

# AS RELAÇÕES ENTRE MODELOS MICRO E MACROSCÓPICO NA ANÁLISE DE FENÔMENOS TÉRMICOS: SUPERANDO CONTRADIÇÕES NA SALA DE AULA ♦

Orlando Aguiar Jr.<sup>a</sup> [orlando@fae.ufmg.br]

<sup>a</sup> Faculdade de Educação da UFMG

## Introdução

Este trabalho se insere no bojo de uma pesquisa de desenvolvimento de currículos de ciências em micro-escala, sustentada pelo exame de processos de ensino e aprendizagem em sala de aula (LIMA, AGUIAR JR & BRAGA, 1997; LIJNSE, 1995). O ambiente da pesquisa é a Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG. O trabalho envolve o planejamento, produção, desenvolvimento e avaliação de unidades de ensino baseadas em resultados da pesquisa em educação em ciências e a análise de processos de aprendizagem em sala de aula.

O episódio analisado fez parte de uma unidade introdutória à física térmica, desenvolvida junto a uma turma de 8<sup>a</sup> série. Anteriormente, os alunos haviam sido introduzidos ao modelo cinético de partículas através de uma abordagem baseada na interpretação de fenômenos tais como a difusão gasosa, a expansão de gases, a dilatação de líquidos e as mudanças de estado físico da matéria. Diante da constatação de que os estudantes não utilizavam, de maneira adequada, os conceitos de equilíbrio térmico, calor e temperatura, decidimos elaborar uma seqüência de ensino com esse propósito.

Na análise do episódio de ensino que iremos tratar, duas questões serão levantadas. A primeira delas, refere-se ao desenvolvimento e uso de modelos por parte de estudantes na análise de fenômenos térmicos. Como veremos, os estudantes mostram-se capazes de utilizar de modelos microscópicos com algum grau de sofisticação e manterem, a nível macroscópico, uma análise bastante primitiva e baseada na atribuição do frio e do calor como categorias ontológicas explicativas. Podemos então nos perguntar: em que contextos os estudantes se valem de um ou outro modelo? Em que medida estabelecem relações entre esses dois planos de análise?

A segunda questão de pesquisa refere-se ao modo como os estudantes lidam com situações potencialmente conflitivas ou perturbadoras: Desse modo, convém investigar situações em que o conflito cognitivo emerge nas interações em sala de aula e como se dá a tomada de consciência do conflito e sua superação.

A abordagem dos dados e sua análise pretende contribuir para a formação de professores, focalizando o papel das intervenções docentes na pauta de interação dos estudantes. Pretendemos, ainda, fornecer elementos para a análise e construção de propostas de ensino para a física térmica no ensino fundamental e médio.

## 1. Metodologia

A dinâmica do trabalho em sala de aula consistiu em trabalhos desenvolvidos em pequenos grupos, em que os estudantes se debruçavam na interpretação de um fenômeno, mediante atividade prática, seguida por discussões com toda a turma, em que a professora procurava construir, com a participação deles, sínteses do que havia sido proposto. As atividades eram precedidas por uma discussão preliminar, cujo intuito era de contextualizar o problema proposto. A intenção foi a de configurar a sala de aula de modo que os estudantes constituíssem uma comunidade de aprendizes, submetendo ao crivo do exame crítico e racional as crenças implícitas e pessoais de cada um, assim como as idéias e os conceitos científicos introduzidos pelo ensino.

O registro das aulas foi realizado pela professora<sup>1</sup> e pelo pesquisador em discussões após cada uma das aulas. Em vários momentos, o pesquisador (autor deste artigo) assumia a condição de professor auxiliar, percorrendo os grupos ou respondendo aos alunos quando solicitado por eles ou pela professora. As aulas foram gravadas por uma câmara de vídeo que, nos momentos coletivos, focalizava as interações de toda a turma e, nos momentos de trabalhos em equipe, um de seus grupos.

Na análise dos conteúdos e formas do discurso de professores e estudantes em sala de aula adotaremos uma abordagem qualitativa e interpretativa, o que envolve riscos, dado o caráter polissêmico das palavras. Para validar nossas interpretações, o principal cuidado será o de situar o contexto no qual as palavras são ditas, ou seja, o contexto da atividade que realizam alunos e professores. No fluxo das interações, as produções dos sujeitos, alunos e professores, são numeradas como “enunciações” E1, E2, e assim por diante, a fim de facilitar a referência a elas nos comentários. Segundo BAKHTIN (1997, p. 16), a enunciação “*não existe fora de um contexto social [...] Há sempre um interlocutor, a menos em potencial. O locutor pensa e se exprime para um auditório social bem definido*”. Assim, iremos nos pautar pelo fluxo do discurso, no qual as contribuições e intenções dos participantes devem ser situadas no âmbito de uma construção coletiva de significados, que transforma as enunciações de partida e possibilita novas construções pessoais. O episódio é parte de uma atividade em pequenos grupos em que os estudantes examinavam a possibilidade de um copo com gelo fundente se converter em “fonte de calor”. O grupo é formado por quatro alunos, que iremos designar por A1, A2, A3 e A4.

Na medida em que os estudantes retomam discussões anteriores, devemos situar o curso das atividades realizadas na aula anterior e no início da aula em que se dá o episódio. Na aula anterior, os estudantes haviam realizado duas atividades práticas. Na primeira delas, procuravam explicar as diferentes sensações térmicas na alternância de suas mãos em copos contendo água quente, água gelada e água à temperatura ambiente. Na segunda atividade, deveriam prever e explicar o comportamento de uma pedra de gelo e uma batata quente enroladas em flanela quando comparadas a objetos idênticos expostos ao ar, além de estabelecer uma relação entre o que ocorria com a batata e com o gelo. Ao final da aula, ao relatarmos suas conclusões à primeira atividade, foi possível constatar as interpretações diversas sobre o que acontece quando tocamos objetos quentes ou frios. Alguns deles

---

<sup>1</sup> A Professora Selma A Moura Braga é bióloga de formação e faz parte da equipe de pesquisa do projeto. Além disso, participou da produção da unidade de ensino que orientou o trabalho em sala de aula.

referiam-se a “*trocas de temperatura*” (“*a temperatura da água passa pra mão e a da mão passa pra água*”), outros a “*troca de calor*” (“*cada um, tipo assim, solta um determinado calor, entendeu?*”; “*quando a gente fala calor não significa só ele ser quente, ele pode ser frio, calor frio. Por exemplo, na água gelada a gente tem calor frio e sente frio*”).

No início da aula seguinte (em que se dá o episódio que iremos analisar), a professora retoma a discussão com toda a classe, com o conteúdo da segunda atividade. Os alunos retomam a polêmica iniciada na aula anterior e o grupo que acompanhamos na seqüência apresenta a interpretação de que “*o gelo enrolado na flanela descongela menos porque perde menos calor*” para o ar à sua volta. A ação da professora nesse momento foi no sentido de elicitare as representações dos estudantes, checando seu entendimento e procurando explicitar as argumentações a favor de uma ou outra interpretação. O debate se prolongou por cerca de 20 minutos e a professora foi anotando as diferentes hipóteses no quadro: “*troca de temperatura*”, “*troca de calor*” e “*transferência de calor*”. Ao serem indagados sobre o significado dos termos calor e temperatura, e as relações entre esses conceitos, os estudantes apresentaram formulações diversas: “*a temperatura é a medida do calor*”; “*calor é movimento das partículas*” (aluno A3), “*energia cinética das partículas geram o calor*”(aluno A1) e “*quando tem energia cinética gera menos calor, aí vai ficar mais frio porque as partículas são menores e a temperatura mede o calor, o calor é a energia cinética*” (aluno A1).

O episódio que iremos destacar acontece quando o grupo inicia a análise da terceira atividade, denominada “*o frio pode ser quente?*”. O propósito da atividade era problematizar a idéia de frio e calor como qualidades opostas e absolutas. A atividade solicitava a preparação de um sistema “*mais frio*” que o gelo fundente – gelo picado com sal – e a observação do que acontece com um termômetro ao ser deslocado do copo contendo “*gelo+sal*” para o copo com gelo fundente.

## **2. Análise do Episódio de Ensino**

A professora fez a leitura da atividade, em voz alta. É aí que se inicia o episódio, que se prolonga por cerca de 8 minutos, com intensa participação de três alunos. Em várias ocasiões, esses alunos falam ao mesmo tempo, disputando a palavra e interrompendo os colegas. Dos quatro alunos que compõem o grupo aqui analisado, o estudante A4 só tem dois turnos de fala (num total de 102) e não apresenta evidências de envolvimento efetivo no episódio. Notamos ainda intensa participação docente, no sentido de promover tomadas de consciência de aspectos do problema que foram inicialmente ignorados pelos estudantes<sup>2</sup>.

Iremos dividir o episódio em três momentos. Na primeira parte, os alunos encontram uma solução satisfatória à atividade proposta, partindo de uma discussão ancorada no modelo de partículas. A segunda parte do episódio caracteriza-se pelo conflito entre essa perspectiva e aquela assumida anteriormente pelo grupo quanto à existência de um “*calor frio*” emanado pelo gelo. Apenas na terceira parte do episódio, o grupo se dá conta da extensão do problema, procurando restabelecer a coerência entre o modelo e as variáveis atribuídas quando das descrições dos fenômenos térmicos e da percepção dos objetos ao tato.

---

<sup>2</sup> A identidade dos alunos envolvidos não será retomada no âmbito desse trabalho. Por esse motivo, optamos por nomeá-los por A1, A2, A3 e A4. A Profª. Selma é identificada por Prof1 e o autor desse relato, como Prof2. Destacamos, em negrito, as alterações de entonação usadas pelo Prof2 em suas interações com os estudantes.

## 1ª parte: Interpretando calor e frio a partir do Modelo de Partículas

O episódio gira em torno da formulação inicial, feita por A1, das relações entre o calor e o frio em termos do modelo de partículas. Antes mesmo de lidar com as leituras do termômetro, ao ser transferido de um copo contendo mistura de gelo picado com sal para outro com gelo fundente, os alunos já davam sinais de resolverem satisfatoriamente o problema, destacando a relatividade do “quente” e do “frio” como decorrentes de maior ou menor quantidade de calor “contido”(sic) em cada copo.

1. **A1:** Calor frio é falta de calor.
2. **A2:** É, mais pode trocar
3. **A1:** Trocar não, é fonte de calor.  
*(alunos conversam sobre como fazer as medidas das temperaturas dos dois sistemas)*
4. **A1:** Professora, *(interrompe e dirige-se aos colegas)* põe mais gelo aqui. *(dirigindo-se à professora que se aproxima)*. Mas, gelo frio é falta de calor, né?
5. **Prof 1:** Heim?
6. **A1:** Frio é falta de calor, né?
7. **Prof 1:** Falta completa de calor?
8. **A1:** Não existe partícula que nunca se movimenta não, existe?
9. **Prof 1:** Completamente paradas?
10. **A1:** É, calor é energia cinética, então o, o calor é a medida da temperatura cinética, não, da temperatura não, da energia cinética das partículas, daí não existe partícula que nunca se movimenta, que fica completamente paradinha tem? Por que aí seria falta de calor.
11. **A2:** Só no gelo absoluto *(A professora Selma se afasta para atender outro grupo)*
12. **A1:** Não.
13. **A3:** Nem no gelo absoluto.
14. **Prof2:** *(aproximando-se da mesa)* E aí entenderam a pergunta aí?
15. **Alunos:** Entendemos. *(A1, A2 e A3 falam juntos)*. Esse daqui *(gelo fundente)* pode ser fonte de calor para esse aqui *(gelo com sal)*. Ele vai se aquecer.
16. **A2:** Um está a 0°C o outro a - 10°.
17. **A1:** É porque não existe falta de calor. Existe uma temperatura que não se movimenta. Calor é ...
18. **A3:** partícula...
19. **A1:** ...é a energia cinética. é que as partículas não se movimentam. É porque calor é energia cinética é... as partículas movimentam *(gesticula com as mãos)*. Aí então assim, aqui *(gelo fundente)* está se movimentando mais do que aqui *(gelo com sal)*.
20. **A3:** Então tem mais calor.
21. **A1:** Então esse pode aquecer esse
22. **Prof2:** Beleza *(aprova)*
23. **A1:** É isso não é? Ou tem mais coisa?

As questões formuladas por A1 no início do episódio parecem ter sido provocadas pelo contexto da atividade, que indaga sobre as relações entre o frio e o calor. O raciocínio do aluno, formulado em tom de pergunta assertiva, é construído a partir dos pressupostos teóricos de que o calor é movimento de partículas e de que as partículas de um material estão sempre em movimento. Segundo esse modelo, um corpo pode ter mais ou menos calor (sendo quente ou frio). Desses pressupostos, o aluno deduz que a ausência de calor é sempre relativa e que, portanto, não existe frio absoluto. Frio e quente, passam assim, a serem concebidos como extremos de um contínuo.

O grupo parece compartilhar esses pressupostos, o que garante sucesso na tarefa, qual seja, o entendimento de que o gelo fundente possa ser fonte de calor para um sistema que esteja a uma temperatura inferior. Devemos notar que o aluno A1 é bastante ansioso, tem uma fala apressada, o que muitas vezes o leva a trocar expressões, corrigidas em seguida, no curso de uma mesma enunciação (ver, por exemplo, as enunciações E10 e E19). Interessante destacar ainda que os alunos não fazem menção ao termômetro, que a atividade sugere como intermediário entre os dois sistemas (gelo fundente e mistura de gelo com sal).

## 2ª Parte: Conferindo Significados...

Na seqüência(E24), o professor procura destacar a contradição latente entre essa solução e a conclusão do grupo na atividade anterior. Os estudantes não percebem a contradição e procuram justificar as “trocas de calor” do gelo com o ar à sua volta. Notamos nessa segunda parte do episódio uma inversão no curso do raciocínio do grupo, antes guiado por premissas teóricas para prever resultados empíricos e agora, pelo contrário, partindo de dados empíricos, de modo a extrair as entidades físicas que fornecem um encadeamento causal aos fenômenos.

24. **Prof2:** Agora quando vocês falaram ali (*referindo-se às conclusões anotadas no quadro relativas à atividade anterior*) que o gelo na flanela se descongela menos porque perde menos calor para o ambiente. **O gelo perde calor? Como é que é isso?**
25. **A3:** Não, ele troca calor
26. **A1:** Se mantém, não perde.
27. **Prof2:** No caso do gelo com o ambiente, o gelo na flanela. O gelo tá **perdendo calor** para o ambiente quando ele derrete?
28. **A1:** não Tá deixando de trocar o calor, ele está se mantendo.
29. **Prof2:** Trocando calor... **Como é esse negócio de troca de calor?**
30. **A1:** Tem um negócio mais frio e outro mais quente. Aí vai juntando assim até se igualar. Aí o calor vai assim passando calor de um para o outro, um para o outro, até se igualar.
31. **A4:** É, até igualar o calor.
32. **A3:** É assim, tem o gelo. Põe o gelo aqui. Aí você põe a mão aqui em cima (*gesticula, como se houvesse um gelo sob sua mão*), o ar que tá mais frio aqui e o ar mais quente, então vão trocando esse ar (*é interrompido por A1 que completa a frase*).
33. **A1:** ...com o quente até ficar na mesma temperatura, aí a flanela impede que o ar, assim, o calor de fora chegue no gelo e descongele.
34. **A3 e A1:**(*falam de modo intercalado*) Aí o gelo derrete e a água fica na mesma temperatura do ambiente. A flanela impede que esse ar, o calor de fora chegue no gelo, e descongele o gelo.
35. **Prof2:** Tá, é O gelo com o ambiente ele, ... ele **passa alguma coisa** para o ambiente na hora que ele derrete?
36. **A1:** : Hã, hã (*concordando e gesticulando com as mãos sobre a mesa como se houvesse ali uma pedra de gelo*) só que, acontece que passa bem pertinho você vê... sente que tá passando só que o ar é muito maior.
37. **A3:** o espaço que o ar ocupa é maior que o espaço que o gelo ocupa.
38. **A2:** aí troca mais calor.
39. **A1:** Só que o ar é muito maior. Se fosse um gelo gigantesco você poderia sentir melhor.
40. **A2:** Você põe a mão você sente que o ar tá bem mais frio.
41. **A3:** igual a um iceberg. Um iceberg por exemplo...
42. **Prof2:** Ele tá **transferindo calor** para o ambiente?
43. **A2:** Tá.

44. **A3:** Tá. e o ambiente tá transferindo calor pro gelo.  
45. **A1:** Pouco em relação ao ambiente que é gigantesco  
46. **Prof2:** Existem **tipos** de calor (...) - de coisas frias e a coisas quentes, ou não?  
47. **A3:** *(depois de um breve silêncio)* Como assim?

A primeira observação é a de que os estudantes não demonstram qualquer insatisfação com a interpretação segundo a qual o gelo “perde calor para o ambiente”, mas apenas acrescentam que ele “troca calor” com o ambiente na condição de não estar isolado do ambiente, através da flanela (nesse caso, ele não troca, mas mantém o seu calor, conforme E26 e 28). O professor insiste, procurando checar o entendimento dos estudantes, e enfatizando os pontos chave que merecem maior atenção do grupo, o que é feito através de mudanças na entonação de suas perguntas (que registramos em negrito nas transcrições – ver E24, 27, 29, 35, 42 e 46). Por várias vezes o professor empresta sua voz às enunciações dos estudantes, para que, com isso, eles possam concordar ou criticar a perspectiva que está sendo apresentada.

Devemos interpretar com algum cuidado enunciações como E30: quando A1 refere-se à mistura do frio e do quente, ele refere-se ainda ao modelo de partículas com o qual trabalhava anteriormente? Nesse caso, tratar-se-ia de mescla de partículas mais frias, com menor agitação e ocupando menos espaço com partículas mais quentes, ou seja, mais agitadas e ocupando maior espaço? Além disso, seria esse o sentido dado pelo aluno A4, que até então acompanhava em silêncio a discussão dos colegas, ao referir-se à equalização do calor (E31)? O calor aqui é por ele considerado como uma energia, associada ao movimento de partículas, que se iguala, ou a qualidades do frio e do quente que se mesclam até uma uniformização de ambas?

As interpretações vão ficando mais claras à medida que os alunos consideram referentes empíricos que lhes dão garantia de que o gelo emana “calor” ao ambiente à sua volta. Para os alunos, isso é comprovado pelo fato de que o gelo “esfria” o ar em torno dele, mesmo que esse efeito seja menos evidente do que o efeito do ambiente sobre o gelo (E32, 36, 39 e 44) . De um ponto de vista causal, eles parecem trabalhar com a identificação de uma causa para cada efeito, sendo a causa proporcional ao efeito que acarreta. Assim sendo, o calor que o gelo transfere ao ambiente é menor do que o calor transferido pelo ambiente ao gelo (E45), pois o gelo é pequeno e o ambiente, gigantesco. Se o gelo modifica o ambiente à sua volta, isso é tomado como evidência de que ele transfere algo para o ambiente. Desse modo, os efeitos recíprocos do gelo sobre o ambiente e do ambiente sobre o gelo justificam a expressão “troca de calor” em seu sentido literal.

Nos parece exemplar o fato de que, quando os estudantes retornam ao plano da experiência física, são traídos pela impressão –de que a sensação de frescor que sentimos quando nos aproximamos de uma pedra de gelo é uma evidência de que o gelo transfere “calor frio” para o ambiente. Nessas circunstâncias, eles abandonam o modelo microscópico com o qual vinham trabalhando e passam a lidar com outro modelo, macroscópico, no qual calor e frio são entidades físicas que explicam os efeitos observados.

Outro ponto a destacar e que é retomado por várias ocasiões pelos alunos A3 e A1 é a referência a uma “concentração do calor” (E36 e 37), idéia que está na gênese de uma diferenciação entre calor e temperatura. O aluno A3, em um outro momento dessa mesma

aula, pergunta porque sentimos calor quando a temperatura ambiente é de 30° C e então sugere que isso ocorre “*porque a temperatura de 37° é só no corpo que a gente ocupa e 30° é no espaço todo. Tipo assim, pode dar 30° num lugar, mas no espaço todo deve dar mais de 30°, a gente pega uma média*”.

Os alunos parecem seguros até que o professor destaca a questão da existência de dois tipos de calor (E46), o que provoca um breve silêncio no grupo, e o início de uma tomada de consciência das contradições entre a interpretação decorrente do modelo de partículas e o modelo calor quente / calor frio formulado a partir dos observáveis empíricos.

### **3ª Parte: Superando as contradições**

Se as intervenções do professor na segunda parte do episódio tinham uma intenção predominante de checar os entendimentos dos estudantes, nessa terceira parte observamos uma intervenção mais firme, moldando significados, procurando evidenciar o conflito e indicar pistas para sua solução. Notamos ainda uma participação diferenciada dos alunos, com o aluno A1 retomando o sentido de suas colocações ao início do episódio, enquanto A2 e A3 permanecem fiéis às interpretações de “trocas de calor”. Tais diferenças contribuíram para a tomada de consciência da contradição entre as duas perspectivas, que provavelmente não ocorreria sem a intervenção docente.

- |   |
|---|
| <p>48. <b>Prof2:</b> Por que a (...) o gelo, ele tá é <b>recebendo calor</b> do ambiente <b>ou está fornecendo</b> calor para o ambiente?</p> <p>49. <b>A3:</b> Ele recebe e fornece calor para o ambiente. É igual ao iceberg.</p> <p>50. <b>Prof2:</b> Ele recebe e <b>fornece</b> calor?</p> <p>51. <b>A1:</b> Acho que ele não fornece não porque o calor dele é menor. Eu acho que ele só...</p> <p>52. <b>A3:</b> É como assim, você tá nadando no mar, Aí por exemplo, aqui tá quente aí na frente tem um iceberg.. Quanto mais perto você vai chegando dele mais frio vai ficando porque a água tá passando calor pro iceberg e o iceberg tá passando calor prá água.</p> <p>53. <b>A1:</b> O calor dele é pouco, o calor dele é bem menor do que o do meio que ele está ...</p> <p>54. <b>A2:</b> Eu acho que é porque calor não é só coisa quente não, calor pode ser frio também.</p> <p>55. <b>A1:</b> Calor, não, frio é falta de calor.</p> <p>56. <b>A2:</b> Calor não é só coisa quente não...</p> <p>57. <b>A1:</b> Não completamente. Frio tem calor mas é pouco, frio é falta de calor.</p> <p>58. <b>Prof2:</b> Você concorda com ele, ou não?</p> <p>59. <b>A2:</b> Não. Eu acho que calor não é só quente, é frio também</p> <p>60. <b>A1:</b> Calor é frio, mas frio é a falta de calor. Porque troca calor mesmo quando um tem assim menos calor que o outro? (<i>pergunta dirigida ao professor, sendo porém interrompido por A3</i>)</p> <p>61. <b>A3:</b> É as partículas não é? As partículas quando vão entrando em contato umas com outras vão se chocando igual àquele filme que a gente viu, elas não se misturam umas com as outras. Igual ouro e prata, elas formam uma mistura heterogênea, mas quando se juntam parece uma mistura homogênea, porque as partículas se misturam, mas você consegue ver lá uma parte ouro e uma parte prata. Igual o gelo aqui você consegue ver a parte fria do gelo e a parte quente do ambiente. (gestos)</p> <p>62. <b>Prof2:</b> E <b>qual seria a diferença</b> entre a parte fria e a parte quente? Qual é a diferença entre elas?</p> <p>63. <b>A1:</b> Da parte fria e a parte quente? A parte quente tá com mais calor, tá se movimentando mais.</p> <p>64. <b>A3:</b> É que já recebeu o calor que o gelo tem e a outra não.</p> |
|---|

65. **Prof2:** Pois é, se a gente pudesse ver lá as partículas como seria a parte mais fria e a parte mais quente do gelo?
66. **A1:** A parte fria tá com menos movimento e a parte quente tá com mais calor
67. **A2:** A parte quente teria mais movimento e a parte fria tem menos movimento.
68. **A3:** Tá se movimentando mais
69. **Prof2:** Aí quando vai entrando em contato, o que vai acontecer?
70. **A3:** Gera uma velocidade próxima, elas vão igualar as velocidades, vai se movimentando o mesmo tanto, aí vai igualar as velocidades.
71. **Prof2:** Mas tá transferindo energia. Vocês tavam falando que calor é energia. Então, vai transferir energia de onde para onde: do gelo para o ambiente ou do ambiente pro gelo?
72. **A3:** do gelo para o ambiente
73. **A2:** do gelo pro líquido.
74. **Prof2:** do gelo pro ambiente? A energia está sendo transferida **do gelo para o ambiente**?
75. **A3:** Não, não... do líquido pro gelo porque
76. **A2:** ...Vai ganhar mais velocidade
77. **A3:** é...
78. **Prof2:** do ambiente pro gelo, há uma transferência de energia do ambiente pro gelo. *(concluindo com voz pausada e tom professoral)*
79. **A3:** Por causa da maior agitação.
80. **Prof2:** Pois é...
81. **A1:** Mas por que que o gelo esfria também o ambiente?
82. **A2:** Porque também tem troca do gelo com o ambiente.
83. **A1:** Mas assim, não precisa ter mistura das partes todas não. Assim, se você pega dois materiais sólidos assim, as temperaturas não se misturam e eles trocam calor do mesmo jeito.
84. **Prof2:** Trocam calor do mesmo jeito só que **as partículas** não se misturam. Mas há uma transferência de energia.
85. **A1:** Mas por que então, como é que transfere?
86. **Prof2:** Pois é, como é que transfere?
87. **A1:** Pelo ar, será que vai pelo ar...
88. **Prof2:** Vocês têm dois corpos sólidos, as partículas não se misturam, como é que elas transferem energia umas pra outras?
89. **A1:** Através do atrito assim?
90. **A2:** Pelo ar, é que eles trocam com o ar também.
91. **A1:** É tipo um dominó assim...
92. **A3:** É como um dominó, uma vai ocupando o lugar da outra.
93. **A1:** Não, mas no sólido não, o sólido é ordenado, as partículas não se misturam.
94. **A3:** O atrito. É tipo um dominó, vai mexendo, mexendo, mexendo, vai mudando de lugar, vai uma empurrando a outra.
95. **Prof2:** Tem um corpo que está a uma temperatura mais alta, então tá vibrando lá mais, tá certo? Aí você coloca com um outro corpo que está a temperatura mais baixa. Quando ele transfere energia para o outro, acontece alguma coisa com esse que estava vibrando mais?
96. **A1:** Acho que ele perde energia para fazer o outro movimentar mais.
97. **A3:** Porque ele recebe a, ...
98. **Prof2:** E o que acontece com a temperatura dele?
99. **A1:** Vai diminuir
100. **A3:** Vai diminuir, e iguala
101. **A2:** Vai tentando se igualar
102. **Prof2:** Legal *(professor se afasta para dar assistência a outros grupos; alunos ficam fazendo anotações e respondendo às questões propostas na atividade).*

Na enunciação E51, o aluno A1 dá o primeiro sinal de retomar as relações entre calor e frio, tal como o fizera na primeira parte do episódio: o gelo não fornece calor à vizinhança, posto que o calor dele é menor. O mais frio aqui é considerado como menos quente, contendo menos calor, o que é dito explicitamente no E53, quando o aluno recupera o sentido de uma única forma de calor. Entretanto, ele não é acompanhado pelos colegas. O aluno A3 mantém e aprofunda a narrativa anterior do iceberg, procurando evidenciar um efeito que poderia ser, de outro modo, desprezado (E52). O aluno A2 dá ressonância a essa narrativa através de uma generalização: o calor não é só coisa quente não, pode ser frio também (E54). Entretanto, A1 contesta essa interpretação, reafirmando suas primeiras colocações (o frio é falta de calor) o que gera a primeira dissonância do grupo em todo episódio (E54 a 60). Nesse momento, o professor atua destacando a existência de duas perspectivas contraditórias, de modo a aprofundar os argumentos a favor de uma ou outra (E58). O estudante A1 procura checar o seu entendimento com uma pergunta dirigida ao professor (E60). Em sua opinião, seria correto dizer que o calor pode ser frio, mas apenas no sentido de que o frio contém calor em menor quantidade.

A enunciação 61 refere-se a um filme, visto pelos estudantes quando estudavam modelo de partículas, no qual era tratado o fenômeno da difusão (mistura espontânea) em sólidos, líquidos e gases. Uma possível interpretação dessa enunciação é a de que o aluno utiliza essa imagem da difusão de sólidos para apoiar a idéia de propagação do calor e a “mistura” de partículas “quentes” e “frias”. Outra interpretação seria a de considerar que, sendo o calor movimento, então o movimento das partículas se misturando poderia gerar calor. Nos parece mais plausível a primeira interpretação, embora não tenhamos elementos para descartar a segunda. De qualquer modo, o professor aproveita-se dessa imagem para retomar o modelo de partículas (E62): qual seria a diferença entre a parte fria e a parte quente de uma mistura?

Curiosamente A3 utiliza-se dos dois modelos de modo inconsistente sem se aperceber da contradição latente entre eles. De um lado, reafirma a crença no calor emanado pelo gelo (E64 e 72), de outro, sustenta uma narrativa baseada no modelo cinético molecular (E70). Apenas quando o professor checa seu entendimento (E74), parece rever, juntamente com A2, seu ponto de vista, deduzindo conclusões a partir de premissas teóricas do modelo (E75, 76 e 79). O professor aproveita esse momento para dar ênfase à síntese feita pelo grupo, parafraseando-a de modo claro e pausado, de modo a permitir o compartilhamento de significados (E78). Nesse momento (E81), o aluno A1 retoma o problema: porque então o gelo esfria também o ambiente? O sentido dessa pergunta é orientado por uma conduta gama frente à perturbação, ou seja, por uma intenção de deduzir do modelo um resultado que vinha sendo interpretado de um modo contraditório com seus pressupostos (PIAGET, 1976).

Há um breve intervalo, entre as enunciações E83 e E94, em que os estudantes tratam de modelos para explicar a propagação do calor. Assim que o grupo chega a uma solução satisfatória (a imagem do dominó), o professor retoma o sentido do problema introduzido pelo aluno A1 na enunciação E82, porém o faz através de uma narrativa que seleciona e compõe um encadeamento de idéias capaz de apontar uma direção para seu equacionamento. O problema básico, que não havia sido até então considerado pelos estudantes, é o de que a transferência de energia de um corpo a outro em razão de diferenças de temperatura, provoca

simultaneamente o aquecimento de um e o resfriamento do outro. Ou seja, um só processo, com dois efeitos simultâneos e complementares.

Antes de finalizar, é preciso sublinhar os *status* diferentes conferidos pelos estudantes aos dois modelos utilizados para interpretar as situações ao longo do episódio. O estudante A1 é o que parece ter maiores compromissos com o modelo de partículas, mostrando-se capaz de utilizar seus pressupostos para prever comportamentos nos sistemas investigados. Entretanto, como mostra a enunciação E36, também é traído pelas evidências de que o gelo esfria o ambiente, portanto, emite calor frio. A superposição das duas formas de pensar é mais evidente em A3, que apresenta argumentos que sustentam o modelo quente/frio, mas mostra-se capaz de imaginar e trabalhar com o modelo cinético de partículas. O aluno A2 acompanha com muito interesse a discussão dos colegas, intervém pouco nas duas primeiras partes do episódio, mas mostra forte discordância de A1 reafirmando a existência de duas formas de calor, que parece ter, para ele, um maior *status*, possivelmente por sua plausibilidade. Finalmente, o estudante A4 mostra-se alheio à discussão e não se envolve na polêmica. Esse mesmo estudante, para além desse curto episódio de ensino, mostrou durante todo o curso uma forte tendência em apenas descrever os fenômenos, sem comprometer-se com elaborações teóricas que ultrapassassem os observáveis.

### **3. O micro e o macro na análise dos fenômenos térmicos**

Os dados que apresentamos evidenciam a intensa atividade dos estudantes A1 e A3 em criar, a partir do modelo cinético de partículas, uma representação para o conceito físico de calor. O calor aparece como “movimento das partículas”, como “energia cinética das partículas” ou ainda como sendo gerado pela energia cinética das partículas. Esses estudantes são capazes de deduzir conseqüências do modelo proposto e formular novas questões baseados em seus pressupostos (“existe frio absoluto?”). Mais adiante, formulam hipóteses sobre como o calor se propaga, imaginando a difusão de moléculas com maior energia cinética e, ao final do episódio, constróem a imagem de vibrações que se propagam “como um dominó”.

Entretanto, esses mesmos estudantes, em outro contexto, apresentam grandes dificuldades em generalizar o sentido único da propagação do calor. Ao contrário do que faz supor o modelo cinético, o frio não é interpretado como sendo “menos quente”, ou como uma condição de menor energia interna. Em lugar disso, falam do “calor” emanado pelo gelo e atribuem qualidades absolutas ao calor, que pode ser quente ou frio.

Há, portanto, um grande descompasso entre o modelo teórico, microscópico, que utilizam ao referir-se à natureza do calor e da matéria e o modelo prático, macroscópico, que utilizam quando se encontram diante de alguns referentes empíricos. Os modelos são mutuamente contraditórios, mas não são percebidos enquanto tal pelos estudantes, o que acontece apenas a partir de questões colocadas pelo professor.

Esses dados corroboram o ponto de vista de HESTENESS (1996) segundo a qual a atividade de modelagem é fortemente contextualizada, isso é, os modelos físicos utilizados pelos estudantes são altamente circunstanciados, isso é, evocados pela situação em jogo e examinados de um ponto de vista bastante local. Embora o modelo desenvolvido em uma circunstância seja potencialmente transferível para outras, nada garante que isso de fato ocorra.

Nos parece necessário resgatar a importância de um tratamento macroscópico aos fenômenos térmicos pelo ensino de ciências a nível fundamental e médio de modo a elaborar modelos compatíveis com o pensamento termodinâmico. Segundo ARNOLD & MILLAR (1994; 1996), esse modelo básico pode ser descrito em termos de uma 'história' envolvendo simultaneamente os conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico. Os autores apresentam evidências de que a elaboração desse modelo por parte de estudantes é possível, mas deve ser apresentado explicitamente pelo ensino e ser por ele suportado, uma vez que não pode ser elaborado, indutivamente, a partir de evidências empíricas. Os resultados de nossas pesquisas (AGUIAR JR, 1999; AGUIAR JR, 2001) corroboram esse ponto de vista, assim como os dados que apresentamos neste trabalho.

Não devemos minimizar os obstáculos com os quais os estudantes se deparam ao lidar com esse modelo básico da termodinâmica. Segundo VOSNIADOU (1994), os modelos desenvolvidos pelos estudantes ao interpretar suas observações e as informações que recebem da cultura sustentam-se em pressupostos ontológicos e epistemológicos mais profundos. No caso dos fenômenos térmicos, as teorias de domínio dos estudantes sustentam-se, de um ponto de vista ontológico, na crença de que *“objetos têm propriedades”* e de que *“calor e frio são propriedades dos objetos”*. Do ponto de vista epistemológico, derivam da convicção de que *“as coisas são como aparentam ser”* e que *“algo existe apenas se é detectável por nossos sentidos”*. Entretanto, se a razão apontada por Vosniadou é correta para muitos estudantes da classe, esse não é o caso do grupo que acompanhamos ao longo desse episódio (à exceção, talvez, de A4 que se mantém afastado da discussão). O uso espontâneo do modelo microscópico (sobretudo pelos estudantes A1 e A3) oferece evidências da capacidade desses alunos em coordenar entidades inobserváveis para interpretar os fenômenos físicos. Poderíamos, nesse caso, supor outro obstáculo, de natureza epistemológica, à construção do modelo macroscópico básico da termodinâmica: a suposição causal de que haveria uma causa imediata para cada efeito observado.

Professores e livros texto de física consideram, muitas vezes, trivial e isento de problemas a compreensão do sentido único da propagação do calor. De certo modo, supõem que essa imagem seja facilmente deduzida do modelo cinético de partículas. O episódio que analisamos nos leva a refutar esse pressuposto. Como vimos, a aceitação do modelo microscópico (cinético de partículas) não conduz os estudantes ao modelo básico da termodinâmica. Para isso, uma série de intervenções didáticas foram concebidas e desenvolvidas em sala de aula, para além desse pequeno episódio de ensino. Na medida em que os estudantes têm dificuldades em estabelecer relações entre os planos macro e microscópicos na análise dos fenômenos térmicos, resta ao ensino promover situações em que isso seja posto em questão, de modo explícito.

#### **4. A tomada de consciência do conflito**

No episódio que analisamos, o conflito não decorreu da própria atividade, que tinha, não obstante, essa intenção. Como vimos, na primeira parte do episódio, os estudantes mostraram-se capazes não apenas de reconhecer a transferência de calor do gelo para o termômetro como ainda interpretar esse dado a partir do modelo cinético de partículas. Portanto, o conflito decorreu não da atividade em si, mas do confronto entre as interpretações dadas pelos estudantes a essa atividade e às atividades anteriores. Trata-se de um conflito

entre modelos usados nas duas circunstâncias e não propriamente de conflito entre dados da experiência e o modelo físico utilizado para interpretá-los.

Além disso, percebemos como é penoso o reconhecimento das contradições entre os esquemas utilizados pelos estudantes em contextos específicos de interação. Os dados indicam uma forte tendência dos estudantes em afirmar um esquema conceitual ou modelo físico em uma determinada circunstância, sem necessariamente compô-lo com outros, utilizados em outras circunstâncias. No episódio, os estudantes não apresentam uma conduta espontânea em tomar os próprios modelos como objeto de pensamento, examinando suas relações com outros modelos e imagens acerca do comportamento do mundo natural. Desse modo, pode-se dizer que a conduta dos estudantes é marcada pelo predomínio das afirmações sobre as negações (PIAGET, 1978). Isso significa que eles mostram-se mais propensos a articular evidências a favor de uma idéia do que a apontar contra-evidências que possam levar à sua refutação.

O reconhecimento das contradições entre os dois modelos apresentados pelos estudantes na análise dos experimentos só foi possível, nesse episódio, graças à mediação do professor. Podemos destacar vários elementos da intervenção docente, cuja atividade consistiu em: 1. Elicitar a formulação clara das idéias dos estudantes (já iniciada pela professora Selma na aula anterior e no início da aula com toda a turma); 2. Checar nas narrativas dos estudantes os sentidos dados aos conceitos; 3. Solicitar uma argumentação racional explícita acerca da aceitação ou refutação de idéias e modelos; 4. Relembrar as duas soluções dadas aos problemas propostos e contrastá-las; 5. Dar pistas para a solução do impasse, enfatizando os pontos chave e dirigindo a atenção dos estudantes por meio de perguntas, de mudanças na entonação usada ao fazer intervenções e através de sugestões mais ou menos explícitas.

Vários autores têm destacado a importância de estratégias metacognitivas na promoção de mudanças conceituais no ensino de ciências. VOSNIADOU & IOANNIDES (1998) afirmam que o processo *“envolve não apenas mudanças em crenças e pressuposições específicas, mas também requer o desenvolvimento de uma consciência metaconceitual e a construção de estruturas teóricas com maior sistematicidade, coerência e poder explanatório”* (p.1222). As autoras consideram que as estratégias e intervenções do ensino devem tornar os estudantes conscientes tanto de suas representações implícitas, quanto das crenças e pressupostos que restringem seu avanço. A análise do presente episódio indica como é crucial a intervenção docente para que esse processo seja deflagrado no ambiente da sala de aula. O modo de fazê-lo consiste em criar situações didáticas em que os estudantes são levados a explicitar seus modelos e crenças, a justificá-los junto aos seus pares e professores, a compreender suas limitações e a buscar sua superação.

Os dados são compatíveis, ainda, com as perspectivas sócio-culturais que destacam a existência de uma multiplicidade de representações no repertório dos estudantes. Segundo essa perspectiva, o ensino de ciências deve promover a tomada de consciência, por parte dos estudantes, dos elementos que compõem seu próprio perfil conceitual, com a avaliação de suas limitações e poder explicativo, assim como dos contextos de uso na vida social (MORTIMER, 1995).

### **À guisa de conclusão**

As reflexões e análises desenvolvidas nesse trabalho têm, a nosso ver, importantes implicações para o desenvolvimento de currículos, para o planejamento de situações de ensino informadas pela pesquisa e para a formação de professores.

Do ponto de vista do currículo e do planejamento do ensino, destacamos a importância de uma abordagem macroscópica dos conceitos básicos da física térmica, aliada ao tratamento microscópico derivado da teoria cinética molecular. Entretanto, cabe ainda investigar as relações entre esses dois domínios, macro e micro, no desenvolvimento do tema ao longo do currículo. No ano seguinte ao estudo reportado neste trabalho, desenvolvemos, com outra turma de 8ª série, uma abordagem macroscópica da física térmica anterior ao tratamento dos modelos de partículas. Entretanto, em função de características específicas das turmas e dos materiais utilizados, não foi possível comparar a efetividade da mudança na seqüência de apresentação dos dois modelos, macro e microscópicos. Além desse ordenamento, não sabemos ainda a partir de que idade os estudantes apresentam interesses e habilidades em investigar a matéria "por dentro", construindo modelos de um mundo inacessível à observação direta. Essas questões encontram-se abertas a uma investigação dirigida ao desenvolvimento curricular em micro-escala, sustentada pelo exame dos processos de ensino e aprendizagem em sala de aula.

Do ponto de vista da formação de professores, a pesquisa focaliza o papel das intervenções docentes na tomada de consciência de conflitos entre representações utilizadas pelos estudantes em diferentes circunstâncias. Essa dimensão do saber docente, a que VILLANI & PACCA (1997) denominam "competência dialógica", envolve uma disponibilidade em ouvir e considerar as idéias dos estudantes, e uma habilidade de moldar novos significados e questões a partir delas. Para isso, é necessário configurar um ambiente de ensino que favoreça o diálogo e a interação dos estudantes entre si e com o professor, a partir de situações e problemas físicos considerados relevantes e desafiadores.

A dinâmica de trabalhos em grupo obriga o professor a acompanhar o andamento do trabalho de cada um deles, pautando suas intervenções no sentido de potencializar a atividade dos estudantes. Entretanto, essa tarefa é de grande complexidade, pois o professor não participa de todo o contexto anterior de interações do grupo. Procura aproximar-se da situação com frases do tipo "*E aí? Entenderam a pergunta? Como vocês resolveram o problema?*". Busca, assim, avaliar o que está sendo feito e ajustar o grau de ajuda ou problematização que julga necessário para que os alunos se engajem na tarefa. Evidentemente, nem sempre a intervenção do professor no grupo é bem sucedida. Por vezes, não compreendemos sequer o que os estudantes estavam fazendo, quais são suas dificuldades e contribuições.

Além dessa intervenção nos grupos de trabalho, o professor procura socializar as conclusões e retomar, através delas, as discussões locais na síntese do trabalho com toda a turma. Entretanto, a síntese não traduz a riqueza do processo de discussão nos grupos. Portanto, a experiência de cada grupo vai sendo muito diferenciada no curso de uma dada atividade. Isso não seria um problema, não fosse o fato de alguns grupos são sistematicamente pouco produtivos, realizando a tarefa de modo burocrático, sem qualquer aprofundamento.

Além dessa diferença nos grupos de trabalho, as experiências escolares são também singulares conforme o engajamento dos indivíduos. Percebemos nesse episódio a participação marginal do aluno A4. Seu silêncio poderia ser interpretado como uma ação interna, mas não

foi esse o caso. O aluno era bastante comunicativo mas, ao longo do curso, não tivemos dele um engajamento em tarefas que envolvessem ir além das aparências e do registro sistemático de observáveis. No episódio, o professor poderia ter feito alguma intervenção especialmente dirigida a ele, mas isso não foi feito.

A atividade propiciou atitudes metacognitivas dos estudantes em relação às idéias e modelos desenvolvidos em diferentes momentos e situações do curso. Mas, tendo sido ela possível apenas graças à mediação do professor, nos indagamos sobre a possível internalização desse tipo de conduta, por parte dos estudantes. Nos parece que o uso autônomo e sistemático dessa conduta frente ao conhecimento por parte de estudantes que vivenciam esse tipo de ambiente escolar acontece com nossos melhores alunos, mas talvez seja insuficiente para aqueles alunos que continuam dependentes da presença do professor para refletir sobre o conteúdo de suas próprias idéias e das idéias de outros. A atitude de checar as próprias idéias e coordená-las com outras idéias nos parece ser uma conduta educável, embora não necessariamente generalizável. Assim como os modelos causais adotados pelos estudantes, as atitudes metacognitivas são também fortemente contextualizadas e potencialmente transferíveis a outras situações.

### **Referências Bibliográficas:**

- AGUIAR JR., O. (1999). Calor e temperatura no Ensino Fundamental: o ensino e a aprendizagem numa perspectiva construtivista. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 4, n. 1, p. 1-15. Publicação Eletrônica: [www.if.ufrgs.br/public/ensino](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino).
- AGUIAR JR., O. (2001). Modelo de ensino para mudanças cognitivas: um instrumento para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem em ciências. Belo Horizonte: Faculdade de Educação, UFMG. (Tese de Doutorado)
- ARNOLD, M., MILLAR, R. (1994). Children's and lay adults' views about thermal equilibrium. *International Journal of Science Education*, v. 16, n. 4, p. 405-419.
- ARNOLD, M., MILLAR, R. (1996). Learning the scientific 'story': a case study in the teaching and learning of elementary thermodynamics. *Science Education*, v. 80, n.3, p. 249-281.
- BAKHTIN, M. (1997). *Marxismo e filosofia da linguagem: problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem*. Trad. Michel Lahud e Yara F. Vieira. 8ª ed. São Paulo: Hucitec. (Edição original publicada em 1929)
- HESTENESS, D (1996). Modeling methodology for physics teachers. *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education*.
- LIJNSE, P. (1995). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. *Science Education*, v. 79, n. 2, p. 189-199.
- LIMA, M. E., AGUIAR Jr., O., BRAGA, S. (1997). Construção de um currículo de ciências para a 5ª a 8ª séries do ensino fundamental: um trabalho de parceria FaE-Centro Pedagógico da UFMG. In: I ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS. *Atas do I ENPEC*. Porto Alegre: IF/UFRGS, p. 357-365.
- MORTIMER, E. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, v. 4, p. 267-285.

- PIAGET, J. (1976). *A equilibração das estruturas cognitivas*. Trad. Marion M. Penna. Rio de Janeiro: Zahar Editores.
- PIAGET, J. (1978). *Investigaciones sobre la contradicción*. Madrid: Siglo XXI.
- VILLANI, A., PACCA, J. L.(1997). Construtivismo, conhecimento científico e habilidade didática no ensino de ciências. *Revista da Faculdade de Educação da USP, São Paulo*, v. 23, p. 196-214.
- VOSNIADOU, S., IOANNIDES, C.(1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 10, p. 1213-1230.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, v. 4., p. 45-69.