

ENSINO PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA TERMODINÂMICA BÁSICA

José Luis P. B. Silva*

Yukimi H. Pregnoatto**

*Instituto de Química da UFBA - 40170-290 Salvador - BA / joseluis@ufba.br

**Instituto de Física da UFBA - 40210-340 Salvador - BA / yukimi@ufba.br

Resumo

Uma proposta de ensino da termodinâmica básica em nível universitário, fundamentada na teoria da aprendizagem significativa e no modelo de ensino de Gowin, foi implementada em condições normais de sala de aula. Os resultados mostram mudanças nas resoluções de problemas realizadas pelos alunos que evidenciam a eficácia desse ensino na facilitação da aprendizagem significativa da primeira lei da termodinâmica.

Introdução

Este trabalho teve origem na busca de soluções para dificuldades de aprendizagem da termodinâmica básica apresentadas por estudantes universitários. Entendendo que a função primordial do ensino é facilitar a aprendizagem, decidimos elaborar uma proposta de ensino que ajudasse na superação das dificuldades dos alunos.

Adotamos como marcos teóricos a teoria da aprendizagem significativa [1,2] e o modelo de ensino de Gowin [3]. Segundo a teoria da aprendizagem significativa, os conhecimentos contidos na mente de cada indivíduo são relacionados, formando um todo organizado, denominado estrutura cognitiva. A aprendizagem significativa ocorre pelo estabelecimento de relações substantivas (essenciais, não-literais) e não-arbitrárias (coordenadas) entre as informações a aprender e os conhecimentos já possuídos pelo indivíduo. Assim, a estrutura cognitiva pode ser modificada tanto em conteúdo, quanto em organização, pelo estabelecimento das novas relações que provocam alteração das relações pré-existentes.

A idéia fundamental do modelo de ensino de Gowin é a existência de uma relação que se constitui através de um fluxo de significados entre três elementos: professor, materiais educativos e aluno. Um episódio de ensino se completa quando os significados dos materiais educativos são compartilhados por professor e aluno. Nesta concepção de ensino, a partilha de significados só é possível com a participação ativa do aluno.

A facilitação da aprendizagem significativa da termodinâmica requer, então, a discussão das possíveis relações entre os conceitos termodinâmicos em situações- problema selecionadas pelo professor, segundo critérios de excelência científica e pedagógica.

Metodologia

Limitamos a implementação da proposta a uma disciplina específica, Físico-química I, que escolhemos tanto pela facilidade de atuar como professor da mesma, quanto porque ali havíamos detectado o problema de aprendizagem.

O trabalho foi desenvolvido em quatro semestres não consecutivos. Não houve processo seletivo para a composição dos grupos estudados. As turmas teóricas variaram em número, entre vinte e trinta e um alunos, que foram subdivididos em turmas práticas com até dez alunos. As turmas exibiram as características habituais: compostas por alunos dos cursos de química e engenharia química, com heterogeneidade de interesses, de conduta, de formas de expressão, de conhecimentos termodinâmicos e de motivação para o estudo do assunto.

Os conteúdos acerca dos quais investigamos a aprendizagem significativa foram restritos à primeira lei da termodinâmica e sua aplicação ao estudo de transformações em sistemas simples e fechados. No sentido de esclarecer a conceituação termodinâmica, preparamos materiais complementares à bibliografia recomendada da disciplina [4-6]. Desenvolvemos o assunto sob o ponto de vista fenomenológico e sequenciamos os conteúdos de acordo com a teoria da aprendizagem significativa, dos conceitos mais gerais aos específicos [7]. Discutimos a formalização das funções termodinâmicas em conjunto, enfatizando a similaridade do tratamento matemático [8].

Incentivamos a discussão nas aulas teóricas, que eram apenas expositivas. Modificamos o ensino nas aulas de discussão de problemas: substituímos a resolução de problemas pelo professor pela discussão das respostas dos alunos.

A aula começava com a exposição da resposta de algum aluno a dada questão. Em seguida, era solicitada a posição dos demais em relação à resposta fornecida. Cada aluno apresentava, então, suas argumentações. Com isso, o conhecimento termodinâmico dos alunos era exposto e as discordâncias eram exploradas como meios de desenvolver a crítica construtiva, a colaboração e a objetividade [9].

Algumas regras para discussão foram: justificar sempre as respostas; evitar respostas precipitadas; não dissimular: afirmar o desconhecimento, quando fosse o caso; ouvir com atenção as falas dos colegas; esperar sua vez de manifestar-se.

Encerrada a discussão de um problema, solicitávamos a outro aluno que respondesse ao seguinte, e assim por diante, para que todos pudessem vivenciar a situação de ser o iniciador do processo de discussão, expondo-se à crítica. No início das aulas os alunos mais tímidos apresentaram dificuldades de falar no grupo, porém, em geral, mudaram de atitude no decorrer do semestre, adquirindo segurança à medida que se familiarizavam com os colegas.

Foi freqüente que um grupo de alunos conseguisse apontar falhas nos argumentos dos colegas e convencê-los de seus raciocínios errados. Outras vezes fez-se necessária a intervenção do professor para clarear aspectos pouco percebidos da questão e apresentar argumentos e exemplos em favor de determinada interpretação. A primeira situação é mais desejável, porque o convencimento por um par não traz consigo a carga de autoridade que a fala do professor possui. Também porque fortalece a interação dos alunos e põe em evidência sua capacidade de argumentação, possibilitando a percepção de seu desempenho.

As aulas de discussão de problemas constituíram-se em espaço privilegiado de intercâmbio e negociação dos significados dos conceitos termodinâmicos entre alunos, professor e materiais educativos. Através delas buscamos a congruência dos significados e a consolidação do conhecimento termodinâmico dos alunos.

Se a aprendizagem consiste na aquisição de significados e no estabelecimento de relações conceituais significativas, a avaliação da aprendizagem deve buscar identificar quais relações conceituais foram construídas pelos alunos e quais significados incorporou à sua estrutura cognitiva.

Segundo a teoria da aprendizagem significativa o modo mais adequado de avaliar a aprendizagem significativa é expondo os alunos a situações novas, um tanto diferentes daquelas discutidas em aula. Entretanto, a resolução de uma questão nova requer o emprego de processos heurísticos, de modo que, mesmo com conhecimento do assunto, pode ocorrer dos alunos não conseguirem resolvê-la. O tempo de aula necessário para identificar e trabalhar as dificuldades dos alunos com novos problemas inviabilizou esse tipo de avaliação. Optamos por empregar problemas similares aos ensinados.

Durante as provas foi franqueada a consulta a qualquer tipo de material escrito levado à sala pelo aluno. Com a livre consulta pretendemos desestimular a aprendizagem mecânica de resoluções de problemas e atender à reclamação dos alunos de que haveria muitas fórmulas a memorizar.

A introdução da consulta nas provas alterou os critérios de avaliação. Como as expressões matemáticas estavam disponíveis, a avaliação deveria considerar não apenas seu emprego, mas principalmente, as razões de sua escolha. Os critérios que utilizamos podem ser agrupados em dois blocos: desenvolvimento da análise fenomenológica e desenvolvimento do formalismo.

1. Relativos ao desenvolvimento da análise fenomenológica.
 - 1.1. Pertinência dos conceitos utilizados na resposta.
 - 1.2. Correção das relações conceituais.
 - 1.3. Coerência da argumentação.
 - 1.4. Correção da linguagem, técnica e gramaticalmente.
2. Relativos ao desenvolvimento do formalismo.
 - 2.1. Adequação das equações.
 - 2.2. Correção das equações.
 - 2.3. Correção das unidades das grandezas físicas.
 - 2.4. Correção dos cálculos.

O estudo das resoluções de problemas visou identificar o raciocínio dos alunos ao aplicar a primeira lei da termodinâmica. Um raciocínio explicita relações conceituais estabelecidas na estrutura cognitiva. No caso de problemas termodinâmicos, o raciocínio deveria incluir a descrição do fenômeno e sua formulação matemática, além da parte numérica propriamente dita.

Ao comparar as respostas dadas pelos alunos a problemas no início do curso com outras obtidas ao longo do mesmo, pudemos evidenciar mudanças ocorridas em suas estruturas cognitivas devido à aprendizagem significativa.

Resoluções de problemas prévias ao ensino

No início do curso, solicitamos aos alunos resolver um problema supostamente conhecido, sobre expansão isotérmica de um gás:

Um mol de gás, inicialmente a 300K e 10atm, é expandido isotermicamente contra uma pressão de oposição constante e igual a 1atm. Calcular Q e W.

Mais da metade dos alunos (56%) respondeu a questão. Não foi possível estabelecer padrões de resolução porque cada um organizou sua resposta de modo próprio. A totalidade das respostas obtidas mostra que os alunos não sabiam explicar o raciocínio condutor da resolução do problema proposto: apresentaram apenas equações e cálculos. Eventualmente adicionaram uma ou outra frase explicativa, alguma pretensa justificativa. O entendimento das razões que os levaram a optar por aqueles procedimentos ficava a cargo do leitor.

O mesmo se dava com outros problemas que tratavam de fenômenos de mudança de estado de agregação e reação química.

Ao discutir as respostas dos problemas em sala de aula, os estudantes esclareceram que os professores não costumavam solicitar explicações no nível de profundidade que desejávamos.

As transcrições a seguir ilustram os procedimentos dos alunos.

Aluno A15

$$\begin{array}{lll}
 Q = W & PV = nRT & P_1V_1 = P_2V_2 \\
 W = P \Delta V & 10.V = 1.0,82 (300) & 10.2,46 = 1.V_2 \\
 W = 1.(24,6 - 2,46) & V = 2,46 L & V_2 = 24,6 \\
 W = 22,14 J & &
 \end{array}$$

Aluno D5

$$\begin{array}{ll}
 P_OV_O = P_FV_F & dW = (nRT/V) dV \\
 10V_o = 1V_f & W = nRT \int dV/V \\
 V_f/V_o = 10 & W = nRT \ln (V_f/V_i) \\
 dW = PdV \quad PV = nRT \quad P = nRT/V & W = 1.0,082.300.\ln 10 \\
 \text{Sistema isotérmico: } \mathbf{DU} = 0 \quad \mathbf{P} \quad \text{variação de energia interna} \\
 \mathbf{DU} = Q - W \quad \mathbf{P} \quad Q = W
 \end{array}$$

Aluno Si8

$$\begin{array}{ll}
 C_O = 1\text{mol} & \text{isotermicamente} \\
 T_O = 300K & \text{a mesma temperatura} \\
 P_O = 10\text{atm} & \\
 Q = m c \Delta T &
 \end{array}$$

Como a quantidade de calor depende da variação de temperatura, e como não se tem variação de A para B, então Q = 0.

$$\begin{array}{ll}
 PV = nRT \quad \text{Gás} & \\
 10.V = 0,082.300 & 10V = 8,2.3 \quad 10V = 24,6 \quad V @ 2,5 \\
 W = \int PdV = nRT \ln (V_f/V_i) = & \\
 \mathbf{DE} = - W & \text{Pela 1ª lei temos que a variação de energia interna é igual a quantidade} \\
 & \text{de calor menos o trabalho realizado } \mathbf{DE} = \mathbf{DQ} - \mathbf{DW} . \text{ Como } Q \text{ é igual a} \\
 & \text{zero, portanto temos que } \mathbf{DE} = - W.
 \end{array}$$

Aluno Ar8

$$\begin{array}{ll}
 \text{Estado inicial do sistema} & \text{Estado final do sistema} \\
 T_1 = \text{temperatura inicial} = 300K \quad T = K \quad \text{®} & T_2 = T_1 = 300K \\
 P_1 = \text{pressão inicial do sistema} = 10\text{atm} \quad \text{-----} & P_2 = \text{pressão final} = ? \\
 N = \text{número de moles} = 1\text{mol} & V_2 = nRT/P_2 = 24,6L
 \end{array}$$

$P_{ext} = \text{pressão externa} = 1 \text{ atm}$

$V_1 = ?$ P $V_1 = nRT_1 / P_1 = 1.0,082.300/10 = 2,5L$ $P_2 = P_{ext}$

Varição de energia interna:

$DE = Q - W$, como o processo é isotérmico $Q = 0$ então $DE = -W$, porém $dW = P_{ext} dV$

Em uma parcela significativa das respostas foi considerado que não houve variação de energia interna do sistema. Os alunos escreveram simplesmente $DU = 0$ ou fizeram relação com a constância de temperatura através de expressões como:

- Num processo isotérmico a energia interna não varia, logo $DU = Q - W = 0$
- $DU = 0$ @ processo isotérmico
- Isotermicamente: $\Delta U = 0$

Somente um aluno usou a expressão $DU = C_v DT$ para basear sua afirmativa de que $DU = 0$. Durante as aulas outros alunos manifestaram conhecer a mesma equação mas, não sabiam sua origem. Tratava-se de uma fórmula apropriada para cálculos, cujo significado ignoravam.

Outros consideraram $Q = 0$. As tentativas de justificar esta afirmativa foram feitas relacionando temperatura constante com troca de calor nula, expressa de modo semelhante à relação entre variação de energia interna e temperatura.

Portanto, na absoluta maioria dos casos não foi apresentada qualquer argumentação em favor das relações entre temperatura e calor ou temperatura e variação de energia interna. Acreditamos que essas associações tenham sido fruto de aprendizagem mecânica devido à carência de substância exibida.

Dois alunos empregaram $Q = m c DT$ como justificativa para $Q = 0$. Mesmo no âmbito da teoria do calórico, a qual pertence a equação, a justificativa está incorreta. Seu emprego pelos alunos demonstra o desconhecimento acerca das interações sistema/vizinhança durante os processos isotérmicos, pois a garantia da manutenção do valor da temperatura é a possibilidade da troca de calor.

Esse desconhecimento se estendeu a todos os alunos. Quando questionados a respeito de como realizar em laboratório um processo isotérmico, a resposta mais freqüente que obtivemos foi: *mantendo a temperatura constante*. Como fazê-lo, não sabiam. Que princípios da termodinâmica estavam envolvidos, desconheciam. E no entanto, calculavam um processo isotérmico de expansão de gás. Um contra-senso que evidencia a mecanização da resolução de problemas.

Todos consideraram o gás com comportamento ideal, embora o enunciado fizesse referência apenas a “um mol de gás”, sem especificar que o mesmo seria perfeito. O fato, como pudemos descobrir, é que os alunos usaram a única equação de estado que conheciam.

Um outro aspecto notável das respostas é o emprego de duas expressões para o cálculo do trabalho, a saber:

$$W = P \Delta V$$

e

$$W = nRT \ln (V_2/V_1)$$

Não foi explicado o porque dessa ou daquela expressão. Embora muitos conhecessem a definição formal de trabalho ignoravam como aplicá-la a um processo de expansão de gás. Ao que parece, cada um usou a expressão que pode recordar.

Uma possível explicação para as respostas obtidas é a aprendizagem mecânica deste problema nas disciplinas introdutórias de física e química. Os alunos teriam memorizado apenas o procedimento matemático da resolução, sem compreender o fenômeno e as razões porque empregaram aquelas equações e não outras. Esse comportamento não é exclusivo dos nossos alunos mas, reconhecido em estudos sobre resolução de problemas [10-12].

Resoluções de problemas posteriores ao ensino

Em vista desses resultados, orientamos o ensino no sentido da elucidação das relações entre a descrição fenomenológica, textual, dos fenômenos físicos e a descrição matemática, formal, dos mesmos fenômenos. Em cada problema, iniciamos a discussão pelas interações sistema/vizinhança e a decorrente mudança de estado do sistema; discutimos procedimentos para execução do processo em laboratório; e finalmente, chegamos à descrição matemática específica para o caso em estudo a partir de equações mais gerais.

Após o ensino da primeira lei da termodinâmica, utilizamos um problema sobre expansão isotérmica e outro sobre aquecimento isobárico de gás para avaliar a aprendizagem dos alunos. O enunciado das questões foi modificado para incluir a indicação de como proceder com as equações e algumas informações a respeito do sistema. Julgamos que desse modo direcionaríamos o raciocínio dos alunos.

PROBLEMA: EXPANSÃO ISOTÉRMICA DE GÁS

Calcular Q, W, ΔU (...) para o processo indicado abaixo. Iniciar a resolução dos problemas a partir de equações gerais do tipo

$$dU = C_V dT + \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{V, n_i} - P \right] dV + \sum \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{T, V, n_k} dn_i$$

e aplicá-las aos casos particulares, simplificando-as antes de proceder os cálculos. Se for impossível calcular, deduzir as expressões simplificadas para fazê-lo e explicar a impossibilidade.

Considerar que os gases obedecem à equação PV = nRT, que as capacidades caloríficas são funções polinomiais da temperatura e que a composição é constante.

Cinco moles de CO₂(g), inicialmente a 300K e 10atm, são expandidos isotermicamente contra uma pressão de oposição constante e igual a 1atm.

A clareza das relações conceituais construídas transparece na articulação das idéias dos alunos, exemplificada pela resposta do aluno Ar8, transcrita a seguir. Para efeito de comparação, observe-se a resolução que este mesmo aluno forneceu ao problema no início do curso.

Aluno Ar8

(...) Resolução:

Estado inicial: inicialmente tem-se CO_2 em estado gasoso (g) a uma pressão de 10 atmosferas (10atm), com temperatura de 300 Kelvin (300K) com um certo volume V_1 e 5 moles de composição. A fim de se achar V_1 utilizarei a equação dos gases perfeitos, já que no enunciado da página 1 estabeleceu-se esta condição $P_1V_1 = nRT_1$, portanto $V_1 = nRT_1 / P_1$ (...), portanto o estado inicial do CO_2 será: g, 5moles, 10atm, 300K, contra uma pressão constante de 1atm, $V_1 = 12,3\text{L}$.

Estado final de CO_2 : estado de agregação gasoso, 5 moles de composição, pressão final = 1atm, V_2 desconhecido e temperatura final de 300K (pois o processo é isotérmico). Cálculo de V_2 : $V_2 = nRT_2 / P_2$ (...) Estado final: g, 1atm, 5moles, $T_2 = 300\text{K}$, $V_2 = 123,1\text{L}$.

Cálculo de ΔU : a variação de energia interna será calculada a partir da equação (9) do formulário de equações correlacionada com as equações (36) e (41) do mesmo. A expressão é a seguinte:

$$dU = C_v dT + \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{V, n_i} - P \right] dV + \sum \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{T, V, n_k} dn_i$$

Como o processo se desenvolve a temperatura e composição constante a equação se reduzirá à seguinte forma:

$$dU = \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{V, n_i} - P \right] dV$$

Como o gás é ideal $P = \frac{nRT}{V}$, portanto $\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{V, n_i} = \frac{nR}{V}$,

então $dU = \left[\frac{nRT}{V} - P \right] dV$, portanto $\Delta U = 0$.

Cálculo do trabalho: $W = \int P dV = P (V_2 - V_1)$ (...).

Como $\Delta U = 0$, pela primeira lei da termodinâmica $\Delta U = Q - W$ (expressão para um sistema fechado), então adaptando nesta situação $0 = Q - W$ $Q = W$ (...)

Ao simplificar a expressão de variação da energia interna os alunos estabeleceram correspondências entre condições de realização do processo dadas no texto do enunciado e termos da equação. Usando a equação de estado do gás ideal chegaram à conclusão que a variação de energia interna do sistema durante o processo é nula.

Este modo de resolver os problemas pressupõe a existência de uma hierarquia dos processos e das equações que os descrevem. As expressões matemáticas do tipo $U = U(T, V, n_i)$ representam processos em que podem variar composição, temperatura e volume do sistema, que são os casos mais gerais de mudança de estado e de equação das funções termodinâmicas que estudamos em nossa disciplina. Com a inclusão da orientação de iniciar a resolução dos problemas com a equação referente ao caso geral e proceder sua redução ao caso particular no enunciado da questão, pretendemos estabelecer um procedimento de diferenciação progressiva dos processos e das equações correspondentes.

A diferença entre as respostas anteriores e posteriores ao ensino é imensa. No início do curso, a invariância da energia interna foi afirmada com base na constância da temperatura do sistema (p. ex.: processo isotérmico $\rightarrow \Delta U = 0$). A relação entre energia interna e temperatura

do gás pode ser considerada como arbitrária pois, quando os alunos empregaram a equação $\Delta U = C_v \Delta T$ desconheciam seu significado como uma parcela da equação geral ou seja, a variação de energia interna quando a composição e o volume do sistema são mantidos constantes.

Após o ensino os alunos mostraram, a partir da equação geral, que num processo realizado a temperatura e a composição constantes, a energia interna é função apenas do volume. Em seguida, demonstraram que no caso particular do sistema ser constituído por gás ideal a variação de energia interna é nula. A correspondência entre os termos do enunciado e os termos da equação geral ficou clara.

O cálculo do trabalho realizado pelo sistema também apresentou mudanças em relação ao início do curso. As respostas do teste de conhecimento prévio mostraram o emprego injustificado de duas expressões $W = P \Delta V$ e $W = nRT \ln (V_2 / V_1)$. Após o ensino, quase a totalidade dos alunos empregou a equação adequada, $W = P \Delta V$. Alguns justificaram-na de modo claro

- (...) Sabemos que $dW = PdV$ pois só existe trabalho de expansão. Então, $W = \int PdV$ como a pressão externa é constante: $W = P \Delta V$ ~~P~~ $W = P \Delta V$ (...)

porém, a maioria julgou que a referência à pressão externa na expressão do trabalho, $W = P_{ex} \Delta V$, seria suficiente para justificá-la.

A quantidade de calor envolvida no processo foi considerada nula mas, em geral, determinada por intermédio do trabalho

- (...) Então, tendo em mãos DU e W é possível calcular o valor de Q utilizando:
 $DU = Q - W$ [$DU = 0$] ~~P~~ $Q = W$ (...)

A realização desses procedimentos pelos alunos constitui evidência de aprendizagem significativa facilitada por nossa proposta de ensino pois, os problemas resolvidos apresentados em livros-textos de termodinâmica, sejam de física ou físico-química, não exibem a mesma linha de resolução e o mesmo nível de detalhe das respostas dos alunos.

As respostas dos alunos ao problema sobre aquecimento isobárico de gás também evidenciaram aprendizagem significativa da termodinâmica (note-se resposta do aluno Si8 prévia ao ensino). A questão foi aplicada na mesma avaliação que o problema sobre expansão isotérmica de gás discutido acima. Usamos um só enunciado básico, substituindo a especificação do processo.

PROBLEMA: AQUECIMENTO ISOBÁRICO DE GÁS

Calcular Q, W, ΔU (...) para o processo indicado abaixo. Iniciar a resolução dos problemas a partir de equações gerais do tipo

$$dU = C_v dT + \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{V, n_i} - P \right] dV + \sum \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{T, V, n_k} dn_i$$

e aplicá-las aos casos particulares, simplificando-as antes de proceder aos cálculos. Se for impossível calcular, deduzir as expressões simplificadas para fazê-lo e explicar a impossibilidade.

Considerar que os gases obedecem à equação $PV = nRT$, que as capacidades caloríficas são funções polinomiais da temperatura e que a composição é constante. Um mol de N_2 é aquecido isobaricamente (1atm) de 298 a 400K.

Aluno Si8

Pressão constante.

Para determinarmos as condições iniciais e finais do sistema, podemos utilizar $PV = nRT$, pois o gás é ideal.

Iniciais

$$P_1 = 1atm$$

$$T_1 = 298K$$

$$V_1 = 24,44L$$

$$n = 1mol$$

$$P_1V_1 = nRT_1$$

$$V_1 = (...)$$

$$P_2V_2 = nRT_2$$

$$V_2 = (...)$$

Finais

Sendo o sistema isobárico a pressão final é igual a inicial

$$P_2 = 1atm$$

$$T_2 = 400K$$

$$n_2 = n_1 = 1mol$$

$$V_2 = 32,8L$$

W: $\delta W = \delta PdV$; P é constante então sai da integral $W = P \delta dV = P (V_2 - V_1) = (...)$

O trabalho é positivo, pois a variação de volume foi positiva.

$$dH = C_p dT + \left[V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{P, n_i} \right] dP + \sum \left(\frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{P, T, n_j} dn_i$$

Como a composição é constante

$$\sum \left(\frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{P, T, n_j} dn_i = 0$$

O sistema é isobárico, então não teremos variação de pressão. Com isso,

$$\left[V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{P, n_i} \right] dP = 0$$

Ficando $dH = C_p dT$. (...)

$$H = U + PV (...)$$

O processo é isobárico e não temos variação de pressão. Então $VDP = 0$

$$DH = DU + PDV \quad PDV = W \quad (...)$$

$$DU = (...) \quad Q = DU + W = DH \quad (...)$$

A maioria dos alunos (cerca de 70%) respondeu a estas duas questões explicando as diversas etapas de sua resolução.

Conclusão

Os alunos demonstraram aprendizagem significativa da termodinâmica ao explicitar claramente novas relações conceituais através de discussões das interações sistema/vizinhança e mudanças de estado dos sistemas nas resoluções de problemas. Estabeleceram, também, a correspondência entre as descrições textual e matemática dos fenômenos físicos de modo claro. Em suma, os alunos expuseram o raciocínio empregado na resolução dos problemas que lhes foram propostos, de modo semelhante ao que foi discutido em sala de aula.

Claro está que as relações conceituais exibidas pelos alunos foram aprendidas durante o curso, porque não haviam sido identificadas previamente ao ensino. A evidência de que a

aprendizagem significativa da termodinâmica foi facilitada pelo ensino está na congruência de significados entre os conhecimentos demonstrados pelos alunos e os conhecimentos levados à discussão em sala de aula pelo professor.

Referências

[1] AUSUBEL, David P., NOVAK, Joseph D., HANESIAN, Helen. *Psicologia Educacional*. Tradução por Eva Nick et al. Rio de Janeiro : Interamericana, 1980.

[²] MOREIRA, Marco Antonio. *Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física*. Porto alegre : EDUFRGS, 1983.

[3] GOWIN, D. Bob. *Educating*. Ithaca, NY : Cornell University Press, 1981.

[4] SILVA, José Luis P. B. Emprego de modelos no ensino da físico-química. *Anais do 3º Encontro de Química do Nordeste*. Salvador : SBQ/UFBA/UNEB, 1987. p. 90.

[⁵] SILVA, José Luis P. B. Emprego de modelos no ensino da físico-química. II . *5º Encontro Nacional de Ensino de Química*. Porto Alegre - RS, 1990. Livro de resumos, p. 10.

[⁶] SILVA, José Luis P. B. Variações isotérmicas das funções termodinâmicas de fases condensadas. *5º Encontro Nacional de Ensino de Química*. Porto Alegre - RS, 1990. Livro de resumos, p. 9.

[⁷] SILVA, José Luis P. B. Mapeamento conceitual e ensino da termodinâmica. *7º Encontro Nacional de Ensino de Química*. Belo Horizonte - MG, 1994.

[8] SILVA, José Luis P. B. Roteiro para estudo da termodinâmica de sistemas unicomponentes. *Anais do 4º Encontro de Química do Nordeste*. Aracaju : SBQ/UFS, 1989. p. 56.

[⁹]CASTANHO, Maria Eugênia L. M. Da discussão e do debate nasce a rebeldia. In: VEIGA, I. P. A. *Técnicas de ensino: por que não?* Campinas, SP : Papirus, 1993. p. 89-101.

[¹⁰] LYTHCOTT, Jean. Problem Solving and requisite knowledge in chemistry. *Journal of Chemical Education*, v.67, p.248-252, 1990.

[11] SAWREY, Barbara A. Concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, v.67, p.253-254, 1990.

[12] PICKERING, Miles. Further studies on concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, v.67, p.254-255, 1990.