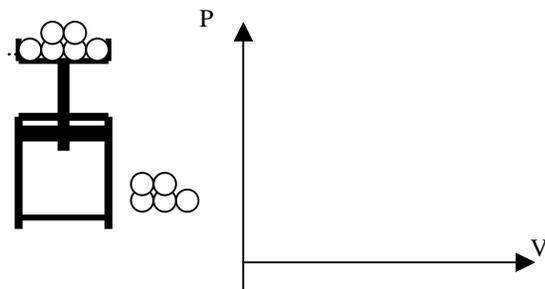


4. Considere dois botijões idênticos ao descrito na questão anterior. Um destes botijões contém um gás ideal; o outro contém um gás cujas moléculas apresentam interações repulsivas fortes. Nas mesmas condições de volume e temperatura, qual destes recipientes apresenta a maior pressão? Explica tua resposta.

5. Considere agora que um destes botijões contém um gás ideal e o outro, um gás cujas moléculas apresentam interações atrativas e repulsivas. Nas mesmas condições de volume e temperatura, qual dos recipientes apresenta a maior pressão? Explica tua resposta.

6. Um botijão rígido e indeformável está munido de um pistão que pode ser deslocado mediante o acréscimo ou retirada de pequenas massas. O sistema gasoso contido no interior do botijão pode interagir com a vizinhança trocando calor, mantendo sua temperatura constante. Faça o gráfico da pressão em função do volume (gráfico  $P \times V$ ), quando a posição do pistão varia, supondo que o botijão contém:

- um gás ideal
- um gás com interações repulsivas
- um gás com interações atrativas e repulsivas.



**Instrumento de coleta de dados**  
**Projeto de Pesquisa: Modelagem Matemática e Simulação Computacional no Ensino de Ciências – ênfase**  
**Ensino de Química**  
**Pós-teste A**

Disciplina:	
Nome do aluno	data / /
Curso:	

Caro aluno (a):

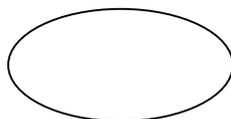
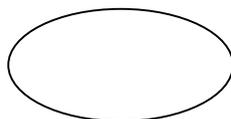
Estamos realizando um projeto de dissertação de mestrado com o objetivo de identificar os modelos explicativos dos sistemas gasosos apresentados pelos estudantes sob o ponto de vista dos processos termodinâmicos macroscópicos e as interações microscópicas. Responda às questões propostas de acordo com tuas idéias e teu conhecimento. Agradeço antecipadamente a tua colaboração.

1) O que significa a sigla CNTP? Estime o volume de um mol de água nas CNTP

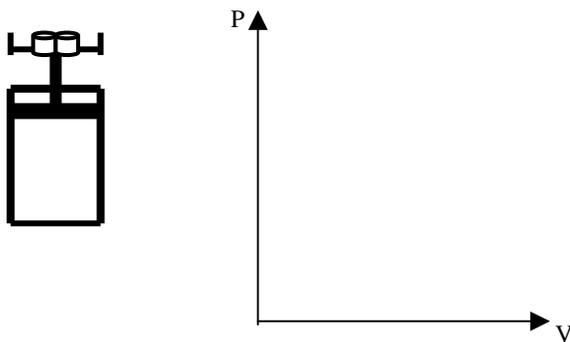
2) Um estudante afirma que o gás liquefeito de petróleo (GLP) não pode ser considerado um gás ideal porque é uma mistura de butano e propano. Ele está correto? Discuta a resposta.

3) Considere dois botijões rígidos e indeformáveis. Um destes botijões contém um gás ideal e o outro contém um gás cujas moléculas apresentam interações repulsivas. Nas mesmas condições de volume e temperatura, qual destes recipientes estará submetido à maior pressão? Explique a resposta.

4) Desenha nos balões abaixo as representações microscópicas do comportamento cinético-molecular de um gás ideal, (I) um gás obedecendo à equação do covolume –(C) (com interações repulsivas fortes) e um gás de Van der Waals (W) (com interações repulsivas e atrativas).



5) Um botijão rígido e indeformável está munido de um pistão móvel no qual pode-se acrescentar ou retirar pequenas massas, causando com isso seu deslocamento. Este gás está cheio de um gás. O botijão pode interagir com as vizinhanças trocando calor, mantendo a temperatura do sistema gasoso constante. Desenhe no diagrama  $P \times V$  as curvas correspondentes ao processo isotérmico de um gás ideal (I), um gás com interações repulsivas (C) e um gás com interações atrativas e repulsivas (W) quando a posição do pistão varia pelo acréscimo ou retirada de massas.



**Projeto de pesquisa**  
**“A modelagem matemática e a simulação computacional no ensino de ciências”.**  
**“Ênfase na termodinâmica”.**  
**Prof. Mestrando Osvaldo Balen**  
**Instrumento de coleta de dados**  
**Pré teste B**

Nome do aluno
Curso
Disciplina

Prezado aluno

Estamos realizando um projeto de pesquisa que tem como objetivo identificar os modelos explicativos dos sistemas gasosos apresentados pelos estudantes sob o ponto de vista dos processos termodinâmicos macroscópicos e as interações microscópicas e verificar se o uso de softwares de modelização matemática e simulação computacional auxiliam a aprendizagem dos conceitos da teoria cinética dos gases e das leis da termodinâmica e a compreensão dos modelos de gases. Responde às questões propostas de acordo com tuas idéias e teu conhecimento. Tua colaboração é importante, pois possibilitará propor melhorias no processo de ensino – aprendizagem. Agradeço antecipadamente tua colaboração.

**Questões propostas**

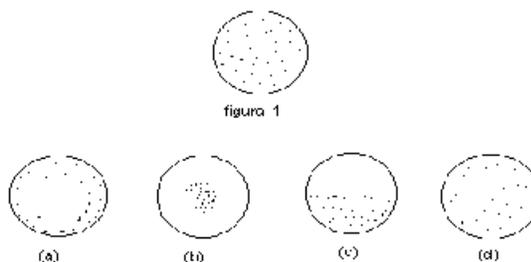
1 - Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado é aquecido observa-se um aumento da pressão?

Qual das alternativas abaixo melhor explica esse comportamento do gás?

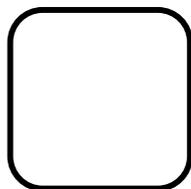
- (a) A pressão é inversamente proporcional à temperatura.
- (b) As moléculas do gás movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas.
- (c) As moléculas do gás se expandem e estas moléculas maiores colidem com maior intensidade nas paredes rígidas.
- (d) As moléculas do gás se expandem e comprimem fortemente as paredes rígidas do recipiente.
- (e) As moléculas do gás se expandem e se movem mais rapidamente. A combinação velocidade maior e moléculas maiores as fazem colidir com mais intensidade nas paredes rígidas do recipiente.

Justifique a escolha feita. (Pode utilizar palavras e/ou fórmulas e/ou desenhos).

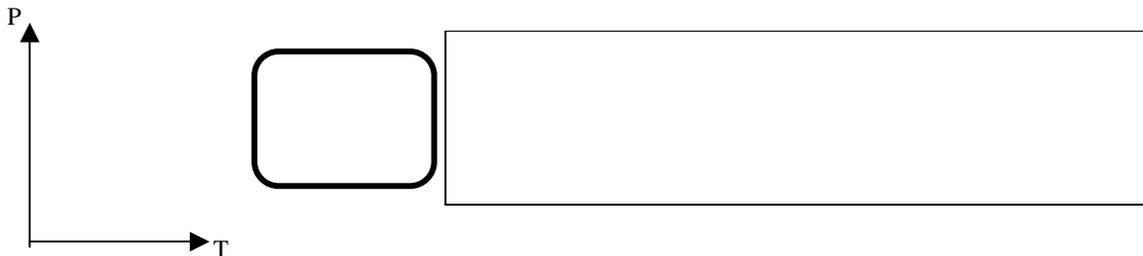
2 - A figura 1 representa um tanque de aço contendo gás de hidrogênio na temperatura de 20°C e pressão de 3 atm. Os pontos representam moléculas de hidrogênio. Indique qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio se a temperatura do sistema for reduzida para -20°C? Justifique a alternativa escolhida.



3 – Considere um depósito contendo botijões de gás liquefeito de petróleo (GLP – uma mistura de butano e propano), usando como fonte de calor em residências e indústrias. O gás liquefeito de petróleo pode ser considerado um gás ideal? ( ) sim ( ) não . Explique a resposta escolhida e desenhe no diagrama abaixo como você acha que é o comportamento cinético molecular do gás liquefeito de petróleo dentro dos botijões armazenados no depósito.



4 – Considere um botijão de paredes rígidas e indeformáveis contendo um gás ideal onde o volume não se altera. Ao aquecermos este gás, dobrando sua temperatura, o que acontece com a pressão? Explique abaixo e desenhe o gráfico da pressão em função da temperatura (gráfico  $P \times T$ ) para esta transformação. Também desenhe no diagrama abaixo como você acha que é o comportamento cinético molecular desse gás ideal num botijão.



5 – Considere dois botijões A e B, semelhantes ao descrito na questão 4. O botijão A contém um gás ideal e o B, um sistema gasoso cujas moléculas apresentam interações repulsivas fortes. Qual é a diferença entre os dois gases? Nas mesmas condições de volume e temperatura, qual dos recipientes apresenta o gás em pressão maior? ( ) botijão A ( ) botijão B ( ) nenhum, a pressão tem o mesmo valor nos dois botijões. Explique a alternativa escolhida.

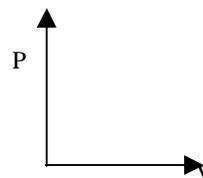
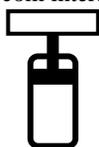


6 – Considere agora que o botijão A contém um gás ideal e o botijão B, um gás cujas moléculas apresentam interações atrativas e repulsivas. Qual é a diferença entre os dois gases? Nas mesmas condições de volume e temperatura, qual dos botijões apresenta o gás em maior pressão? ( ) botijão A ( ) botijão B ( ) nenhum, a pressão tem o mesmo valor nos dois botijões. Explique a alternativa escolhida.



7 – Um botijão rígido e indeformável está munido de um pistão que pode ser deslocado mediante o acréscimo ou retirada de pequenas massas. O gás contido no interior do botijão pode interagir com as vizinhanças trocando calor e mantendo sua temperatura constante. Faça o gráfico da pressão em função do volume (gráfico  $P \times V$ ), supondo que o botijão contenha:

- Um gás ideal
- Um gás com interações repulsivas fortes
- Um gás com interações atrativas e repulsivas.



**Projeto de pesquisa**  
**“A modelagem matemática e a simulação computacional no ensino de ciências”.**  
**“Ênfase na termodinâmica”.**  
**Prof. Mestrando Osvaldo Balen**  
**Instrumento de coleta de dados**  
**Pós-teste B**

Nome do aluno
Curso: ( ) engenharia mecânica ( ) engenharia química ( ) licenciatura plena em química ( ) outro – indique
Disciplina:

**Prezado aluno**

Estamos realizando um projeto de pesquisa que tem como objetivo identificar os modelos explicativos dos sistemas gasosos apresentados pelos estudantes sob o ponto de vista dos processos termodinâmicos macroscópicos e as interações microscópicas e verificar se o uso de softwares de modelização matemática e simulação computacional auxiliam a aprendizagem dos conceitos da teoria cinética dos gases e das leis da termodinâmica e a compreensão dos modelos de gases. Responda às questões propostas de acordo com tuas idéias e teu conhecimento. Tua colaboração é importante, pois possibilitará propor melhorias no processo de ensino – aprendizagem. Agradeço antecipadamente tua colaboração.

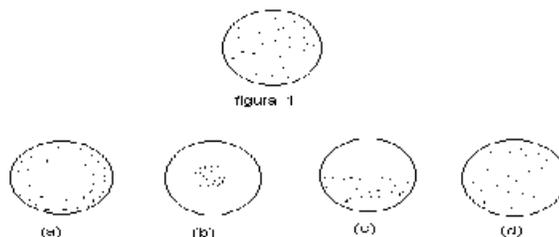
Prof. mestrando Osvaldo Balen

**Questões propostas**

1. Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado é aquecido, observa-se um aumento da pressão. Qual das alternativas abaixo melhor explica esse comportamento do gás?
  - (a) A pressão é inversamente proporcional à temperatura.
  - (b) As moléculas gás movem-se mais rapidamente e colidem nas paredes rígidas.
  - (c) As moléculas do gás se expandem e estas moléculas maiores colidem com maior intensidade nas paredes rígidas.
  - (d) As moléculas do gás se expandem e comprimem fortemente as paredes rígidas do recipiente.
  - (e) As moléculas do gás se expandem e se movem mais rapidamente. A combinação velocidade maior e moléculas maiores as fazem colidir com mais intensidade nas paredes rígidas do recipiente.

Justifique a escolha feita (pode utilizar palavras e/ou fórmulas e/ou desenhos).

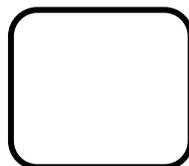
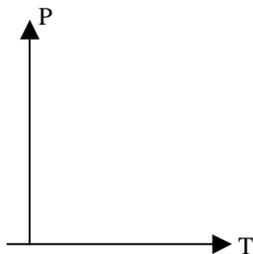
2. A figura 1 representa um tanque de aço contendo gás hidrogênio na temperatura de 20°C e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. Indique qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio se a temperatura do sistema for reduzida para -20°C? Justifique a resposta escolhida.



- 3 – Considere um depósito contendo botijões de gás liquefeito de petróleo (GLP – uma mistura de butano e propano), usando como fonte de calor em residências e indústrias. O gás liquefeito de petróleo pode ser considerado um gás ideal? ( ) sim ( ) não. Explique a resposta escolhida e desenhe no diagrama abaixo como você acha que seja o comportamento cinético molecular do gás liquefeito de petróleo dentro dos botijões armazenados no depósito.



4 – Considere um botijão de paredes rígidas e indeformáveis contendo um gás ideal onde o volume não se altera. Ao aquecermos este gás, dobrando sua temperatura, o que acontece com a pressão? Explique abaixo e desenhe o gráfico da pressão em função da temperatura (gráfico  $P \times T$ ) para esta transformação. Também desenhe no diagrama abaixo como você acha que seja o comportamento cinético molecular desse gás ideal num botijão.



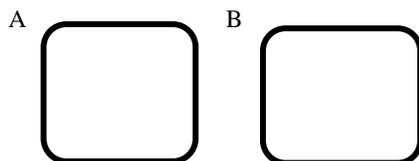
5 – Considere dois botijões A e B, semelhantes ao descrito na questão 4. O botijão A contém um gás ideal e o B, um sistema gasoso cujas moléculas apresentam interações repulsivas fortes. Desenhe nos diagramas como você acha que seja o comportamento cinético molecular de cada um desses gases. Indique qual você acha que seja diferença entre os dois gases? Nas mesmas condições de volume e temperatura, qual dos recipientes apresenta o gás em pressão maior?

( ) botijão A ( ) botijão B ( ) nenhum, a pressão tem o mesmo valor nos dois botijões. Explique a alternativa escolhida.



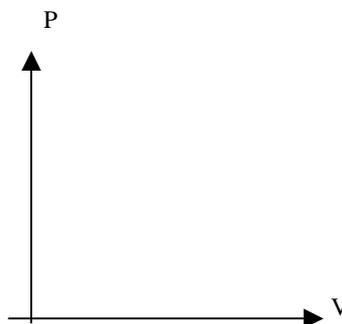
6 – Considere agora que o botijão A contém um gás ideal e o botijão B, um gás cujas moléculas apresentam interações atrativas e repulsivas. Desenhe nos diagramas como você acha que seja o comportamento cinético molecular de cada um desses gases. Indique qual é a diferença que você acha existir entre os dois gases. Nas mesmas condições de volume e temperatura, qual dos botijões apresenta o gás em maior pressão?

( ) botijão A ( ) botijão B ( ) nenhum, a pressão tem o mesmo valor nos dois botijões. Explique a alternativa escolhida.



7 – Um botijão rígido e indeformável está munido de um pistão que pode ser deslocado mediante o acréscimo ou retirada de pequenas massas. O gás contido no interior do botijão pode interagir com as vizinhanças trocando calor e mantendo constante a sua temperatura. Trace o gráfico da pressão em função do volume (gráfico  $P \times V$ ), supondo que o botijão contenha:

- Um gás ideal.
- Um gás com interações repulsivas fortes
- Um gás com interações atrativas e repulsivas;



8 – Nas aulas de Termodinâmica você estudou os estados de agregação da matéria e a descrição dos gases ideais e dos gases reais.

A) Diga como você definiria um gás ideal e identifique quais seriam as características desse sistema gasoso. Dê também um exemplo de um gás ideal.

B) Diga como você definiria um gás real e identifique quais seriam as características desse sistema gasoso. Dê também três exemplos de gases reais.

C) Diga quais seriam as diferenças que existem entre um gás real e um gás ideal.

D) Diga quais seriam as semelhanças existentes entre um gás real e um gás ideal.

## AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE

<b>Nome do aluno</b>
<b>Curso</b>

Responda as questões propostas abaixo, as quais tem o objetivo de avaliar a atividade, buscando otimizar o processo.

Assinale a alternativa que você julga ser a que melhor expresse teu pensamento.

Código das respostas:

**CP: concordo plenamente**

**C: concordo**

**NO: não tenho opinião**

**D: discordo**

**DT: discordo totalmente**

- 1 – Eu gostei do método de ensino.
- 2 – A atividade foi útil para que melhor compreendesse alguns conceitos.
- 3 – O conteúdo trabalhado não despertou meu interesse.
- 4 – Considera que trabalhei bem durante as aulas.
- 5 – Tenho a impressão de que aprendi bastante nesta unidade.
- 6 – As tarefas da atividade computacional foram descritas de modo claro.
- 7 – Eu tenho boas habilidades computacionais.
- 8 – Os conceitos envolvidos foram mais claros no decorrer do trabalho.
- 9 – Eu tive dificuldades na condução das tarefas.

Questão	CP	C	NO	D	DT
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					

**PROJETO DE PESQUISA:  
 “MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DE CIÊNCIAS –  
 ÊNFASE NA TERMODINÂMICA”.**  
**Pré-teste A-1**

Nome do aluno
Disciplina

Curso:

engenharia mecânica

engenharia química

licenciatura plena em química

tecnologia em automatização industrial

outro – indique: \_\_\_\_\_

Prezado aluno

Estamos realizando um projeto de pesquisa que tem como objetivo identificar os modelos explicativos dos sistemas gasosos apresentados pelos estudantes sob o ponto de vista dos processos termodinâmicos macroscópicos e as interações microscópicas e verificar se o uso de softwares de modelagem matemática e simulação computacional auxiliam a aprendizagem dos conceitos da teoria cinética dos gases e das leis da termodinâmica e a compreensão dos modelos de gases. Responda às questões propostas de acordo com as idéias e o conhecimento que você possui. Sua colaboração é importante, pois possibilitará propor melhorias no processo de ensino – aprendizagem. Agradeço antecipadamente tua colaboração.

Professor Mestrando Osvaldo Balen

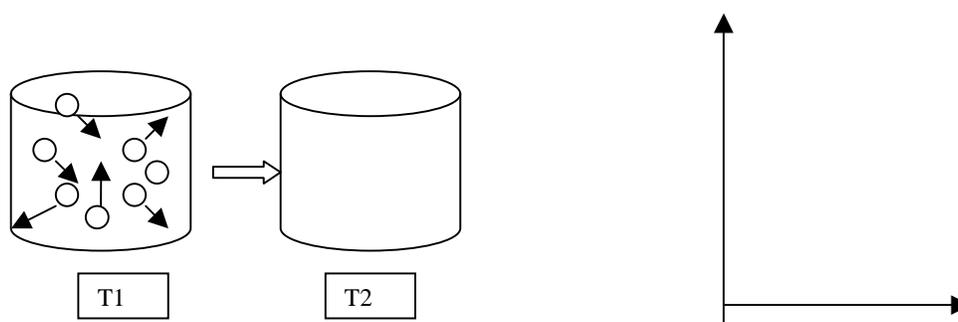
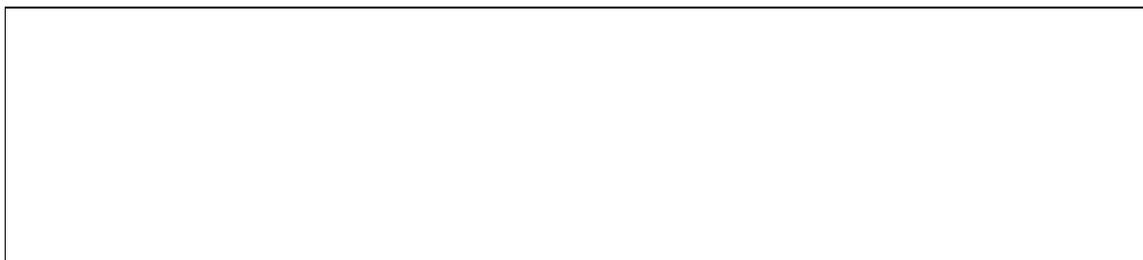
#### Introdução

O guia de utilização do programa de modelagem e simulação usa a técnica descrita como POE (predizer – observar – explicar). Esta técnica vem sendo utilizada com sucesso e consiste em fazer com que o aluno, tente predizer o que vai ocorrer antes da simulação e registre o que espera que ocorra. Em seguida efetua a simulação observando o que acontece e finalmente, compara o que esperava que fosse acontecer com o que foi simulado, tentando explicar diferenças entre o observado e o previsto, se houverem diferenças.

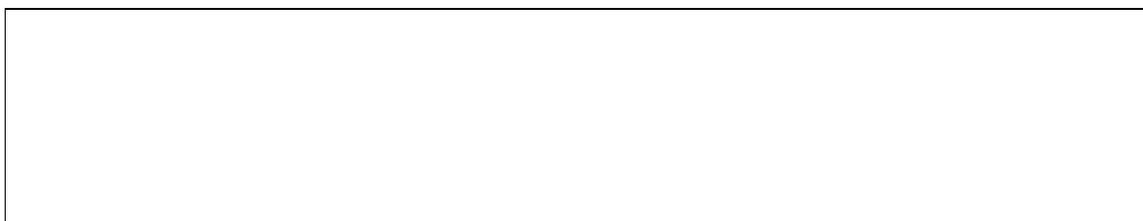
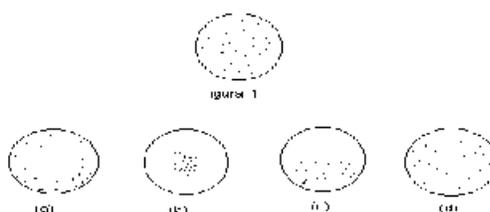
**Pedimos, portanto, que você siga esta técnica, para aproveitar melhor o resultado de seu trabalho. Não tente simular o comportamento antes de ter refletido sobre o que irá acontecer e ter registrado neste guia a sua previsão. Isto irá apenas fazer com que você não aproveite totalmente os benefícios da atividade didática.**

#### QUESTÕES PROPOSTAS

1) Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado e indeformável é aquecido, duplicando sua temperatura, o que acontece com a pressão? Mostre na figura como você acha que seja o comportamento microscópico do gás após o aquecimento. Como você explica esse comportamento do sistema? Desenhe o gráfico da pressão em função da temperatura (gráfico  $P \times T$ ) para esse processo.

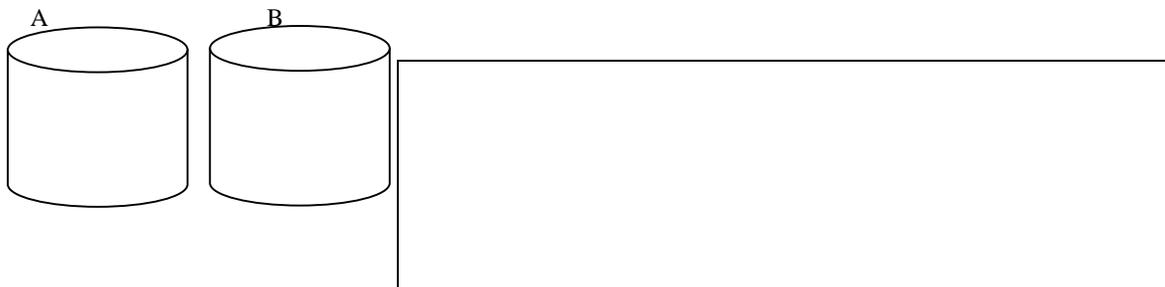


2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.



3) Considere dois botijões semelhantes A e B. O botijão A contém um gás ideal e o botijão B, um sistema gasoso cujas moléculas apresentam apenas interações repulsivas. O que é um gás ideal? Qual é a diferença entre os

sistemas gasosos citados? Nos recipientes abaixo desenhe como você acha que seja o comportamento cinético-molecular de cada um desses gases. Nas mesmas condições de volume e temperatura, você acha que a pressão tem o mesmo valor nos dois recipientes? Explique a resposta

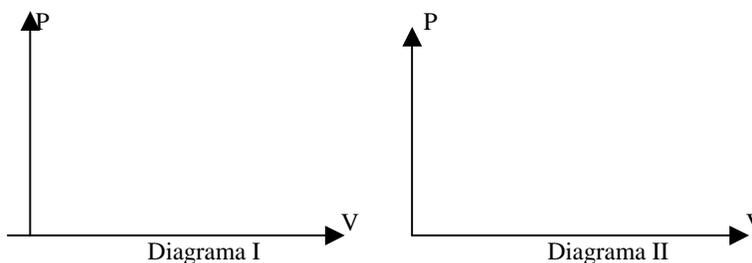
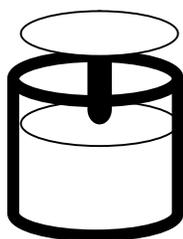


4) Considere dois botijões semelhantes A e B. O botijão A contém um gás ideal e o botijão B, um sistema gasoso real (as moléculas apresentam interações atrativas e repulsivas). Nos recipientes abaixo desenhe como você acha que seja o comportamento cinético molecular de quantidades iguais de cada um desses gases. Nas mesmas condições de pressão e temperatura, você acha que a pressão tem o mesmo valor nos dois botijões? Explique a resposta.



5) Um botijão rígido e indeformável está munido de um pistão que pode ser deslocado mediante o acréscimo ou retirada de pequenas massas. O gás contido no interior do botijão pode interagir com o exterior trocando calor e trabalho, enquanto mantém constante sua temperatura (processo isotérmico). No diagrama I trace o gráfico da pressão em função do volume para uma temperatura de  $27^{\circ}\text{C}$ ; repita no diagrama II para uma temperatura de  $-27^{\circ}\text{C}$ , supondo que o botijão contenha:

- um gás ideal;
- um gás com interações repulsivas
- um gás real (com interações repulsivas e atrativas).



6) Considere um botijão de gás liquefeito de petróleo (GLP – uma mistura de butano e propano) armazenado nas

condições ambientais e usado como fonte de calor residencial e industrial. Você acha que o GLP pode ser considerado um gás ideal? ( ) sim ( ) não.

Explique a resposta escolhida.

7) Em um dia frio, no qual estavam satisfeitas as CNTP, um estudante realizou um experimento e precisou adicionar um (1) mol de água à mistura reacional. Para tanto precisou escolher um recipiente que pudesse conter este mol de água. Qual deve ser o volume mínimo do recipiente que ele deve utilizar para armazenar essa quantidade de líquido?

**PROJETO DE PESQUISA:  
 “MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DE CIÊNCIAS –  
 ÊNFASE NA TERMODINÂMICA”  
 PÓS-TESTE B-1**

Nome do aluno
Disciplina
Curso:
<input type="checkbox"/> engenharia mecânica
<input type="checkbox"/> engenharia química
<input type="checkbox"/> licenciatura plena em química
<input type="checkbox"/> tecnologia em automatização industrial
<input type="checkbox"/> outro – indique: _____

Prezado aluno

Estamos realizando um projeto de pesquisa que tem como objetivo identificar os modelos explicativos dos sistemas gasosos apresentados pelos estudantes sob o ponto de vista dos processos termodinâmicos macroscópicos e as interações microscópicas e verificar se o uso de softwares de modelização matemática e simulação computacional auxiliam a aprendizagem dos conceitos da teoria cinética dos gases e das leis da termodinâmica e a compreensão dos modelos de gases. Responda às questões propostas de acordo com suas idéias e seu conhecimento. Sua colaboração é importante, pois possibilitará propor melhorias no processo de ensino – aprendizagem. Agradeço antecipadamente sua colaboração.

Prof. Mestrando Osvaldo Balen

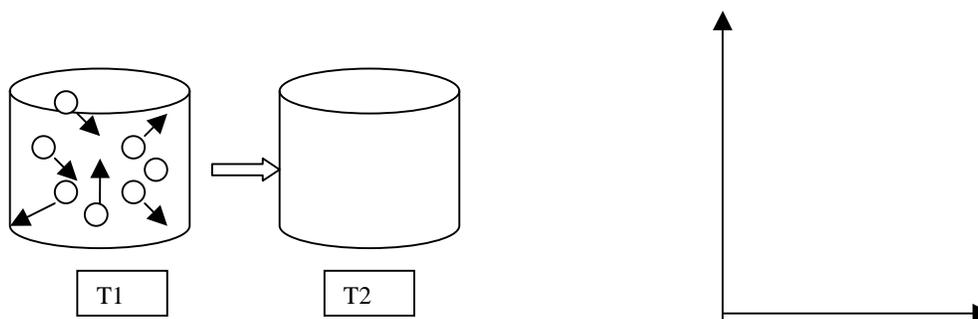
### Introdução

O guia de utilização do programa de modelagem e simulação usa a técnica descrita como POE (predizer – observar – explicar). Esta técnica vem sendo utilizada com sucesso e consiste em fazer com que você, aluno, tente predizer o que vai ocorrer antes da simulação e registre o que você espera que ocorra. Em seguida, você efetua a simulação observando o que acontece e finalmente, compara o que você esperava que fosse acontecer com o que foi simulado, tentando explicar diferenças entre o observado e o previsto por você, se houverem diferenças.

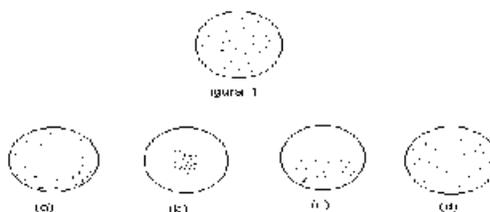
**Pedimos, portanto, que você siga esta técnica, para aproveitar melhor o resultado de seu trabalho. Não tente simular o comportamento antes de ter refletido sobre o que irá acontecer e ter registrado neste guia a sua previsão. Isto irá apenas fazer com que você não aproveite totalmente os benefícios da atividade didática.**

### QUESTÕES PROPOSTAS

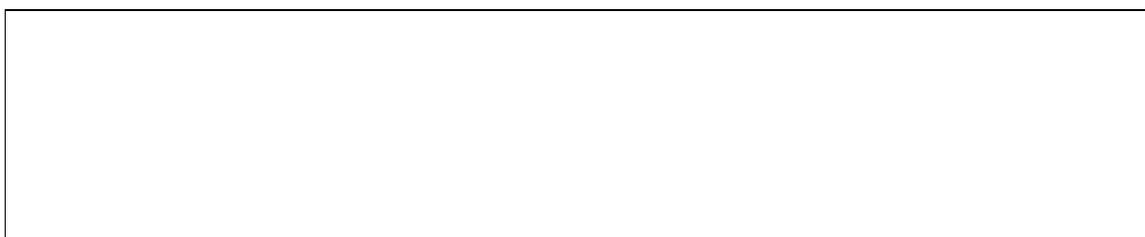
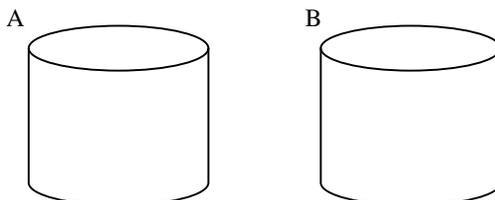
1) Quando um gás contido em um recipiente rígido fechado e indeformável é aquecido, duplicando sua temperatura, o que acontece com a pressão? Mostre na figura como você acha que seja o comportamento microscópico do gás após o aquecimento. Como você explica esse comportamento do sistema? Desenhe o gráfico da pressão em função da temperatura (gráfico P x T) para esse processo.



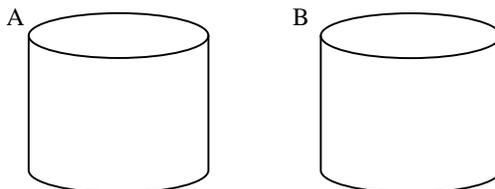
2) A figura representa um tanque de aço contendo uma determinada massa de gás hidrogênio na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e pressão de 3 atm. Os pontos representam as moléculas de hidrogênio. O sistema é resfriado e sua temperatura reduzida para  $-20^{\circ}\text{C}$ . Assinale qual das figuras abaixo melhor representa a distribuição das moléculas de hidrogênio depois do resfriamento. Justifique a resposta escolhida.



3) Considere dois botijões semelhantes A e B. O botijão A contém um gás ideal e o botijão B, um sistema gasoso cujas moléculas apresentam apenas interações repulsivas. Qual é a diferença entre os sistemas gasosos citados? Nos recipientes abaixo desenhe como você acha que seja o comportamento cinético-molecular de cada um desses gases. Nas mesmas condições de volume e temperatura, você acha que a pressão tem o mesmo valor nos dois recipientes? Explique a resposta

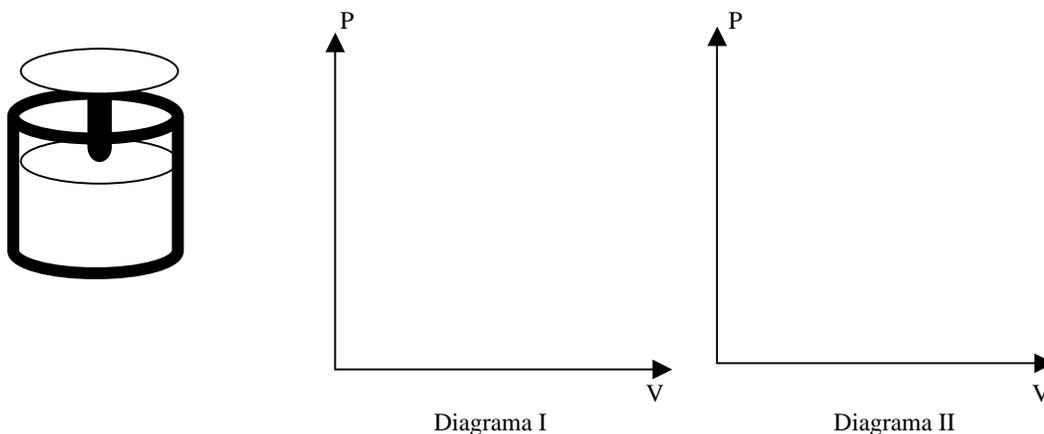


4) Considere dois botijões semelhantes A e B. O botijão A contém um gás ideal e o botijão B, um gás real (as moléculas apresentam interações atrativas e repulsivas). Nos recipientes abaixo desenhe como você acha que seja o comportamento cinético molecular de quantidades iguais de cada um desses gases. Nas mesmas condições de pressão e temperatura, você acha que a pressão tem o mesmo valor nos dois botijões? Explique a resposta.



5) Um botijão rígido e indeformável está munido de um pistão que pode ser deslocado mediante o acréscimo ou retirada de pequenas massas. O gás contido no interior do botijão pode interagir com o exterior trocando calor e trabalho, enquanto mantém constante sua temperatura (processo isotérmico). No diagrama I trace o gráfico da pressão em função do volume para uma temperatura de  $27^{\circ}\text{C}$ ; repita no diagrama II para uma temperatura de  $-27^{\circ}\text{C}$ , supondo que o botijão contenha:

- um gás ideal;
- um gás com interações repulsivas
- um gás real (com interações repulsivas e atrativas).



6) Considere um botijão de gás liquefeito de petróleo (GLP – uma mistura de butano e propano) armazenado nas condições ambientais e usado como fonte de calor residencial e industrial. Você acha que o GLP pode ser considerado um gás ideal?

( ) sim ( ) não.

Explique a resposta escolhida.

7) Em um dia frio, no qual estavam satisfeitas as CNTP, um estudante realizou um experimento e precisou adicionar um (1) mol de água à mistura reacional. Para tanto precisou escolher um recipiente que pudesse conter este mol de água. Qual deve ser o volume mínimo do recipiente que ele deve utilizar para armazenar essa quantidade de líquido?

**Questões de identificação do comportamento de um gás ideal através de simulação computacional.**

Nome do aluno \_\_\_\_\_

1. “Como são representadas as moléculas do sistema apresentado?”.
2. “Que tipo de gás o sistema mostra?”.
3. “O que ocorre com a pressão do gás se a temperatura variar e o volume ficar constante, não havendo interações atrativas ou repulsivas entre as moléculas?”.
4. “O que ocorre com a pressão do gás se a temperatura variar e o volume ficar constante, havendo interações atrativas e repulsivas?”.
5. “O que ocorre com a pressão e o volume do sistema gasoso se a temperatura ficar constante?”.
6. “Qual é a forma do gráfico da pressão em função do volume para uma quantidade relativamente alta do gás na presença de interações atrativas e repulsivas se a temperatura for a ambiente, num processo isotérmico? E se a temperatura for muito baixa num processo isotérmico?”.
7. “O que ocorre com o volume e a temperatura do sistema gasoso se a pressão ficar constante?”.
8. “Qual é a forma do gráfico do volume em função da temperatura se a pressão ficar constante?”.
9. “O que ocorre quando as moléculas cruzam seus trajetos?”.
10. “Se fosse permitido as moléculas colidirem entre si, a pressão do gás aumentaria ou diminuiria?”.

**RESPOSTAS**

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

## **ANEXO III**

**1 – RESULTADO DO QUESTIONÁRIO DO PERFIL DOS ESTUDANTES**

**2 – TABULAÇÕES DAS RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DOS  
INSTRUMENTOS**

## Descrição do perfil dos alunos que compõem a amostra formada pelos alunos da UCS

### 1) Faixa etária dos estudantes

Tabela 1  
Faixa etária

Faixa etária (anos)	amostra	%
18 até 20	16	32,7
20 até 25	22	44,9
25 até 30	03	6,1
Mais de 30	05	10,2
Não informou	03	6,1

### 2) Formação de nível médio dos estudantes

Tabela 2  
Formação de nível médio

Curso	amostra	%
<b>Ensino médio</b>	36	<b>73,5</b>
<b>Ensino técnico</b>	08	<b>16,3</b>
<b>Magistério</b>	02	<b>4,1</b>
<b>Supletivo</b>	02	<b>4,1</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>2,0</b>

Tabela 3  
Ano de conclusão do curso de nível médio

Ano	amostra	%
<b>1980 a 1985</b>	03	<b>6,1</b>
<b>1986 a 1990</b>	01	<b>2,0</b>
<b>1991 a 1995</b>	02	<b>4,1</b>
<b>1996 a 2000</b>	33	<b>67,3</b>
<b>2001 em diante</b>	09	<b>18,4</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>2,0</b>

Tabela 4

Sistema educacional mantenedor da escola de ensino médio

	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Estadual</b>	21	<b>63,6</b>
<b>Particular</b>	09	<b>27,3</b>
<b>Municipal</b>	01	<b>3,0</b>
<b>Não informou</b>	<b>02</b>	<b>6,1</b>

Tabela 5

Carga horária semanal de Física

<b>Horas-aula</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>01</b>	02	<b>6,1</b>
<b>02</b>	14	<b>42,4</b>
<b>03</b>	06	<b>18,2</b>
<b>04</b>	09	<b>27,3</b>
<b>Nenhuma</b>	01	<b>3,0</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>3,0</b>

Tabela 6

Carga horária semanal de Química

<b>Horas-aula</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>01</b>	01	<b>3,0</b>
<b>02</b>	15	<b>45,5</b>
<b>03</b>	06	<b>18,2</b>
<b>04</b>	09	<b>27,3</b>
<b>Nenhuma</b>	01	<b>3,0</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>3,0</b>

### 3) Formação de nível superior

Tabela 7

Curso freqüentado no ensino superior

<b>Curso</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Engenharia mecânica</b>	12	<b>20,0</b>
<b>Engenharia química</b>	09	<b>15,0</b>
<b>Licenciatura em química</b>	26	<b>43,3</b>
<b>Tecnologia de automatização industrial</b>	<b>13</b>	<b>21,7</b>

Tabela 8

Ano de ingresso no curso

<b>Ano</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>1995 a 2000</b>	10	<b>30,3</b>
<b>2001 em diante</b>	22	<b>66,7</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>3,0</b>

## 4) Atuação profissional

Tabela 9

Setor produtivo de atuação

<b>Setor</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Industrial</b>	20	<b>43,5</b>
<b>Comercial</b>	07	<b>15,2</b>
<b>Educacional</b>	07	<b>15,2</b>
<b>Bolsista IC</b>	02	<b>4,3</b>
<b>outros</b>	06	<b>13,1</b>
<b>Não informou</b>	<b>04</b>	<b>8,7</b>

Tabela 10

Tempo de serviço

<b>Período (anos)</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>0 até 1</b>	13	<b>28,2</b>
<b>1 até 5</b>	17	<b>37,0</b>
<b>5 até 10</b>	06	<b>13,0</b>
<b>10 até 15</b>	05	<b>10,9</b>
<b>Não informou</b>	<b>05</b>	<b>10,9</b>

## 5) Recursos de informática e sua utilização

Tabela 11

Uso do computador

<b>Frequência</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Sempre</b>	26	<b>54,2</b>
<b>Algumas vezes</b>	21	<b>43,8</b>
<b>Nunca</b>	00	<b>0,0</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>2,0</b>

Tabela 12  
Local de utilização

<b>Local</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Residência</b>	30	<b>38,0</b>
<b>Empresa</b>	27	<b>34,2</b>
<b>Universidade</b>	20	<b>25,2</b>
<b>outros</b>	01	<b>1,3</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>1,3</b>

Tabela 13  
Frequência de utilização

<b>Frequência</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Diária</b>	31	<b>64,6</b>
<b>2 a 3 vezes por semana</b>	10	<b>20,8</b>
<b>Ocasionalmente</b>	06	<b>12,5</b>
<b>não utiliza</b>	00	<b>0,0</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>2,1</b>

Tabela 14  
Programas e softwares mais utilizados

<b>Programa</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Word</b>	43	<b>49,4</b>
<b>Excel</b>	27	<b>31,0</b>
<b>CAD</b>	25	<b>5,7</b>
<b>Educacionais</b>	10	<b>11,5</b>
<b>Outros</b>	01	<b>1,2</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>1,2</b>

## 6) Conhecimento dos conceitos e domínio das atividades de modelagem e simulação

Tabela 15  
Conhecimento da atividade de modelagem

<b>Conhece</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Sim</b>	24	<b>50,0</b>
<b>Não</b>	23	<b>47,9</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>2,1</b>

Tabela 16  
Aplicação da modelagem

<b>Explicação</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Equacionar problemas</b>	05	<b>10,4</b>
<b>Ferramenta matemática</b>	05	<b>10,4</b>
<b>Não explicou</b>	<b>38</b>	<b>79,2</b>

Tabela 17  
Conhecimento da atividade de simulação computacional

<b>Conhece</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>Sim</b>	29	<b>60,4</b>
<b>Não</b>	18	<b>37,5</b>
<b>Não informou</b>	<b>01</b>	<b>2,1</b>

Tabela 18  
Aplicação da simulação computacional

<b>Explicação</b>	<b>amostra</b>	<b>%</b>
<b>É um sistema</b>	09	<b>18,7</b>
<b>É uma técnica</b>	13	<b>27,1</b>
<b>É um programa</b>	12	<b>25,0</b>
<b>Não informou</b>	<b>14</b>	<b>29,2</b>

**TABULAÇÃO DOS DADOS  
AVALIAÇÃO DOS INSTRUMENTOS**

categoria	CP	C	NO	D	DT
pontuação	5	4	3	2	1

	01	02	03	04	05	06	07	08	09
01	4	4	2	4	4	4	4	4	2
02	4	5	1	5	5	5	5	4	1
03	4	5	5	4	4	5	4	4	3
04	5	5	2	4	5	4	5	3	1
05	4	5	1	5	3	5	4	4	1
06	3	4	2	4	3	4	3	1	4
07	4	4	1	4	4	5	5	4	1
08	1	3	4	3	3	4	4	4	3
09	4	4	4	2	2	4	3	4	4
10	5	5	2	4	4	4	4	4	2
11	5	5	2	4	4	4	4	4	2
12	5	5	1	4	5	4	4	5	1
13	5	5	1	5	5	5	5	5	1
14	5	5	2	4	5	5	5	4	2
15	4	4	2	4	4	4	4	4	2
16	5	5	1	4	4	5	4	4	2
17	5	4	1	5	4	5	5	4	1
18	5	5	1	5	5	4	5	5	1
19	5	4	3	5	4	5	4	4	3
20	4	4	2	2	3	4	4	3	4
21	4	3	3	3	3	3	3	3	3
22	4	4	2	4	4	5	4	4	3
23	5	5	1	5	5	5	4	5	2
24	4	4	2	4	3	5	4	4	2
25	5	5	2	4	4	4	4	4	2
26	4	4	2	4	4	4	5	4	4
27	4	4	2	4	4	3	4	5	2
28	4	4	2	3	4	4	4	4	2
29	4	4	2	4	4	3	4	5	2
30	4	4	2	4	4	3	4	5	3
31	5	5	5	5	5	5	5	5	2
32	5	4	2	4	4	4	5	5	4
33	4	5	2	4	3	5	3	4	3
34	5	4	2	4	4	4	4	5	4
35	4	4	4	2	2	4	4	5	3
36	5	5	2	2	5	5	4	4	4
37	5	5	1	3	5	5	4	5	3
38	4	4	4	3	3	4	2	4	4
39	4	4	4	2	3	5	3	4	4
40	5	5	1	5	5	5	4	5	1
41	5	5	1	4	5	4	4	4	4

42	5	5	2	4	4	5	2	4	2
43	5	4	2	3	3	5	3	4	4
44	5	5	2	5	4	5	5	5	1
45	4	3	3	1	3	4	2	3	3
46	5	4	2	3	5	4	2	4	2
47	5	5	2	3	4	5	2	4	4
48	5	5	1	4	4	5	2	5	2
49	5	5	2	4	4	4	4	5	2
50	4	4	2	4	4	4	4	4	4
51	4	3	2	3	4	4	4	2	4
52	4	4	2	3	3	4	4	4	4
53	3	4	2	4	4	3	3	2	4
54	5	5	1	4	5	5	5	3	2
55	4	4	2	4	4	4	4	2	2
56	5	5	1	5	4	5	4	4	2
57	4	4	2	2	4	4	4	4	2
58	5	4	2	3	3	7	3	2	2
59	5	5	1	5	5	5	5	5	1
60	4	4	1	5	4	4	4	4	2
61	4	4	2	4	3	5	4	5	1
62	5	4	1	4	3	5	4	4	3
63	5	5	2	4	4	5	4	5	1
64	5	5	2	4	4	5	5	4	4
65	4	3	1	3	3	4	4	3	2
66	4	4	2	4	4	4	3	2	2
67	4	4	5	3	3	4	5	3	3
68	4	4	3	4	4	4	4	4	3
69	4	4	2	4	3	4	4	2	4
70	3	4	2	4	3	4	4	2	2
71	2	2	2	2	2	4	3	2	2
72	4	4	2	4	4	4	4	3	2
73	5	5	2	5	4	5	4	4	1
74	4	4	3	3	2	4	4	2	2
75	5	5	1	5	5	5	5	5	1

**ANEXO IV**

**TABELA DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES APLICADOS AOS ALUNOS  
DOS GRUPOS A e B**

**GRUPOS A e B**  
**RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES APLICADOS**

Aluno	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		SOMA	
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
CAC	4	4	2	3	1	2	4	4	4	4	2	4			17	21
DB	4	4	2	2	1	2	3	3	1	3	1	3			12	17
EL	4	4	4	4	1	2	1	4	1	3	1	3			12	21
ES	4	4	4	2	1	4	3	4	1	2	1	4			14	20
FB	4	4	2	2	3	4	3	4	1	4	3	1			16	19
FS	4	3	4	2	1	4	3	2	2	2	3	4			15	17
JJM	4	4	2	2	1	4	3	4	1	4	3	4			14	22
LRO	2	4	3	2	3	3	3	4	2	4	1	4			14	21
MC	2	3	4	2	2	3	2	4	2	3	3	4			15	19
RB	4	4	2	4	1	2	3	2	4	3	2	4			16	20
RG	4	3	4	3	1	4	3	4	1	2	3	4			16	20
TR	4	4	2	4	1	2	4	4	3	3	2	4			16	21
CASP	4	4	2	2	1	4	1	2	1	2	1	1	1	2	11	17
CC	4	4	2	2	1	4	1	1	1	1	2	4	2	3	13	21
DM	3	4	2	2	3	4	4	2	1	2	1	4	1	1	15	20
FM	4	4	3	2	2	3	3	2	1	2	1	1	1	1	15	17
LT	4	3	3	2	3	2	2	2	1	2	1	1	1	2	15	16
FeM	3	4	1	2	1	4	1	2	1	2	1	4	1	1	9	20
LB	3	3	2	4	4	2	3	2	1	2	2	4	1	1	16	18
LM	2	4	3	2	1	4	1	1	2	1	1	1	2	2	12	15
MH	3	2	1	4	1	3	1	2	1	2	1	2	2	4	10	20
MeLo	3	4	2	2	2	4	2	2	1	2	1	2	2	2	13	20
MP	4	4	4	2	2	3	2	2	1	2	1	1	1	1	15	16
MZ	3	3	1	2	1	1	1	3	1	3	1	4	1	1	11	17
MS	4	4	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	2	13	16
NAFC	3	4	2	2	1	4	1	2	1	2	2	4	2	3	12	22
SR	4	4	2	4	1	4	1	1	1	1	1	4	2	1	13	21
ALV	3	4	3	2	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	22	23
CRR	1	1	1	3	1	2	1	4	1	1	2	2	1	4	8	17
DL	3	3	1	2	2	2	3	4	1	3	1	1	1	1	12	16
EMF	3	4	1	1	2	3	3	4	1	2	1	2	1	2	12	18
GCG	3	4	3	2	3	2	3	4	3	1	1	2	1	4	17	19
GACS	3	4	1	1	3	2	1	4	1	3	2	2	1	1	12	17
IT	1	4	1	1	1	1	3	4	3	3	2	1	1	1	12	15
KS	3	4	3	1	3	1	1	4	1	3	2	3	2	3	15	19
MKD	3	4	1	1	3	3	1	4	1	3	1	2	1	1	11	18
MB	4	4	3	1	3	3	4	4	3	4	2	3	4	4	23	23
MASM	3	4	3	3	3	2	4	4	3	4	1	3	4	4	21	24
RAC	1	3	1	1	3	2	4	4	3	4	1	2	1	1	14	17
RMB	1	3	1	1	2	1	1	4	1	3	1	1	1	1	8	14
SCMA	1	4	1	1	1	2	3	4	2	4	1	2	1	1	10	18
AVV	3	4	1	1	2	2	1	4	1	3	3	4	1	1	12	19
APV	4	4	1	1	3	1	1	4	1	3	1	2	1	1	12	16
CLK	3	3	1	1	3	3	4	4	1	3	4	4	1	4	17	22
MIPC	4	4	1	1	3	1	4	4	1	1	1	1	1	1	15	13
ADV	3	4	1	1	1	1	3	4	1	3	1	1	1	1	11	15

Pré-teste A – Pós-teste D

<b>Compreensão total</b>	<b>CT</b>	4
Compreensão Parcial	CP	3
Concepção Errônea	CE	2
Não Respondeu	NR	1

**ANEXO V**

**TABELA DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES APLICADOS AOS ALUNOS  
DO GRUPO C.**

**TABELA DE RESULTADOS DO GRUPO C**

Aluno	C1	C2	C3	C4	C6	C6A	C6B	SOMA
ALG	1	1	3	3	1	1	1	11
ALL	2	3	3	3	3	3	1	18
ALA	2	3	3	3	2	1	2	15
AALF	2	3	3	3	3	1	2	17
DM	1	1	1	2	1	1	1	8
EC	1	2	1	1	1	1	1	8
FAB	1	1	2	2	3	1	1	11
FGP	3	1	1	1	3	1	1	11
IC	1	1	1	2	3	2	1	11
LCC	3	3	2	3	3	1	1	16
MC	1	1	1	2	3	1	1	10
RS	3	3	3	3	3	1	1	17
RC	1	1	1	3	3	1	1	11
JFC	1	1	1	2	2	1	1	9
LEM	1	1	1	1	3	1	1	9
MJD	1	1	1	1	2	1	1	8
ND	1	1	2	2	2	2	1	11
RE	1	2	1	1	1	1	1	8
Sés	1	2	1	3	2	1	1	11
VaLi	3	1	1	3	1	1	1	10
Vli	3	1	1	2	1	1	1	9
YuFe	2	3	1	2	1	1	1	10
MAVi	3	3	2	3	1	1	2	18
GiPS	3	1	2	3	2	1	2	14
DaT	3	1	2	3	3	1	2	15
FCD	3	3	2	2	3	1	1	15
IPÊ	1	1	1	2	2	1	1	9
OBi	3	3	3	3	1	2	1	16
SSSS	3	2	3	2	3	1	1	15
SDB	3	1	2	3	2	1	2	14

categoria

Compreensão total	CT	4
Compreensão parcial	CP	3
Concepção errônea	CE	2
Não respondeu	NR	1