

Aplicação da modelagem e simulação no ensino de modelos de sistemas gasosos

Application of computer simulation and modelling to the study of gases

Oswaldo Balen
Paulo Augusto Netz

RESUMO

Neste trabalho relata-se um estudo sobre a influência do uso de ferramentas de modelagem e de simulação computacional na aprendizagem e compreensão dos conceitos e na capacidade de articulação entre os níveis de representação macroscópico, microscópico e simbólico no contexto dos modelos de gases ideais e reais. A modelagem e a simulação computacional foram desenvolvidas utilizando o software *Modellus*, aplicada mediante o uso de um guia construído dentro da estratégia P.O.E. (Predizer – Observar – Explicar). A atividade foi efetuada em turmas de estudantes regularmente matriculados em cursos universitários das áreas de Ciências e Tecnologia. Foram aplicados três instrumentos de coleta de dados: – pré-teste, tutorial e pós-teste. A análise dos instrumentos de coleta de dados foi realizada de forma qualitativa e quantitativa. De modo genérico pode-se verificar que a metodologia adotada proporcionou evolução conceitual, apresentando melhores resultados nos níveis simbólico e macroscópico.

Palavras-chave: modelagem e simulação computacional, perfil conceitual, aprendizagem, estratégia P.O.E.

ABSTRACT

In this work we describe a research about the influence of computer modeling and simulation tools on the learning of concepts and on the linking between the three levels of representation – microscopic, symbolic and macroscopic – in the context of ideal and real gases. The modeling and simulation activities were developed using the software *Modellus* applying a P.O.E. (Predict – Observe – Explain) strategy. The activity was undertaken in university classes of students of science and technology. A pre-test, a tutorial and a post-test were applied and the results were examined both qualitatively and quantitatively. We could observe that this methodology allowed conceptual evolution with better results in the symbolic and microscopic levels.

Key words: modelling and computer simulation, conceptual profile, learning, P.O.E. strategy.

Oswaldo Balen é Professor de Física da Universidade de Caxias do Sul (DEFQ – UCS) e Mestre pelo PPGECIM. Paulo Augusto Netz é Professor de Química na ULBRA – PPGCIM – e Doutor em Físico-Química pela Universität Bielefeld, Alemanha.

Introdução

Neste artigo, inicialmente são apresentadas as considerações que motivaram a elaboração, aplicação e análise do estudo da aplicação da modelagem e simulação computacional no ensino de modelos de sistemas gasosos. A seguir são formuladas as bases teóricas e apresentados a metodologia, os resultados e as conclusões do estudo.

De acordo com Lin, Chen e Lawrenz (2000), há três níveis de representação dos conceitos químicos e físicos: macroscópico, microscópico e simbólico. Estudos desenvolvidos no ensino de Química (LIN, CHEN, LAWRENZ, 2000; WU, KRAJCIK, SOLOWAY, 2001) apontam que os estudantes apresentam dificuldades na compreensão das representações simbólica e microscópica de processos físicos e químicos porque estas são abstratas e seu pensamento baseia-se essencialmente na informação sensorial. O desafio, portanto, é trazer estas representações ao mundo do estudante de forma a torná-las mais concretas.

Conforme Esquembre (2002), o uso de ferramentas de modelagem e simulação computacional auxilia os estudantes na compreensão e aprendizagem dos conceitos que descrevem os processos físicos e químicos, porque permite aos estudantes explorarem os modelos propostos, modificando parâmetros e variáveis, compararem suas noções e concepções com os modelos propostos pela ciência. Em particular o detalhamento microscópico e simbólico dos modelos é muito facilitado pelo uso de tais ferramentas.

A partir destas considerações elaboramos um projeto com o objetivo de utilizar as ferramentas de modelagem e simulação como instrumento para auxiliar o estudante na aprendizagem e na compreensão dos conceitos associados aos modelos que descrevem o comportamento dos gases ideais e dos gases reais.

A ferramenta de modelagem e simulação escolhida foi o software MODELLUS (<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus>),

pois permite ao estudante controlar e modificar facilmente os modelos propostos, bem como seus parâmetros e as variáveis, usando uma linguagem matemática acessível, sem necessidade de conhecimentos prévios de programação. O resultado da modelagem é facilmente visualizado e pode ser comparado com modelos cientificamente aceitos.

Para a aplicação do projeto foi elaborado um guia onde são descritas as atividades de compreensão e uso do programa. O guia foi estruturado adotando-se a metodologia P.O.E. (Predizer – Observar – Explicar) (WHITE E GUNSTONE, 1992).

Para testar a viabilidade da utilização da metodologia o instrumento foi aplicado a um grupo de estudantes universitários de diversos cursos de graduação das áreas tecnológica e científica.

Bases teóricas

Estudos realizados nas últimas décadas (p.e. VIENNOT, 1979) demonstram que os estudantes oriundos das escolas de nível médio e que ingressam nos cursos universitários possuem uma variedade de concepções alternativas (ou idéias ingênuas) resultantes de suas experiências do cotidiano, as quais, muitas vezes entram em conflito com as concepções científicas consideradas corretas (LIN, CHENG, LAWRENZ, 2000). 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. Essas concepções alternativas sobre os gases competem com as concepções científicas quando os estudantes constroem o conhecimento sobre as propriedades dos gases durante as aulas.

Novick e Nussbaum (1978) indicam que as concepções alternativas podem sobreviver através de muitas etapas da instrução e mesmo depois da conclusão dos cursos de graduação. Gabel, Samuel e

Hunn (1987) lembram que se os estudantes não entendem qualitativamente um conceito químico ou físico antes de sua apresentação quantitativa é provável que eles executem manipulações descuidadas das equações matemáticas.

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 a aprendizagem é necessário que o ensino de Ciências identifique as visões de mundo dos estudantes e proporcione um caminho que promova a assimilação das concepções cientificamente aceitas. Hewson (1981) propõe o processo de mudança conceitual fazendo o estudante confrontar-se com situações nas quais as capacidades preditivas falhem.

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 noção de perfil conceitual e sugere que esta idéia 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.

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 pelos alunos. O perfil conceitual proposto por Mortimer (2000) caracteriza-se pelas seguintes zonas: a *concepção sensorialista*, na qual a matéria é representada por um contínuo, sem a existência de espaços vazios e de partículas; a *concepção substancialista*: a matéria é formada por grãos que apresentam as mesmas propriedades que o corpo apresenta, isto é, as partículas se expandem ou se contraem, mudam de estado, etc.; a *concepção clássica* relacionada com as propriedades empíricas da forma e do volume, que permitem definir e classificar os materiais em sólidos, líquidos e gases.

O ensino da Física ou da Química deve estimular a aprendizagem que leve à compreensão conceitual dos fenômenos. Esta aprendizagem ocorre quando o conhecimento é construído pelo indivíduo. Os estudantes devem ser confrontados com diferentes situações que contradigam as suas concepções e crenças epistemológicas e invoquem conflitos cognitivos que possibilitem eles a entrar num estado de reflexão e resolução, conforme 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 dia a dia.

Conforme Esquembre (2002) as novas tecnologias proporcionam a criação de ambientes que possibilitem a aprendizagem significativa dos conceitos associados ao conhecimento científico, particularmente na Física e na Química. Das novas tecnologias destaca-se o uso do microcomputador como ferramenta que possui potencial expressivo como recurso para visualizar e interpretar informações complexas, com valor inestimável para o uso em sala de aula.

Como um primeiro aspecto, as ferramentas para modelagem são ambientes de software que possibilitam aos estudantes construir seu modelo e realizarem sua própria simulação computacional, tornando explícitas as suas concepções. A confrontação da sua simulação, possivelmente com erros conceituais, com o modelo aceito pela Ciência 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, fazendo sentido da tradução entre as representações, dando ao aluno o empenho e a atitude para aprender as experiências, servindo como caderno no qual o

estudante pode explicar a sua compreensão do fenômeno, ajudando-o a visualizar o que está pensando.

Além disso, as técnicas de modelagem matemática e simulação computacional também possibilitam criar ambientes virtuais que permitem aos alunos a exploração de propriedades macroscópicas e microscópicas de sistemas físicos e químicos, relacionando-os com a representação simbólica, possibilitando a compreensão e a aprendizagem dos conceitos.

Finalmente, a exploração de tarefas com base na estratégia predizer-observar-explicar utilizando ambiente computacional permite aos estudantes trabalharem em pequenos grupos e realizarem as tarefas propostas com motivação e entusiasmo em lugar do tradicional ambiente de sala de aula, baseado na aula expositiva, na qual o aluno é praticamente um elemento passivo.

Metodologia

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, tanto para gases ideais quanto para gases reais.

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), bem como na investigação das concepções alternativas e do papel das simulações computacionais no equilíbrio químico por Orlandi (2004).

Nos testes por nós realizados e que antecederam a aplicação do 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/numérica, 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, SAMUEL E HUNN, 1997 citados por WU, KRAJCIK, SOLOWAY, 2001), distribuídos em seis conceitos, descritos no quadro 1.

Quadro 1: Características dos conceitos.

Conceito	Tema	Nível de representação
C1	Efeito da temperatura no aumento (na variação) da pressão	Macroscópico – microscópico – simbólico
C2	Efeito da temperatura na distribuição molecular	Microscópico
C3	Interações intermoleculares e comportamento macroscópico	Macroscópico – microscópico
C4	Efeito da pressão no volume: diferenças gás ideal – gás real	Macroscópico – microscópico – simbólico
C5	Construção de isotermas de gases	Simbólico
C6	Interações e não idealidade: comportamento do gás liquefeito de petróleo nas condições ambientais; o volume da água nas CNTP.	Simbólico – macroscópico

No final do pós-teste foram incluídas nove questões, onde os estudantes realizavam auto-avaliação e avaliação das atividades e do tutorial. 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 e simulação.

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, utilizando o Programa Modellus (<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus>). Este programa permite que o modelo subjacente ao pensamento físico seja escrito em linguagem matemática, que as variáveis e parâmetros sejam definidos e modificados e que o resultado da interação do estudante com o modelo seja facilmente visualizado, para facilitar o confronto entre a predição e a observação. O controle do computador pelos estudantes mediante as tarefas do P.O.E. é um elemento fundamental neste estudo.

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. Também foram utiliza-

das as respostas do guia de modelagem e simulação produzidas pelos estudantes e foi avaliada a estratégia de ensino.

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 SPSS¹.

A amostra foi constituída por estudantes universitários regularmente matriculados nos cursos de Licenciatura Plena em Química, Bacharelado em Química, Engenharia Mecânica, Engenharia Química e Tecnologia de Automatização Industrial. Após a aplicação dos instrumentos, para analisar os resultados foram considerados apenas os alunos que estavam presentes em todos os encontros.

Os estudantes do grupo experimental provinham de dois grupos, o primeiro, constituído por vinte e sete alunos matriculados na disciplina Aplicações Computacionais na Química e na disciplina Física III; o segundo, constituído por dezenove alunos matriculados na disciplina Físico-Química I. No entanto, para efeitos da presente análise consideraremos ambos os grupos em conjunto, como grupo experimental 'A'.² Para este grupo inicialmente foi aplicado o pré-teste, a seguir foi aplicada a atividade computacional e após o pós-teste. Os trinta alunos do grupo de comparação (grupo 'B') não foram estimulados com o pré-teste e apenas responderam ao pós-teste. Esse grupo foi formado por alunos matriculados em disciplinas cujo enfoque era a Termodinâmica, sendo atendidas por diferentes professores, estudando os conteúdos relativos ao comportamento dos sistemas gasosos em aulas expositivas. Desta forma existe uma distribuição aleató-

¹ SPSS: Statistical Package for Social Sciences.

² Uma análise mais detalhada dos diferentes grupos encontra-se em Balen (2004).

ria dos diferentes perfis curriculares em todas as turmas. 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.

Numa aplicação preliminar desta metodologia, realizada no segundo semestre de 2002 (BALEN, NETZ, SERRANO, 2003), foram considerados os níveis de representação como referência para identificação das concepções dos estudantes, e foram feitas correções e reformulações nos instrumentos de coleta de dados.

As respostas foram classificadas 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 nexos; NC, nenhuma compreensão ou indefinido quando o estudante não respondeu. Para uma posterior análise quantitativa atribuiu-se as notas de 1 (NC) até 4 (CT) ³.

Resultados

Características da amostra

O perfil de caracterização dos estudantes indica uma carga horária média de duas horas-aula semanais nas disciplinas de Física e Química em escolas de ensino médio. A maioria dos alunos trabalha predominantemente na indústria, usa o computador no exercício de suas atividades, com predominância de utilização do editor de texto Word e da planilha Excel e têm algum conhecimento associado à modelagem computacional e à simulação computacional, conforme é mostrado no quadro 2.

Quadro 2: Características do perfil dos estudantes

Questão	Resposta predominante	%
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
Setor 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

O perfil conceitual

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 e C2 – Efeito da temperatura na distribuição das posições das moléculas de um

gás. A análise dos resultados, efetuada por comparação com os resultados de Mortimer (2000), 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

³ Conforme Orlandi (2004)

diferentes estados físicos do material. Resultados semelhantes foram encontrados por Niaz e Robinson (1993) apud Niaz (2000) num estudo realizado com estudantes de um curso universitário preparatório para engenharia e ciências. O citado estudo indica também que os estudantes apresentam desempenho baixo quando solicitados a responder a questões conceituais.

O perfil conceitual dos componentes do grupo B, elaborado utilizando-se os resultados do pós-teste (Quadro 3) e visualizado através da consideração dos conceitos C1: Efeito da temperatura no aumento da pressão e C2: Efeito da temperatura na distribuição molecular, mostra que 20,0 % dos estudantes apresentaram a concepção atomística e 40 % apresentaram a concepção substancialista tanto no conceito C1 quanto no conceito C2 (C1 + C2), enquanto que 40,0% da amostra apresenta perfil atomístico para um conceito e substancialista para outro (perfil misto). Considerando cada conceito isoladamente, observa-se o equilíbrio entre a concepção atomística e a substancialista no conceito C1 (efeito da temperatura na variação da pressão) e apenas 30% da amostra apresentando a concepção atomística no conceito C2 (efeito da temperatura na distribuição molecular).

Quadro 3: Perfil Conceitual dos componentes do grupo B

Perfil conceitual	C1	C2	C1+C2
Concepção atomística	50,0	30,0	20,0
Concepção substancialista	50,0	70,0	40,0
Perfil misto			40,0

O perfil conceitual apresentado pelos alunos do grupo A comparando-se as respostas dadas no pré-teste e no pós-teste (Quadro 4), visualizado através dos conceitos C1: Efeito da temperatura no aumento da pressão e C2: Efeito da temperatura na distribuição molecular, considerando-se os dois conceitos tomados em conjunto (C1+C2) mostra que 11,1% dos estudantes mantiveram o perfil conceitual atomístico e que 29,6% dos alunos mantiveram o perfil conceitual substancialista. A análise dos resultados também evidencia que

22,2% evoluíram do perfil conceitual substancialista para o perfil conceitual atomístico, ao passo que 11,1% passaram do perfil conceitual atomístico para o perfil conceitual substancialista e que 25,9 % apresentam um perfil conceitual misto, conforme mostram os resultados expostos no quadro 4. Considerando cada conceito isoladamente, observa-se a predominância da concepção atomística (70,4%) no conceito C1 (efeito da temperatura na variação da pressão) e da predominância da concepção substancialista (48,1%) no conceito C2 (efeito da temperatura na distribuição molecular). Concluímos, portanto, que não houve nenhuma evolução conceitual significativa no que toca a estes conceitos⁴.

Quadro 4: Perfil conceitual dos componentes do grupo A

	C1	C2	C1+C2
Manutenção da concepção atomística	70,4	11,2	11,1
Manutenção da concepção substancialista	3,7	48,1	29,6
Evolução da concepção substancialista para a concepção atomística	22,2	22,2	22,2
Evolução da concepção atomística para a concepção substancialista	3,7	18,5	11,1
Perfil misto			25,9

Comparação dos resultados do pré-teste e do pós-teste no grupo A

Através do teste de Wilcoxon para amostras pareadas, analisamos se houve diferença entre dois momentos (pré-teste e pós-teste) para o grupo A. Os resultados são mostrados na tabela 1. Os resultados desse teste indicam que não houve diferença significativa ($p \geq 5\%$) para os conceitos C1 e C2. No conceito C1 não houve mudança do score para 50,0% da amostra, enquanto que 28,3% migraram dos níveis baixos aos mais elevados. O conceito C2 também não apresenta

⁴ Mais detalhes a respeito da análise qualitativa das respostas dadas pelos estudantes podem ser encontrados em Balen (2004).

alterações significativas entre pré e pós-teste. Verifica-se, entretanto, que houve melhoria significativa no desempenho do grupo na resposta dada às questões correspondentes aos conceitos C3, C5 e C6, indicando que o uso do tutorial possibilitou aprendizagem. Também o conceito C4 indica que há diferenças significativas, porém observa-se que 47,8 % dos alunos mantiveram a resposta dada no pré-teste. Podemos concluir que houve aprendizagem ao se desenvolver a atividade, caracterizado por uma mudança do significado para os níveis conceituais superiores (compreensão parcial e compreensão total). O conceito C2, de pior desempenho, restringe-se ao nível microscópico, que a atividade computacional não consegue contemplar de modo satisfatório (veja discussão adiante). O conceito C1, embora com elementos nos planos macroscópico e simbólico, possui uma ênfase bastante grande em aspectos bastante sutis do plano microscópico, a saber, como representar microscopicamente o efeito da temperatura. Os aspectos microscópicos dos conceitos C3 e C4, relacionados à representação das interações, são aparentemente melhor compreendidos pelos estudantes.

Tabela 1: Teste de Wilcoxon para o grupo A

Conceito	Resultado	%	p	
C1	Pré>Pós	21,7	0,275	ns
	Pré=Pós	50,0		
	Pré<Pós	28,3		
	Total	100,0		
C2	Pré>Pós	33,3	0,846	ns
	Pré=Pós	37,1		
	Pré<Pós	29,6		
	Total	100,0		
C3	Pré>Pós	6,5	0,000	s
	Pré=Pós	23,9		
	Pré<Pós	69,6		
	Total	100,0		
C4	Pré>Pós	10,9	0,003	s
	Pré=Pós	47,8		
	Pré<Pós	41,3		
	Total	100,0		
C5	Pré>Pós	4,4	0,000	s
	Pré=pós	23,9		
	Pré<Pós	71,7		
	Total	100,0		
C6	Pré>Pós	6,5	0,000	s
	Pré=pós	23,9		
	Pré<Pós	69,6		
	Total	100,0		

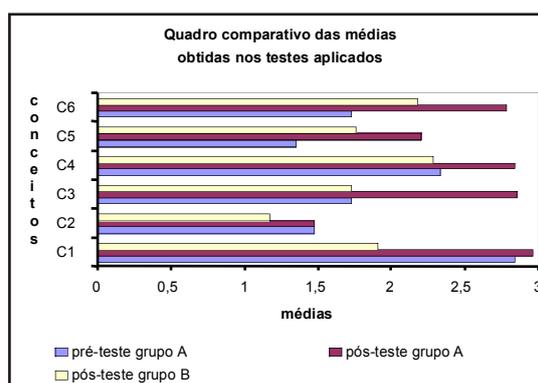
s: Diferença significativa ao nível de 1%;ns: Diferença não significativa

Comparação do desempenho dos grupos A e B

Para uma comparação quantitativa, atribuiu-se uma escala de notas às respostas dadas como discutido na metodologia, sendo contabilizada a média para cada grupo.

O diagrama de barras mostrado no quadro 5 indica que o desempenho do grupo A apresentou acréscimo na média no pós-teste comparando-se com o pré-teste aplicado a este grupo e que esta média também foi superior à média do pós-teste do grupo B. Observa-se também que as diferenças são significativas nas médias obtidas nos conceitos C3, C4, C5 e C6.

Quadro 5: Comparativo das médias obtidas nos testes aplicados aos grupos A e B.

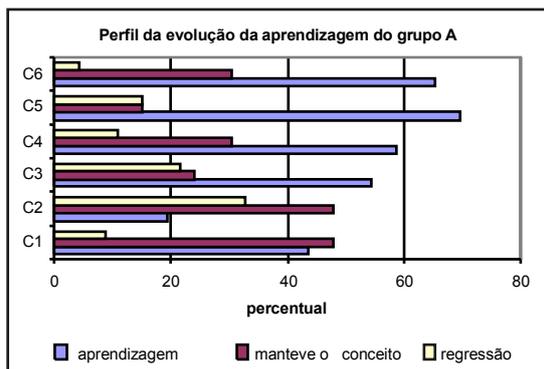


Perfil da evolução da aprendizagem no grupo A

A partir das respostas dadas no pré-teste e no pós-teste pelos alunos do grupo A a cada conceito, foi elaborado o quadro 6, 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*. Considerou-se que não houve alteração do conceito quando o aluno manteve a resposta e que ocorreu regressão, quando o estudante modificou sua resposta de *compreensão total* ou *compreensão parcial* para *concepção errônea* ou *não respondeu*. Observando o quadro indicado pode-se

inferir que ocorreu aprendizagem nos conceitos C4, C5 e C6, os quais apresentam percentuais superiores a 50 % e em menor grau no conceito C1. A regressão foi evidente no conceito C2, com percentual de 33 %. No conceito C3 houve aprendizagem (54%) e regressão (22%) simultaneamente.

Quadro 6: Perfil da evolução da aprendizagem no grupo A



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 e C6 – Interações e não idealidade.

O uso da metodologia baseada na estratégia prever – observar – explicar, combinada com a modelagem e simulação computacional contribuiu para que ocorra

aprendizagem do comportamento dos sistemas gasosos e possibilita a identificação de algumas características que diferenciam gases ideais de gases reais, relacionando os diferentes níveis de representação dos gases. O desempenho, contudo, é melhor nos níveis *simbólico* e *macroscópico*, mas não no *microscópico*, pois o próprio programa não se adequa facilmente a este plano de análise. Para um melhor desempenho no plano conceitual *microscópico*, bem como na inter-relação do plano *microscópico* com os outros, é aconselhável a complementação da metodologia usada com programas de visualização molecular ou de descrição do comportamento microscópico da matéria.

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 um questionário de auto-avaliação dos estudantes e avaliação da efetividade de uso da metodologia. Os resultados são apresentados no quadro 7. 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.

Quadro 7: Resultados do questionário de validade da metodologia adotada.

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

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

Conclusões

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.

Os resultados obtidos apontam que a metodologia apresenta resultados efetivos na aprendizagem dos alunos, principalmente no nível de representação simbólico que descreve o comportamento dos sistemas gasosos pelas relações de proporção entre as grandezas termodinâmicas macroscópicas pres-

são, volume, temperatura e quantidade de matéria, mas também no nível macroscópico propriamente dito.

O instrumento utilizado, contudo não foi capaz de produzir evoluções significativas no nível microscópico de compreensão, sendo aconselhável o uso combinado do software MODELLUS com algum outro programa que permita a abordagem microscópica dos sistemas gasosos, por exemplo aplicações de applet java⁵.

Referências

- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia Educativa: um ponto de vista cognoscitivo*. 2.ed. México, Editorial Trillas, 1983. Citado em: MOREIRA, Marco Antônio. *Aprendizaje significativo: teoria y práctica*. Madrid: Visor Dis. S. A. 2000.
- BALEN, Osvaldo; NETZ, Paulo Augusto; SER-RANO, 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.
- BALEN, Osvaldo. *Modelagem e Simulação Computacional no Estudo de Gases Ideais e Reais*. Dissertação de Mestrado. Orientador. Prof. Dr. Paulo Augusto Netz.. Canoas, 2004. Universidade Luterana do Brasil.
- 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.
- ESQUEMBRE, Francisco. Computers in Physics Education. *Computer physics communications*. Vol. 147, pp. 13-18, 2002.
- GABEL, D. L., SAMUEL, K. V., HUNN, D. Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*. N.64, pp.695-697. 1987. Citado em WU, H. K.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E. Promoting

⁵ Por exemplo, o Software INTERAGE – Experimentotec/Ludoteca IF-USP (freeware).

- 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.
- HEWSON, P. A conceptual change approach to learning science. *European journal of science education*. Vol.3(4), pp. 383-396, 1981.
- 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.
- 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.
- MORTIMER, Eduardo Fleury. *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Belo Horizonte. Editora UFMG, 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.
- 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.
- 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.
- ORLANDI, Claudia Carobin. *Um Estudo sobre a utilização de Simulações Computacionais no ensino de Equilíbrio Químico*. Dissertação de Mestrado. Orientador Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto. Canoas, 2004. Universidade Luterana do Brasil.
- PORLÁN, Rafael. *Constructivismo y escuela*. Sevilla: Díada Editora S. L., 1998. 5.ed.
- VIENNOT, L. Spontaneous Reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*. V.1, n.2, pp. 205-221, 1979.
- 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.
- 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.