

Pesquisa em Ensino de Física

Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica

(Possible tokens of operational invariants presented by students regarding concepts of thermodynamics)

Edi Terezinha de Oliveira Grings¹, Concesa Caballero² e Marco Antonio Moreira³

¹Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo, RS, Brasil

²Departamento de Física, Faculdade de Ciências, UBU, Burgos, Espanha

³Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido em 6/1/2006; Aceito em 12/7/2006

Este trabalho apresenta os primeiros resultados de uma pesquisa cujo objetivo é investigar dificuldades na aprendizagem de conceitos da termodinâmica, apresentadas por estudantes do ensino médio e técnico, que podem servir de indicadores para futuras investigações sobre os chamados invariantes operatórios de Vergnaud. Tais invariantes normalmente implícitos na estrutura cognitiva dos estudantes podem servir como obstáculo à aprendizagem de conceitos. A pesquisa foi realizada com 99 estudantes da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em Novo Hamburgo, RS, Brasil e nela fez-se uso de um instrumento envolvendo situações a respeito de conteúdos da termodinâmica que foram respondidas pelos estudantes. Encontraram-se, nas respostas dos estudantes, indicadores de possíveis invariantes operatórios.

Palavras-chave: conceitos termodinâmicos, invariantes operatórios, campos conceituais.

This paper presents preliminary findings of a research study designed to investigate some difficulties presented by technical and high school students, regarding thermodynamical concepts, that might be indicators for future studies concerning the so-called Vergnaud's operational invariants. Those invariants which are usually implicit in students' cognitive structure might function as obstacles to concept learning. The study was carried out with 99 students from Liberato Salzano Vieira da Cunha Technical School, in Novo Hamburgo, RS, Brazil. Students' answers to a questionnaire involving thermodynamical problem-situations were analysed and some possible indicators of operational invariants were found.

Keywords: thermodynamical concepts, operational invariants, conceptual fields.

1. Introdução

Este trabalho mostra os resultados iniciais de uma investigação que faz parte de um projeto mais amplo, cuja finalidade é descrever e analisar dificuldades apresentadas por alunos do ensino médio na aprendizagem de conceitos da termodinâmica (calor, temperatura, trabalho, energia e entropia). Dentre essas dificuldades pretende-se inferir indicadores para pesquisar conhecimentos implícitos que poderiam ser considerados como invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) utilizados pelos alunos ao abordar situações propostas referentes a esses conceitos.

Acredita-se que a exposição dos estudantes a distintas situações e a identificação de suas dificuldades mediante a explicitação de aspectos de sua estrutura cognitiva permite identificar, nessas dificuldades, indicadores de invariantes operatórios implícitos nessa

estrutura que podem atuar como obstáculo à conceitualização. Os significados dos conceitos de temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia, implícitos na estrutura cognitiva dos estudantes, quando explicitados, podem apresentar invariantes operatórios que podem estar de acordo com as concepções aceitas pela comunidade científica ou não. Contudo, a identificação de tais invariantes requer novas e mais profundas pesquisas. Nesta, trabalhar-se-á apenas com possíveis indicadores.

Em um estudo anterior, Silveira e Moreira [1] comentam que os conceitos de calor, temperatura, energia interna e entropia são os conceitos-chave da termodinâmica. Moreira [2] exemplifica os conceitos da terminologia como integrantes de um dos campos conceituais da Física que não podem, então, ser ensinados como conceitos isolados. A termodinâmica junto com seus conceitos-chave, forma um campo conceitual mais

¹E-mail: moreira@if.ufrgs.br.

abrangente.

Para Vergnaud, um teórico neopiagetiano, o núcleo do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização [3]. A evolução da cognição pressupõe a aprendizagem significativa de conceitos, ou seja, aquela em que os significados resultam da interação dos novos conhecimentos com outros especificamente relevantes já existentes na estrutura cognitiva, os quais, por sua vez ficam mais ricos, mais elaborados e mais estáveis. A conceitualização tem conseqüências no desenvolvimento cognitivo e permite explorar vínculos entre a estrutura cognitiva humana e a estrutura dos conceitos.

Os conceitos não devem ser definidos só por sua estrutura, é necessário considerar também as propriedades, as situações nas quais se usam os conceitos e as representações simbólicas que as pessoas empregam para pensar e escrever acerca de um conceito, isto é, a conceitualização está regulada pela interação entre a informação contida nas situações e a estrutura cognitiva da pessoa.

Para Vergnaud, os conhecimentos prévios são precursores dos novos conhecimentos; os conhecimentos-em-ação (largamente implícitos) podem evoluir, ao longo do tempo, para conhecimentos científicos explícitos. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud destaca que a aquisição de conhecimento é moldada pelas situações e problemas previamente dominados e que esse conhecimento tem, portanto, muitas características contextuais. Muitas das concepções vêm das primeiras situações que o sujeito foi capaz de dominar. No entanto, existe uma lacuna considerável entre os invariantes que os sujeitos constroem ao interagir com o meio e os invariantes que constituem o conhecimento científico [2].

As concepções prévias dos alunos contêm teoremas e conceitos-em-ação que não são verdadeiros teoremas e conceitos científicos, mas que podem evoluir para eles, porém o hiato entre os invariantes operatórios dos alunos e os conhecimentos científicos é grande [2]. As dificuldades dos alunos na aquisição de conceitos podem estar fundamentadas no fato de os conhecimentos-em-ação, por muito tempo implícitos, poderem funcionar também como obstáculos ou como antecedentes à aquisição de conceitos científicos [4].

Dessa forma, pode-se constatar que a construção do conhecimento não é um processo linear, ao contrário, apresenta avanços e retrocessos, continuidades e rupturas. O conhecimento prévio é determinante no progressivo domínio de um campo conceitual, mas pode também, em alguns casos, ser impeditivo. É necessário identificar sobre quais conhecimentos prévios a pessoa pode se apoiar para aprender, mas é forçoso, também, distinguir quais as rupturas necessárias [2]. Assim, é muito importante que os conhecimentos prévios dos estudantes sejam considerados no processo ensino-aprendizagem.

Os conceitos não se desenvolvem sós, mas adquirem

significados através das relações que estabelecem com outros conceitos (Novak e Gowin apud [5]). O domínio de um campo conceitual não se faz em alguns meses, mas em alguns anos (Vergnaud, apud [5]). Dessa maneira, o processo de ensino não é um processo imediato, os significados dos conceitos dos alunos vão se transformando em significados científicos, frente a muitas situações e ao longo de um largo período de tempo.

Quando um estudante depara-se com situações que dão sentido ao conceito, essa informação entra em interação com a estrutura dos conhecimentos-em-ação dos esquemas que cada estudante dispõe. Assim, suas respostas serão uma aproximação de sua estrutura conceitual e variarão de acordo com seu nível de desenvolvimento conceitual.

Entendendo, como Vergnaud, que a conceitualização é a essência do desenvolvimento cognitivo, esse projeto pretende investigar quais são as dificuldades dos alunos em conceitos da termodinâmica e se essas dificuldades podem ser indicadoras de conhecimentos implícitos que poderiam ser caracterizados como os invariantes operatórios de Vergnaud que, muitas vezes, se tornam obstáculos à conceitualização.

2. Referencial teórico

2.1. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud

A teoria dos campos conceituais retoma os estudos de Vygotsky sobre pensamento e linguagem e herda o conceito de esquema de Piaget. Tal teoria estuda a evolução dos conceitos cotidianos para os conceitos científicos. O ser humano quando enfrenta a realidade, interpreta-a por meio de seus significados e suas representações. O ensino e a aprendizagem de ciências buscam aproximar esses significados e representações daqueles compartilhados pela comunidade científica.

Para Vergnaud, o conhecimento está organizado em campos conceituais. O sujeito se apropria destes campos conceituais ao longo de muito tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem. Ele define campo conceitual como um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente relacionados durante o processo de aquisição.

A teoria dos campos conceituais considera a conceitualização o fator mais importante do desenvolvimento cognitivo. É uma teoria psicológica do conceito que permite situar as filiações e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual. Analisa as relações entre os conceitos, enquanto conhecimento explícito, e os invariantes operatórios implícitos nos comportamentos do sujeito em determinadas situações [6]. Os conceitos de campo conceitual, conceito, situações, esquema (herança piagetiana), invari-

ante operatório (teorema-em-ação ou conceito-em-ação) são a espinha dorsal da teoria de Vergnaud.

2.2. Campos conceituais

Campos conceituais são definidos como um conjunto de situações, cujo domínio requer o manejo simultâneo de conceitos, procedimentos e representações de natureza distinta [7]. Um campo conceitual pode ser uma unidade de estudo, cujas situações, conceitos e procedimentos podem ser tratados de forma independente de outros conjuntos [8]. Um campo conceitual é um conjunto de conteúdos, mas não somente de conteúdos que estão fortemente interligados entre si, e sim que podem estar relacionados com outros campos conceituais.

2.3. Conceitos

Na teoria dos campos conceituais um conceito não pode ser reduzido à sua definição. É através das situações e dos problemas a resolver que um conceito adquire sentido. Vergnaud define os conceitos a partir de três conjuntos: i) (*S*) um conjunto das situações que dão sentido ao conceito (referente); ii) (*I*) um conjunto de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) em que se baseia a operacionalidade do conceito (significado); iii) (*R*) um conjunto de formas de linguagem (ou não) que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento (significante) [6]. Assim, conceito só pode ser definido a partir de situações que estão relacionadas às representações simbólicas através do conjunto de invariantes operatórios.

2.4. Situações

O conceito de situação não é o de situação didática, mas sim o de tarefa, de tal forma que toda situação complexa pode ser vista como um conjunto de tarefas, as quais apresentam dificuldades próprias, que são importantes conhecer. Apesar de o desempenho em cada sub-tarefa interferir na tarefa, a dificuldade nesta, não é necessariamente o resultado das dificuldades em todas as sub-tarefas. A idéia de campo conceitual levou ao conceito de conceito como sendo definido através do referente, do significado e do significante, mas são as situações que dão sentido ao conceito [2]. O desenvolvimento cognitivo ocorre, quando o estudante é submetido a distintas situações e as domina progressivamente. Assim, as situações propostas são fundamentais no processo de aprendizagem.

Distinguem-se duas classes de situações: a) aquelas em que o sujeito em um dado momento de seu desenvolvimento e sob certas circunstâncias dispõe, no seu repertório, das competências necessárias ao tratamento imediato da situação; b) aquelas em que o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, o que o obriga a um tempo de reflexão e exploração,

a hesitações, a tentativas frustradas, levando-o, eventualmente, ao sucesso ou ao fracasso [6]. Assim, para as primeiras situações, o sujeito já dispõe do esquema necessário para resolvê-las e observa-se um comportamento amplamente automatizado; nas segundas, é necessário a testagem de vários esquemas até encontrar, ou não, o esquema apropriado.

2.5. Esquemas

Para Vergnaud [6], *esquema é uma organização invariante do comportamento para uma classe de situações dada. É nos esquemas que estão os conhecimentos-em-ação do sujeito, isto é, os elementos cognitivos que fazem com que a ação do sujeito seja operatória.* Um esquema deve ser eficiente para uma gama de situações e pode gerar diferentes seqüências de ação, de coleta de informações e de controle, dependendo das características de cada situação em particular.

Esquema é um conceito introduzido por Piaget para dar conta de formas de organização, tanto das habilidades sensório-motoras como das habilidades intelectuais. Os esquemas referem-se a situações em que o sujeito tem condições de dar conta imediatamente ou situações em que o sujeito necessita de um tempo para reflexão, para solucionar, ou não, a situação.

O funcionamento cognitivo dos estudantes envolve operações que se automatizam progressivamente. A automatização não impede que o sujeito conserve o controle sob tais operações. Todos os comportamentos abrangem uma parte automatizada e outra de decisão consciente. Essas operações fazem parte da busca dos esquemas. Os esquemas são, em geral, eficazes, mas nem sempre efetivos (capazes de chegar a bom termo após um número finito de passos). Quando o sujeito utiliza um esquema ineficaz para determinada situação, a experiência leva-o a mudar de esquema ou mudar o esquema. Os esquemas estão no centro do processo de adaptação das estruturas cognitivas [6]. É através da utilização e da mudança de esquemas que se processa o desenvolvimento cognitivo.

Um esquema apóia-se sempre numa conceitualização implícita. Há muito de implícito nos esquemas [6]. O desenvolvimento cognitivo, do qual a conceitualização é o núcleo, consiste no desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas. Os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação são os conhecimentos contidos nos esquemas que podem ser designados pela expressão mais abrangente “invariantes operatórios”.

Os esquemas permitem gerar diferentes seqüências de ações e tomadas de informação e são constituídos dos seguintes elementos: a) *invariantes de diferentes níveis*; b) *inferências*; c) *regras de ação*; d) *expectativas e antecipações* [9]. Os invariantes operatórios administram o reconhecimento pelo sujeito dos elementos pertinentes à situação e à apreensão da informação a tratar. As inferências permitem calcular as regras e as antecipações

a partir das informações e do sistema de invariantes operatórios de que dispõe o sujeito. As regras de ação permitem gerar as seqüências de ação do sujeito, e as antecipações prever os objetivos a alcançar e as eventuais etapas intermediárias [10].

Um esquema dirige-se sempre a uma classe de situações nas quais o sujeito pode descobrir uma possível finalidade de sua atividade, seus objetivos também podem esperar certos efeitos ou certos fenômenos. As regras de ação formam a parte geradora dos esquemas, a transformação da ação no real, e dos controles e resultados que permitem garantir o êxito da atividade em um contexto que pode estar em constante evolução. Os invariantes operatórios constituem a base conceitual implícita, ou explícita, que permite obter informações pertinentes e inferir, a partir dessa informação e dos objetivos a alcançar, as regras de ação mais pertinentes. Um esquema necessariamente comporta várias possibilidades de inferência.

O conhecimento contido nos esquemas é essencialmente implícito, e o aprendiz tem dificuldade em explicitá-lo ou expressá-lo, mas isto não significa que tal conhecimento não possa ser explicitado. É através do processo de explicitação do conhecimento que os teoremas e conceitos-em-ação podem se converter em verdadeiros teoremas e conceitos científicos [7].

2.6. Invariantes operatórios

Os conhecimentos contidos em um esquema são denominados conceitos-em-ação e teoremas-em-ação. Esses também podem ser chamados pela expressão mais abrangente, invariantes operatórios. Esquema é o que há de invariante na organização da conduta frente a uma certa classe de situações, teoremas-em-ação e conceitos-em-ação são invariantes operacionais, logo são componentes essenciais dos esquemas e determinam as diferenças entre eles.

Teorema-em-ação é uma proposição tida como verdadeira sobre o real. Conceito-em-ação é um objeto, um predicado, ou uma categoria de pensamento tida como pertinente, relevante a uma dada situação. Há uma relação dialética entre conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, uma vez que conceitos são ingredientes de teoremas, e teoremas são propriedades que dão aos conceitos seus conteúdos.

Conceitos e teoremas explícitos são uma pequena parte da conceitualização; sem a parte implícita formada pelos invariantes operatórios, a parte explícita não teria significado. Da mesma forma, não há como falar dos invariantes operatórios sem a contribuição do conhecimento explícito. Os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem, progressivamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos. O conhecimento explícito pode ser comunicado a outros e discutido, o conhecimento implícito não [2].

Assim, o conhecimento está organizado em campos

conceituais. Campos conceituais são grandes conjuntos de situações, cujo progressivo domínio requer o conhecimento de vários conceitos. Por sua vez, os conceitos são constituídos por conjuntos de situações, conjuntos de invariantes operatórios e conjuntos de representações simbólicas. Um conceito só tem significado através de uma variedade de situações. Os esquemas ou as ações e sua organização, quando acionados pelo sujeito, dão significados a uma situação para este indivíduo.

3. Materiais e métodos

A partir de questionários respondidos pelos professores de Física da Fundação Liberato sobre as dificuldades já identificadas por eles nos alunos, foi elaborado um instrumento para detectar significados, dificuldades e indicadores de possíveis invariantes operatórios apresentados no campo conceitual da termodinâmica, na conceitualização de temperatura, calor, trabalho, energia interna e entropia, por estudantes do nível médio e técnico.

O instrumento elaborado consta de quatro questões, cada uma delas com um número variável de itens de resposta aberta, totalizando 22 itens. A questão um foi subdividida em cinco itens e interroga sobre os significados atribuídos pelos estudantes aos conceitos de calor, temperatura, trabalho, energia interna e temperatura. A questão dois, subdividida em quatro itens, indaga sobre as relações existentes entre tais conceitos.

A questão três envolve sete situações que visam buscar dificuldades apresentadas pelos estudantes e inferir indicadores de possíveis invariantes operatórios envolvidos. O item 3.1, mostra através de um gráfico, as temperaturas registradas por dois termômetros ($^{\circ}\text{C}$ e $^{\circ}\text{X}$) e pergunta a temperatura da ebulição da água em $^{\circ}\text{X}$. Os itens 3.2 a 3.7 indagam, respectivamente, sobre: o aumento de temperatura sofrido, quando um volume maior de água é submetido à mesma fonte; os processos de transferência de calor em corpos de diferentes temperaturas; a energia interna da água no estado sólido e líquido na temperatura de 0°C ; as trocas de energia ocorridas entre um sistema e sua vizinhança; a entropia num processo irreversível; e a possibilidade de um gás receber calor sem sofrer variação de temperatura.

A questão quatro, subdividida em seis itens, é representada pelo resfriamento e aquecimento de uma xícara de café e questiona sobre os processos, as causas e as leis que explicam tais acontecimentos. Ela procura identificar os conceitos que os estudantes usam para solucioná-la e verificar se os mesmos fazem referência ao conceito de entropia, uma vez que a maioria dos professores comenta que esse conteúdo não é trabalhado no Ensino Médio.

Um instrumento (teste, questionário) possui validade de conteúdo se os itens que o constituem são representativos do universo que ele pretende representar. A validade de conteúdo é estabelecida através de uma

análise do instrumento e do confronto dos itens com os pressupostos (teoria) que lhe deram origem. Muitas vezes, se recorre ao julgamento de diversos juízes (especialista no conteúdo do instrumento) procurando-se um consenso intersubjetivo [11]. No caso em pauta, o instrumento foi elaborado pelo primeiro autor e os outros dois atuaram como juízes; além disso, um especialista externo foi também consultado. Assim, podemos dizer que o questionário foi validado por três especialistas.

Para se observar a correlação entre duas variáveis, cada uma deve se correlacionar consigo mesma. A autocorrelação é denominada coeficiente de fidedignidade. Uma maneira de determinar o coeficiente de fidedignidade é o método da consistência interna que é aplicável a instrumentos constituídos por diversos itens; a resposta a cada um dos itens deve ser indicadora do construto a ser medido. Neste tipo de instrumento, cada item gera um único escore para um indivíduo particular; os escores de cada item são somados, obtendo-se um escore total para o indivíduo. Este escore total, supostamente, constitui-se numa medida de conhecimento (construto), e é uma variável compósita, tendo componentes que são os escores nos itens. Os métodos de consistência interna são apropriados para as variáveis compósitas e têm como objetivo não apenas estimar o coeficiente de fidedignidade do compósito, mas também identificar itens que não devem ser mantidos neste compósito. A eliminação destes itens terá como conseqüência o aumento do coeficiente de fidedignidade do compósito. A construção de um compósito tem como pressuposto a homogeneidade dos componentes, ou seja, os itens devem ser indicadores do mesmo construto [11]. O instrumento elaborado para esta pesquisa possui 22 itens, que podem assumir 4 valores (1, 2, 3, 4), portanto o escore total poderia ser no máximo 88 e no mínimo 22. O escore um significa, não respondeu; o dois, questão incorreta; o três, parcialmente correta; e o 4, correta. Inicialmente o instrumento foi aplicado em uma amostra de 28 estudantes, e o coeficiente de fidedignidade foi estimado através do coeficiente alfa de Cronbach (apud [11]).

A forma de depurar um instrumento, identificando os itens “ruins”, pode ser conduzida a partir do cálculo dos coeficientes de correlação de cada item com o escore total (coeficiente de correlação item-total). Os itens que apresentam correlações mais baixas ou negativas com o escore total deverão ser eliminados ou revisados [11]. No instrumento elaborado para essa pesquisa, os itens 2.1 e 3.7 foram eliminados por apresentarem coeficiente de correlação item-total zero e negativo. Inicialmente o coeficiente de fidedignidade foi estimado em 0,71; com a eliminação dos itens 2.1 e 3.7, houve um incremento na estimativa da fidedignidade passando a 0,75.

Finalmente, o instrumento, com 20 itens, foi aplicado, em uma amostra de 99 estudantes da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, da 4ª série dos cursos de Eletrotécnica (27 estudantes),

Eletrônica (21 estudantes), Mecânica (24 estudantes) e da 3ª série do curso de Química (27 estudantes). Todos já haviam estudado os conteúdos da termodinâmica com distintos professores. Foi escolhida aleatoriamente uma das quatro turmas de cada série para responder o questionário que foi aplicado a todos os alunos presentes. Para escolha da série utilizou-se como critério o fato de os alunos terem estudado termodinâmica no ano anterior, 3ª série do curso de Eletrotécnica, Mecânica e Eletrônica e na 2ª série do curso de Química. Assim, a pesquisa foi feita numa turma do último ano do ensino médio e nas demais que já haviam concluído esse grau de ensino, estando cursando somente o ensino técnico. A idade dos estudantes variou de 16 a 20 anos, sendo 18 do sexo feminino e 81 do sexo masculino.

A Tabela 1 mostra os coeficientes de correlação item-total (r_{iT}) do teste final, sendo que houve mais um incremento no coeficiente de fidedignidade, cujo valor ficou em 0,82. Quando o coeficiente de fidedignidade é próximo da unidade, significa que o instrumento está sendo capaz de detectar muito bem as diferenças interindividuais no grupo investigado, portanto o resultado encontrado é aceitável.

Tabela 1 - Coeficiente de correlação item-total do teste final.

Item	r_{iT}	Item	r_{iT}
1.1	0,20	3.3	0,51
1.2	0,53	3.4	0,47
1.3	0,71	3.5	0,42
1.4	0,22	3.6	0,33
1.5	0,27	4.1	0,74
2.2	0,59	4.2	0,72
2.3	0,36	4.3	0,67
2.4	0,44	4.4	0,75
3.1	0,28	4.5	0,65
3.2	0,31	4.6	0,60

As respostas dos estudantes foram organizadas em tabelas utilizadas para análise.

4. Resultados e discussão

O escore total dos estudantes foi determinado para avaliar a fidedignidade do instrumento, mas para o objetivo deste trabalho o que interessa são as respostas dadas aos vários itens individualmente. Para análise das situações propostas aos estudantes, optou-se então por transcrever aquelas questões onde se acredita que indicadores de possíveis invariantes operatórios estavam presentes. Na seqüência, estão transcritas respostas de distintos estudantes e salientam-se indicadores de possíveis invariantes operatórios que a partir das respostas dos estudantes, foram inferidos. Alguns já se aproximam do conhecimento científico e outros não, e podem estar servindo como obstáculo à aprendizagem de conceitos.

Questão 1.1: O que você entende por temperatura? Resposta 1: *variação do quente para o frio e vice-versa*. Aqui se pode inferir o seguinte indicador de

possível teorema-em-ato: “a temperatura é a variação de um estado quente para um estado frio”. Resposta 2: *temperatura é a variação de calor no tempo*. Indicador de teorema-em-ato: “a temperatura é a variação do calor”, ou “ $T = \Delta Q$ ”.

As respostas destes alunos mostram que eles relacionam a temperatura com uma variação de “calor”, que pode estar servindo como obstáculo à nova aprendizagem. As palavras de Vergnaud [12] salientam que “quando se aprende alguma coisa nova, temos de nos apoiar em conhecimentos anteriores, embora, às vezes, eles se tornem obstáculos para novos conhecimentos”. Ausubel [13] diz o mesmo em relação à aprendizagem subordinada. O fato de os estudantes eventualmente apresentarem o teorema-em-ato a temperatura é a variação do calor, “conduziria a erros” se estes fossem submetidos a situações que envolvem temperatura e calor.

Questão 2.2 sobre os conceitos de calor, energia interna e trabalho: Explique de que forma você relacionaria os conceitos calor, energia interna e trabalho. Resposta 1: *quando alguém realiza algum trabalho, este corpo libera energia interna através de calor*. Possível indicador de teorema-em-ato: “na realização de trabalho há liberação de calor”. A resposta 2 pode também levar a outro possível indicador de teorema-em-ato: *Calor \cong energia interna \cong trabalho*². Possível indicador de teorema-em-ato: “o calor implica ou é igual à energia interna, que implica ou é igual ao trabalho”.

Os possíveis indicadores de teoremas-em-ato apresentados pelos estudantes sugerem que eles entendem que há relação entre os conceitos, mas essa relação é incompleta, pois desconsideram outras situações como, por exemplo, um sistema poder receber calor e realizar trabalho, ou seja, há muitas formas de relacionar calor, energia interna e trabalho. O estudante tem pouco domínio desta parte do campo conceitual da termodinâmica. Tal fato também está de acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud, pois, para ele, o domínio de um campo conceitual leva muito tempo; aprender e desenvolver competências, no sentido de dar conta de situações-problema, é progressivo e demorado.

Questão 3.1: o gráfico mostra a relação entre as temperaturas que são registradas por dois termômetros, um em escala °C (Celsius) e outro em °X, quando a pressão é 1 atm. Essa relação mantém-se para temperaturas entre -50 °C e 200 °C. Para que temperatura °X ocorre a ebulição da água a 1 atm [14]?

Resposta:

Usando uma “regra de 3” simples.

X_{eb} – 100 °C

100 °X – 45 °C

² O sinal \cong foi utilizado pelo aluno na resposta da questão 2.2.

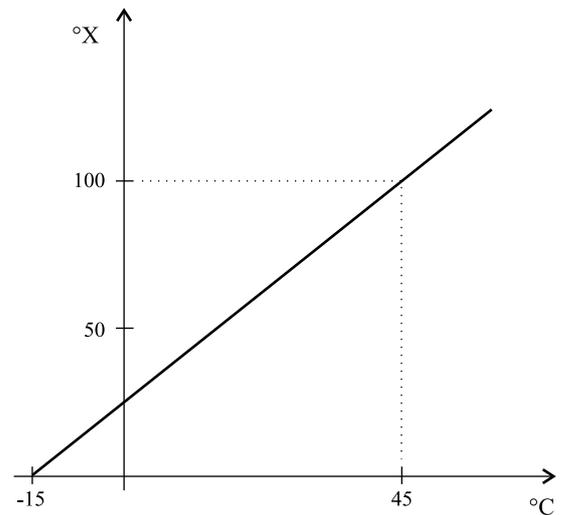


Figura 1 - Temperatura em dois termômetros: em °X e °C.

Indicador de teorema-em-ato: a temperatura X está para 100 °C, assim como a temperatura de 100 °X está para 45 °C.

Os estudantes entendem que as temperaturas na escala X são diretamente proporcionais à escala Celsius. O invariante operatório também nesta situação serviria como obstáculo à aprendizagem.

Vergnaud [6] chama a atenção para os procedimentos utilizados pelos alunos: mais de vinte categorias de tentativas, sucessos ou fracassos para a pesquisa da quarta proporcional. O autor destaca os conceitos de fração, quociente, número racional, produto e quociente de dimensões, escalar, função linear e não-linear, combinação e aplicação linear assumem sentido, primitivamente, nos problemas de proporção e se desenvolvem como instrumento do raciocínio através do progressivo domínio dessas situações. O problema anterior é interpretado como uma proporção direta, que apesar de apresentar dificuldades é mais evidente para o estudante do que a situação apresentada.

Por isso, insiste-se que, neste estudo, busca-se apenas identificar possíveis indicadores de invariantes operatórios. Para identificar tais invariantes seriam necessárias muitas situações envolvendo cada conceito pesquisado e relações entre eles.

Questão 3.2: suponha que você aqueça 2 L de água no fogo por um certo tempo, e que sua temperatura se eleve de 4 °C. Se você colocar 4 L de água no mesmo fogo pelo mesmo tempo, em quanto se elevará a temperatura [15]? Resposta: *a temperatura elevará o dobro, ou seja, 8 °C*. Possível indicador de teorema-em-ato: “a temperatura é diretamente proporcional ao volume”.

A proporção direta é mais evidente para o estudante do que a proporção inversa, de forma que o estudante resolve o problema como uma proporção direta.

Questão 3.3: ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -10 °C

e à temperatura de 20 °C)? Explique:



Figura 2 - Corpos com temperaturas de -10 °C e 20 °C.

Nesta questão aparecem diversas respostas que sugerem possíveis indicadores de distintos invariantes operatórios (teoremas-em-ato). Resposta 1: *ocorre, pois há um diferencial de temperatura, que irá fazer com que a temperatura do bloco 20 °C baixe e a de -10 °C levante*. Da resposta do estudante pode-se inferir o seguinte indicador de invariante operatório: “a diferença de temperatura leva à diminuição da temperatura do bloco de maior temperatura e ao aumento da temperatura do bloco de menor temperatura”. Um outro estudante responde para a mesma questão. Resposta 2: *sim, porque predomina a temperatura de 20 °C*. Neste caso aparece outro possível indicador de teorema-em-ato: “ocorre transferência de calor, pois predomina uma das temperaturas”.

As duas respostas seguintes conduzem a outro indicador de teorema-em-ato. Resposta 3: *sim, o corpo A recebe calor de B até que ambos cheguem a uma temperatura de equilíbrio* (o aluno coloca A no corpo de menor temperatura). Resposta 4: *a transferência de calor ocorre entre esses dois corpos para manter um equilíbrio térmico*. O teorema-em-ato seria: “o corpo de menor temperatura recebe calor até que os corpos atinjam o equilíbrio térmico”.

Nesta questão aparece um outro indicador de invariante operatório bastante evidente, pois pode ser inferido a partir de muitas respostas as quais exemplifica-se a seguir. Resposta 5: *o corpo com 20 °C passará calor para o de -10 °C, de modo que no final temos um equilíbrio térmico (se os corpos forem colocados um ao lado do outro)*. Resposta 6: *se os corpos forem unidos, sim. O corpo de -10 °C transfere seu calor para o de 20 °C até que ocorra a estabilização da temperatura, isto é, até que as moléculas dos dois corpos estejam a mesma velocidade. Se os corpos estiverem isolados, não*. Resposta 7: *sim, sempre há trocas de calor entre dois corpos com energias internas diferentes. Os corpos têm tendência de realizar trocas de calor entre si, até que ambos fiquem com a mesma quantidade de energia, ou seja, mesma temperatura. Na figura, eu não tenho certeza se eles trocam calor, porque não estão encostados*. Resposta 8: *quando eles se encostam, o corpo de maior temperatura está com maior energia interna. Este então transfere uma determinada energia para o outro, e ambos atingem a mesma temperatura*. Resposta 9: *não, pois eles não estão encostados*. Possível indicador de teorema-em-ato: “ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados”.

Através do teorema-em-ato apareceria implícito que o aluno consideraria um único processo de transferência de calor, o processo por condução. Na resposta 6, o

estudante entende que a transferência de calor ocorre do corpo de menor temperatura para o de maior temperatura, a tendência é colocá-los em seqüência.

Questão 3.4 refere-se à energia interna em corpos em estados físicos diferentes: o que se poderia afirmar a respeito da energia interna na água a 0 °C resultante da fusão de um cubo de gelo também a 0 °C? Explique (adaptado de [16]). Resposta 1: *a energia interna é muito baixa, já que a temperatura do corpo é baixa*. Resposta 2: *a energia interna é nula*. Resposta 3: *um corpo com 0 °C não tem energia interna*. Um possível indicador de invariante operatório: “a energia interna é baixa quando a temperatura é baixa”; ou “a energia interna é nula num corpo a 0 °C”.

As seguintes respostas levam ao mesmo indicador de invariante operatório: Resposta 4: *a energia interna de ambos será a mesma*. Resposta 5: *a mesma energia interna é para ambos, pois somente estão em estados físicos diferentes*. Possível indicador de teorema-em-ato: “em corpos de mesma temperatura a energia interna é igual, independente do estado físico”.

Esse possível teorema-em-ação proporia a conservação, tão discutida por Vergnaud. Se a temperatura se conserva, como a energia interna poderia ser diferente?

Na **questão 3.5** que relaciona o trabalho com a energia interna, muitos estudantes dão o mesmo tipo de resposta que pode estar vinculada à dificuldade que eles têm com valores negativos. Quando um sistema troca energia com a sua vizinhança: se for realizado trabalho pelo sistema o que acontecerá com a energia interna do sistema? Este trabalho realizado será positivo ou negativo? Justifique sua resposta (adaptado de [17]). Muitos estudantes apresentam respostas semelhantes. Resposta 1: *perde energia interna, e conseqüentemente seu trabalho será negativo*. Resposta 2: *a energia interna diminuirá. Se este trabalho realizado for espontâneo será negativo pois o corpo perderá energia interna*. Resposta 3: *Aumentará. Será positivo*. Um indicador de teorema-em-ato mais amplo estaria relacionado às respostas dos distintos estudantes: “quando a energia interna aumenta o trabalho será positivo; ou quando a energia interna diminui o trabalho será negativo”.

Vergnaud esclarece que a experiência mostra que tanto os adolescentes de treze a dezesseis anos como os adultos têm bastante dificuldade com as combinações de relações envolvendo grandezas positivas e negativas [12]. A fala de Vergnaud também diz: “isto compete com a idéia de que quando se perde alguma coisa é preciso fazer uma subtração”. Ainda em Vergnaud [18] temos que “a adição é entendida como um incremento, e a subtração como um decréscimo”.

Na **questão 4.2**, a figura representa o aquecimento de uma xícara de café. A partir da figura, descreva uma maneira de ir de B para A [19]:

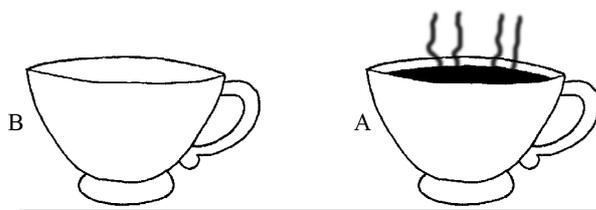


Figura 3 - Aquecimento do café.

Resposta 1: *para aquecer é necessário um corpo com maior temperatura ou uma fonte de calor.* Resposta 2: *aquecendo no fogão.* O possível indicador de teorema-em-ato que pode ser inferido desta resposta é o seguinte: “é necessário uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo”.

É interessante notar que nesta questão aparece o mesmo indicador de invariante operatório que apareceu na questão 3.3. Resposta 3: *B pode ir para A deixando-os mais próximos.* Possível indicador de teorema-em-ato: “ocorre transferência de calor quando os corpos estão próximos”.

5. Conclusão

Os resultados apresentados neste trabalho referem-se a possíveis indicadores de invariantes operatórios que apareceram nas situações propostas a estudantes do ensino médio envolvendo conceitos do campo conceitual da termodinâmica.

A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, muito utilizada em Matemática, mais uma vez mostrou-se um potente referencial teórico para a pesquisa em Ensino de Física, assim como já assinalaram Moreira [2], Greca e Moreira [8], Costa e Moreira [20], Stipcich *et al.* [21], Llancaqueo *et al.* [22], Escudero *et al.* [4], Lopes [23], Sousa e Fávero [24].

Esta teoria é importante não só para entender o domínio de um campo conceitual, mas para buscar invariantes operatórios que possam estar servindo de obstáculo à aprendizagem significativa, uma vez que tal aprendizagem é um processo onde a nova informação interage com conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva. Os invariantes operatórios, diferentemente das concepções alternativas, não são tão evidentes e podem de uma maneira sutil, mas muito potente, entrar no domínio de um campo conceitual.

Neste trabalho inferiu-se a respeito de possíveis indicadores de invariantes operatórios que estariam servindo de obstáculos cognitivos ou obstáculos epistemológicos aos alunos pesquisados, no processo de sua evolução no domínio do campo conceitual da termodinâmica.

É interessante observar que o possível indicador de invariante operatório, “quando a energia interna aumenta o trabalho será positivo; ou quando a energia interna diminui o trabalho será negativo”, apareceu em muitos alunos, evidenciando o que foi constatado

por Vergnaud a respeito da dificuldade que os estudantes têm em trabalhar com grandezas negativas. Outro possível indicador de invariante que apareceu de uma forma muito sutil em distintos alunos em questões diferentes foi: “ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados”.

Nesta pesquisa teve-se o cuidado de trabalhar com o que foi chamado de “possíveis indicadores de invariantes operatórios”, porque se tem consciência de que a identificação de invariantes operatórios (regras que o sujeito considera verdadeiras sobre a realidade e categorias de pensamento tidas como pertinentes), segundo Vergnaud não tem nada de trivial. É pouco provável que sejam identificados através de um instrumento como o utilizado, por melhor que seja sua validade e fidedignidade. Os invariantes operatórios são componentes dos esquemas e estes se aplicam a classes de situações. Seria, então, necessário propor ao sujeito várias situações de uma mesma classe para tentar perceber alguma regularidade em suas respostas que pudesse ser identificada como invariante operatório.

Arriscar-se-ia a dizer que, por exemplo, as regras “só há transferência de calor quando há contato entre os corpos”, “temperatura é a variação do calor” e “quando a energia interna aumenta o trabalho será positivo; ou quando a energia interna diminui o trabalho será negativo”, seriam invariantes operatórios evidenciados, indiretamente, nas respostas dos alunos, mas deixa-se como possibilidades a serem melhor investigadas em futuros estudos.

Por outro lado, destaca-se que, no ensino de ciência, é sempre necessário fazer com que os estudantes explicitem seus invariantes operatórios, para que possam ser discutidos, e o professor, no seu papel de mediador, possa ajudá-los a aproximarem seus significados conceituais daqueles aceitos pela comunidade científica. Para isso, é fundamental a seleção de situações-problema adequadas.

Finalmente, cabe esclarecer que embora os resultados obtidos possam lembrar os estudos sobre concepções alternativas típicos dos anos setenta e oitenta, não é feita apenas uma releitura das mesmas à luz de uma teoria neopiagetiana. Pretende-se ir além. Naquela época concepções alternativas eram detectadas e, de certa forma, catalogadas. Logo em seguida começou o movimento da mudança conceitual que, inicialmente, teve um enfoque substitutivo baseado no conflito cognitivo e posteriormente, chegou a uma abordagem evolutiva. Acredita-se que poucas pesquisas foram feitas sobre a estrutura de tais concepções e sobre o papel que elas têm na construção do conhecimento. Precisamente aí é que a idéia de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) pode representar um avanço.

Teoremas-em-ação podem, em alguns casos, parecer concepções alternativas, mas indo-se à definição - regras que o sujeito acredita que são válidas sobre a realidade - vê-se que as concepções alternativas podem

conter teoremas-em-ação. Ou seja, teoremas-em-ação são mais elementares do que concepções alternativas. Pode ser que nesse estudo tenha-se detectado indicadores de teoremas-em-ação que se assemelham a concepções alternativas, mas isso é uma decorrência do caráter preliminar da pesquisa feita. Tem-se que ir mais a fundo, pesquisar mais, para detectar invariantes operatórios que como regras de construção estão presentes, por exemplo, nos modelos mentais [8] que os sujeitos constroem para dar conta de situações novas.

Concepções alternativas são modelos estáveis enquanto modelos mentais são construídos na memória de trabalho para fazer inferências sobre situações novas. No entanto, tais modelos são construídos a partir da percepção, da informação recebida e do que o indivíduo já tem na sua estrutura cognitiva que no caso de situações novas não podem ser esquemas ou concepções alternativas porque então a situação não seria nova. Mas, então que aspectos da estrutura cognitiva seriam usados na construção de modelos mentais? Invariantes operatórios, acredita-se. E por isso mesmo crê-se que invariantes operatórios não são as conhecidas concepções alternativas, ainda que os resultados deste trabalho possam lembrá-los.

Referências

- [1] F.L. Silveira y M.A. Moreira, *Enseñanza de las Ciencias* **14**, 75 (1996).
- [2] M.A. Moreira, in *A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Investigação Nesta Área* (Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004), p. 7-32.
- [3] M.C. Caballero, *Actas del PIDEDEC* **5**, 137 (2003).
- [4] C. Escudero, M.A. Moreira y M.C. Caballero, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **2** (2003). Disponível em <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- [5] M.L.R. Palmero e M.A. Moreira, in *La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las Ciencias y la Investigación en el Área*, editado por M.A. Moreira (Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004).
- [6] G. Vergnaud, in *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, 1993, editado por L. Nasser, (Instituto de Matemática, UFRJ, 1993), p. 1-26.
- [7] C. Escudero e M.A. Moreira, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **2**, 84 (2002).
- [8] I. Greca e M.A. Moreira, in *A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Investigação Nesta Área* (Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004), p. 33-57.
- [9] G. Vergnaud, *Perspectivas* **26**, 195 (1996).
- [10] A. Franchi, in *Educação Matemática: Uma Introdução*, editado por S.D. Alcântara Machado, B. A. Silva, J.L.M. Freitas, L.C. Pais, M.C. Maranhão, R.F. Damm e S. B. C. Iglioni (EDUC, São Paulo, 1999), p. 155-195.
- [11] F.L. Silveira, in *II Escola Latino-Americana sobre Pesquisa em Ensino de Física*, Canela, Brasil, 1993.
- [12] G., Vergnaud, in *Por Que Ainda Há Quem Não Aprende?*, editado por E.P. Grossi (Editora Vozes, Petrópolis, 2003), 2.ed., p. 21-60.
- [13] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa* (Editora da UnB, Brasília, 1999).
- [14] B. Buchweitz e R. Axt, *Física 1* (Sagra-D.C. Luzzatto, Porto Alegre, 1996).
- [15] P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002), 9ª ed.
- [16] F. Ostermann e M.A. Moreira, *A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental* (Editora da Universidade, Porto Alegre, 1999).
- [17] A. Máximo e B. Alvarenga, *Curso de Física 2* (Editora Scipione, São Paulo, (1998), 2 ed.
- [18] G. Vergnaud, G. Booker, J. Confrey, S. Lerman, J. Lochhead, A. Stard, A. Sierpinska and D. Wheeler, in *Mathematics and Cognition: A Research Synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*, edited by P. Neshier and J. Kilpatrick (Cambridge University Press, Cambridge, 1990).
- [19] L. Ferracioli, e R. Castro, in *VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física* Águas de Lindóia, 2002.
- [20] S.S.C. Costa e M.A. Moreira, *Research in Science & Technological Education* **23**, 99 (2005).
- [21] M.S. Stipcich, M.A. Moreira e C. Caballero, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **3** (2004). Disponível em <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- [22] A. Llancaqueo, M.C. Caballero e M.A. Moreira, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **25**, 399 (2003).
- [23] J.B. Lopes, *Enseñanza de las Ciencias* **20**, 115 (2002).
- [24] C.M.S.G. Sousa e M.H. Fávero, in: *A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Investigação Nesta Área* (Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004), p. 79-81.