

CONCEPÇÕES DE ADOLESCENTES E DE ADULTOS SOBRE A SUBLIMAÇÃO DO IODO

(Teenagers' and adults' conceptions of iodine sublimation)

Marcelo Leandro Eichler [exlerbr@yahoo.com.br]

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Silvia Parrat-Dayan [Silvia.Parrat-Dayan@pse.unige.ch]

Université de Genève

Léa da Cruz Fagundes [leafagun@ufrgs.br]

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo

Neste artigo, busca-se relacionar o estudo de Piaget sobre as explicações causais com o as pesquisas do chamado movimento das concepções alternativas. Nesse sentido, apresenta-se uma revisão de artigos relacionados ao desenvolvimento de teorias intuitivas sobre a constituição dos materiais. Os resultados obtidos nas pesquisas de Ruth Stavy sobre as mudanças de estado da matéria são particularizados. A seguir, relata-se uma investigação que realizamos, com a participação de sujeitos adolescentes e adultos, sobre as mudanças de estado do iodo. Os resultados obtidos evidenciam diferentes categorias de pensamento manifestas pelos sujeitos, podendo-se concluir que há muita dificuldade em estabelecer relações de legalidade em fenômenos que não estão ao alcance da generalização empírica e em atribuir relações de causalidade que utilizem modelos corpusculares na sublimação do iodo.

Palavras-chave: explicação causal; mudanças de estado da matéria; pensamento operatório-formal; concepções alternativas.

Abstract

This paper tries to relate Piaget's study about the causal explanations to the research carried out by the so called alternative conceptions movement. In this sense, a review of articles on the development of intuitive theories about the constitution of matter is carried out. The results obtained in Ruth Stavy's research about the change of state of matter are highlighted. Afterwards, a research about the state changes of iodine, which was carried out with the participation of teenagers and adults, is reported. The obtained results show different levels of reasoning presented by the individuals. By analysing the results one can conclude that individuals in more advanced levels presented notions of lawfulness based on empirical generalization, even though they had some difficulty to establish causal relationships that employ corpuscular models.

Keywords: causal explanation; change of state of matter; formal-reasoning stage; alterative conceptions.

Introdução

Em Didática das Ciências, o chamado “movimento das concepções alternativas” é um dos marcos do estabelecimento desse campo de estudos ou disciplina (Cachapuz, Praia, Gil-Pérez, Carrasco, Martinez-Terrades, 2001; Schnetzler, 2002). Em outro lugar, procuramos mostrar a relação (Eichler, Parrat-Dayan e Fagundes, 2008) entre as investigações sobre esse tema e o projeto de pesquisa de Jean Piaget, ainda que ele não utilizasse a mesma terminologia desse movimento. Neste artigo, procuramos fazer uma revisão de pesquisas inseridas nesse movimento para em seguida apresentar uma pesquisa realizada de acordo com a tradição de pesquisa piagetiana.

Na obra piagetiana, as noções de transformações físicas foram abordadas, principalmente,

em Piaget e Inhelder (1971) e Piaget (1971), a partir de fenômenos como solubilidade, miscibilidade, flutuação, difusão e das mudanças de estado físico. Nesses experimentos, o objetivo, grosso modo, foi verificar as intuições e as explicações dos sujeitos sobre a conservação da matéria e de suas propriedades. O desenvolvimento de uma teoria intuitiva sobre os materiais foi tema, também, de diversos estudos (Au, Sidle e Rollins, 1993; Barker, 2000; Krnel, Watson, Glažar, 1998; Nakhleh e Samarapungavan, 1999; Rosen e Rozin, 1993; Stavy, 1990a e 1990b; Stavy e Stachel, 1985; Valanides, 2000).

Krnel, Watson e Glažar (1998) fazem uma revisão da literatura sobre as explicações de como as crianças desenvolvem o conceito de matéria, quais as classificações que fazem, suas explicações sobre a composição da matéria e suas explicações das mudanças físicas (fusão, evaporação e a condensação) e químicas (combustão). Essa revisão destaca alguns dos trabalhos que serão apresentados a seguir.

Au, Sidle e Rollins (1993) procuraram examinar se crianças entre 3 e 7 anos conseguiam conservar propriedades inerentes (por exemplo, gosto e peso) de certas substâncias mesmo após a dissolução dessas substâncias. Essa pesquisa buscou verificar algum possível conceito de atomismo (partículas invisíveis ou pequeninas, por exemplo) que as crianças manifestassem. A crença que as coisas materiais são feitas de partículas pequeninas auxiliaria os sujeitos a entender porque quando a matéria muda em cor, textura, densidade, tamanho das partículas, propriedades químicas, ou mesmo se torna invisível, ela continua a existir. Segundo os autores, esse fenômeno é capturado pelo princípio fundamental da química, isto é, a conservação da matéria (também conhecida como Lei de Lavoisier ou Lei da Conservação das Massas), que postula que a matéria não pode ser nem criada, nem destruída. O estudo teria revelado que crianças já com três anos (cerca de 45% da amostra; essa proporção cresce para 60% aos sete anos) possuem a conservação do gosto (após o açúcar ter sido dissolvido em água) e indicam algum grau de atomismo para explicar o desaparecimento da matéria. No entanto, as crianças mais novas não fariam uso do conceito de partículas como um mecanismo explicativo plausível para o fato de a substância continuar a existir e manter suas propriedades inerentes. No entender dos autores, tais habilidades podem ter um papel importante no desenvolvimento de uma teoria intuitiva das coisas materiais, na aquisição de conceitos científicos e de teoria em química.

Rosen e Rozin (1993) investigaram crianças pré-escolares com idades entre 3 e 5 anos sobre seus julgamentos quanto à presença de substâncias materiais (por exemplo, partículas de açúcar) e suas propriedades (por exemplo, gosto doce) nas soluções em que vários pós foram dissolvidos. Em relação aos sistemas estudados por Piaget e Inhelder (1971), a pesquisa sobre a dissolução teria sido estendida para incluir outras substâncias: um soluto azedo desconhecido (ácido cítrico), um soluto perigoso (pó de sabão) que não pode ser testado e assim é somente detectável por outros sentidos (por exemplo, odor) e um soluto sem gosto (policose) que é indistinguível por qualquer sentido. Todos os pós são brancos e possuem granulações similares. A pesquisa supunha que a consistência com que as crianças demonstrassem competência em reconhecer a presença contínua dessas várias substâncias e de suas propriedades em solução sugeriria o grau de conservação das partículas invisíveis que as crianças manifestam no contexto da dissolução.

Os autores entendem que uma concepção madura do processo de dissolução implica a apreciação do desaparecimento aparente da matéria através da sua partição. Nesse sentido, a apreciação das partículas invisíveis no contexto da dissolução aparece intimamente conectada à apreciação da distinção aparência-realidade. Então, uma concepção mais evoluída implicaria a habilidade de distinguir a aparência da solução em que o açúcar foi dissolvido, que é visivelmente idêntico à água pura, de uma realidade subjacente à solução, ou seja, a presença contínua do açúcar, por exemplo, na forma de partículas invisíveis, como pode ser inferido a partir da propriedade de doçura da solução.

Finalmente, eles sugerem que os resultados indicam a existência de algum grau de reconhecimento da natureza material (atomismo) no contexto da dissolução. Os sujeitos, ou a maior parte deles, conseguiram distinguir a aparência visual da realidade subjacente, reconhecendo a conservação de sabor, odor e propriedades perigosas das substâncias. Por volta dos cinco anos, além do mais, reconheciam que a matéria poderia ser decomposta em partículas pequeninas que não podem ser vistas ao olho nu.

Ou seja, em ambas as pesquisas (Au, Sidle e Rollins, 1993; Rosen e Rozin, 1993), teria se achado sucesso na compreensão do fenômeno em idade inferior àquelas descritas por Piaget e Inhelder (1971). Em relação a esse tipo de achado, que revelariam a precocidade ou a regressão nas noções de conservação, podem-se encontrar críticas, ou no mínimo palavras de cuidado, em alguns artigos de pesquisadores genebrinos (Bovet, Parrat-Dayan e Deshusses-Addor, 1981 e Parrat-Dayan e Bovet, 1982).

Entretanto, seguindo outro caminho, nota-se que Nakhleh e Samarapungavan (1999) entendem que na literatura existiria uma divergência entre psicólogos desenvolvimentistas (Au, Sidle e Rollins, 1993; Rosen e Rozin, 1993) e educadores em ciências, entre os quais se incluem, sobre a extensão em que crianças da escola primária são capazes de entender os princípios causais que envolvem a ação de entidades invisíveis ou abstratas e sobre a extensão que o sistema de crenças das crianças está organizado em estruturas conceituais coerentes. Nesse sentido, os autores indicam que os estudos de Au, Sidle e Rollins (1993) e de Rosen e Rozin (1993) são limitados devido às características experimentais e à qualidade das substâncias usadas nas pesquisas, por exemplo, a dissolução de substâncias granulares como o açúcar e o ácido cítrico em pó. Eles supõem que a natureza granular pode influenciar as repostas das crianças. Por isso investigaram um amplo espectro de substâncias, incluindo substâncias de todos os estados da matéria e incluindo diferentes tipos de sólidos. A pesquisa sobre as idéias espontâneas da natureza da matéria envolveu estudantes da escola elementar sem qualquer instrução formal em relação a tal assunto.

Além disso, Nakhleh e Samarapungavan (1999) indicam que a teoria científica (cinética molecular) explica fenômenos como os estados da matéria, as mudanças de fase e a dissolução em termos das ações de entidades invisíveis (átomos e moléculas) que constituem a matéria. Portanto, estudantes que manifestam dificuldade com as noções cinéticas teriam dificuldade em entender os fenômenos apreciados na pesquisa.

Dessa forma, os autores investigaram o entendimento de crianças em relação aos três estados da matéria, seu entendimento das mudanças de estado da matéria (tal como a fusão do cubo de gelo) e seu entendimento do processo de dissolução. Na pesquisa, tinham como hipótese inicial que existiriam pelo menos dois tipos de entendimento presentes nas amostras: a) um nível puramente macroscópico que negociava somente com o tamanho, com as propriedades observáveis e não estendia isso em entendimento de composição e de processo; b) um nível puramente microscópico de entendimento que olhava além do tamanho e das propriedades observáveis para explicar a composição e/ou o processo. Entre um nível e outro foram encontradas fases intermediárias, onde as noções microscópicas não se conservavam.

Uma maior coleção dessas fases intermediárias pode ser encontrada no estudo de Renström, Andersson e Marton (1990). A investigação desses autores abordou dois tópicos centrais no currículo de ciências: a transição entre fases (transformação física) e as reações químicas (transformação química). O objetivo da pesquisa foi revelar como estudantes, entre 13 e 16 anos, concebem a matéria. Em uma abordagem fenomenográfica, que envolveu vinte indivíduos, foram evidenciadas seis diferentes concepções. A matéria foi entendida como: a) substância homogênea, b) unidades substanciais, c) unidades substanciais com “pequenos átomos”, d) agregado de partículas, e) unidades de partículas, e f) sistemas de partículas. As diferenças estariam relacionadas

com a variação na estrutura interna de cada concepção.

No contexto da solubilidade, Ebenezer e Erickson (1996) empreenderam uma pesquisa sobre as intuições atomísticas de estudantes do secundário, na qual foram utilizados três sistemas diferentes: a) açúcar e água; b) água, álcool e solvente de tintas; c) sal e água (em solução saturada). Conforme indicam, além de entrevistas clínicas, esses autores utilizaram desenhos dos estudantes para apoiar suas explicações. Entre seus resultados, demonstram a tendência dos estudantes em estender seu entendimento das propriedades dos materiais do nível macroscópico para o nível microscópico. Os autores ponderam que a interação e, também, a distinção entre as propriedades macroscópicas e submicroscópicas é uma característica importante da química e crucial para o êxito no entendimento dos conceitos da química.

Resultados semelhantes foram obtidos por Valanides (2000), em sua pesquisa com adultos estudantes de cursos de formação de professores para a escola primária. As entrevistas clínicas com esses professores evidenciaram as suas dificuldades em interpretar as mudanças macroscópicas observáveis a partir de compreensões corpusculares e submicroscópicas. Observou-se, por parte dos sujeitos, um entendimento mais perceptual que conceitual. Eles tenderam a descrever que as moléculas sofrem as mesmas mudanças visíveis das substâncias. Assim acreditavam, por exemplo, que as próprias moléculas expandem, contraem e fundem.

As mudanças de estado da matéria, também, foram tema de uma série de pesquisas de Ruth Stavy (1990a e 1990b; Stavy e Stachel, 1985), que foram desenvolvidas em relação aos estudos sobre a conservação das quantidades físicas de Piaget e Inhelder (1971).

Em Stavy e Stachel (1985) buscou-se evidenciar, através de entrevistas com o método clínico, como as crianças entendem o processo de fusão de um sólido inflamável (vela de parafina). Segundo as autoras, esse tipo de tarefa procura pôr em destaque a invariância de uma propriedade qualitativa (inflamabilidade) no processo de mudança de estado (a fusão da parafina) permitindo, também, buscar pelas relações entre as conservações qualitativas (identidade e inflamabilidade) e quantitativas (massa ou peso). Conforme sugerem as autoras, interpretando as idéias de Piaget e Inhelder, “esse tipo de conservação qualitativa, quando comparada com conservação quantitativa, não possui propriedade crucial de reversibilidade operacional”.

Nesse estudo, as autoras evidenciaram que as crianças menores não identificam a mudança de estado da matéria (de parafina sólida para líquida), mas sim uma transformação de material, de parafina para água, considerando, assim, a cera líquida como um líquido não-inflamável (água). Ou seja, as crianças não reconhecem a conservação da propriedade qualitativa de inflamabilidade no processo de fusão. Nesse sentido, as autoras indicam a ação recíproca entre o conhecimento lógico-matemático e o conhecimento físico, que “parece ser um processo pelo qual a criança pode gradualmente encontrar os limites em que seu conhecimento é corretamente aplicável”. Por fim, concluem que as diferenças de desempenho na conservação dependem do tipo de material usado e que a experiência no mundo físico parece desempenhar um papel mais importante do que haviam esperado.

É interessante verificar que esses resultados são muito parecidos àqueles obtidos na pesquisa piagetiana sobre as mudanças de estado da parafina (Piaget, 1971), embora Piaget declare que as crianças menores interpretam que a água emana da vela. Cabe ainda registrar que nas pesquisas sobre a fusão da parafina, sugeriu-se utilizar uma vela colorida, de forma a evitar a possível confusão entre a parafina líquida e a água, pois ambos os líquidos são transparentes (Piaget e Bliss, s/d).

Em outras pesquisas, Stavy (1990a e 1990b) amplia os materiais que são utilizados nas

tarefas de mudança de estado, investigando as compreensões das crianças para a evaporação da acetona e para a sublimação e cristalização do iodo (Stavy, 1990a). Em outro estudo (Stavy 1990b) desenvolve uma comparação entre as compreensões infantis para: a deformação da plasticina, dissolução do açúcar, expansão da água em aquecimento, fusão do gelo, fusão da parafina, evaporação da acetona e sublimação do iodo.

No estudo com as mudanças de estado da acetona e do iodo, Stavy (1990a) desenvolve sua análise em relação à imagem mental¹ das crianças, reportando-se diretamente a Piaget e Inhelder (1971). É interessante notar que a autora parece desconhecer, porque não as cita, as obras piagetianas sobre a imagem mental (Piaget e Inhelder, 1977), que estiveram mais relacionadas às noções de espaço e de geometria, e sobre as explicações causais (Piaget, 1971), que abordaram, por exemplo, as mudanças de estado da matéria.

Então, em relação às propriedades da matéria, conforme Stavy (1990a) interpreta os resultados de Piaget e Inhelder (1971), a imagem mental que existiria nos estágios iniciais do desenvolvimento da criança poderia ser caracterizada da seguinte forma:

- a) A matéria não tem um aspecto permanente, ou seja, quando a matéria desaparece do campo de visão (por exemplo, quando o açúcar é dissolvido em água) ela deixa de existir.
- b) A matéria tem um cerne material em que várias propriedades aleatórias, que tem existência independente, estão ligadas. Assim, a matéria pode desaparecer, entretanto suas propriedades (como a doçura) podem continuar existindo completamente independente dela.
- c) O peso não é uma propriedade intrínseca da matéria. A existência de matéria sem peso pode ser aceita.
- d) Transformações físicas simples (como a dissolução) não são compreendidas como reversíveis.

Conforme a autora, ainda interpretando Piaget e Inhelder (1971), essa imagem mental inicial caracterizaria o pensamento da criança jovem e desapareceria quando o pensamento operatório aparecesse. Ela entende, ainda, que a existência de uma imagem similar entre pessoas adultas e educadas poderia sugerir que o pensamento operatório não poderia, completamente, subjugar a imagem mental intuitiva da matéria. Assim sendo, prevê, como hipótese de pesquisa, que é possível que essa imagem continue a existir em idades mais avançadas – foram entrevistadas clinicamente crianças entre 9 e 15 anos – e é provável que se expresse em fenômenos de mudança de estado da matéria, por exemplo, em mudanças de sólido para líquido ou de líquido para gasoso.

Em relação às noções estudadas, os resultados obtidos na pesquisa de Stavy (1990a) podem ser resumidos da seguinte maneira:

- 1) *A matéria é concebida como um objeto concreto, sólido.* Observou-se que crianças, entre 9 e 11 anos, concebem a matéria como alguma coisa concreta e sólida. Gás e líquido não são percebidos como matéria. Alguns exemplos de explicações para a tarefa de sublimação do iodo podem sustentar essa observação: “a cor no tubo vem da matéria que estava antes ali”², “não há matéria, somente cor púrpura”, “o cristal foi aquecido e a matéria desapareceu” e “o gás não pode voltar a ser matéria”³. O gás púrpuro que ficou

¹ Embora a utilização do conceito de imagem mental venha sendo cada vez mais usado em Psicologia do Desenvolvimento e nas investigações sobre percepção, representação e construção do conhecimento, a autora utiliza o termo sem fazer referências teóricas ou indicar estudos que apóiem sua interpretação.

² As aspas nesse parágrafo se referem aos excertos das falas dos sujeitos entrevistados.

³ Entretanto, deve-se registrar algumas possíveis implicações lingüísticas. As frases entre aspas foram traduzidas, no

- no tubo de ensaio não é compreendido como matéria por essas crianças, entretanto o cristal sólido de iodo, que antes estava no tudo, é concebido como matéria.
- 2) *A criança concebe a matéria como sendo feita de um núcleo material e de propriedades não materiais, como cor, cheiro ou peso.* Essas propriedades podem ser dissociadas do material, especialmente, quando o material sofre uma mudança em seu estado físico. O odor pode escapar do material e, então, ele ficar sem cheiro, ou o material pode desaparecer e deixar suas propriedades de cor, cheiro ou doçura, por exemplo.
 - 3) *A criança acredita que a matéria existe quando existe evidência de sua existência.* Dessa maneira, a matéria não deve ser sólida ou líquida para ser concebida como matéria, mas deve haver evidência perceptual de sua existência. Ela deixa de existir quando a evidência desaparece. Além disso, a propriedade visual da cor provê muito mais evidência da existência da matéria do que o odor.
 - 4) *A massa (peso na linguagem coloquial) não é visto como uma propriedade intrínseca da matéria.* Pode existir matéria sem massa, ou a massa pode mudar com o estado da matéria. Verificou-se que as crianças constroem um conjunto de regras intuitivas que guardam correlação entre a massa da matéria e seu estado. As regras perceptivas achadas foram as seguintes: o gás não tem massa (peso); o gás sempre pesa menos que o líquido (sólido); e, finalmente, o peso do gás (em um sistema fechado) é igual ao do líquido ou sólido do qual ele é derivado.
 - 5) *A matéria é composta de partículas e o estado da matéria é explicado de acordo com o arranjo dessas partículas.* Notaram-se poucos casos em que os sujeitos mencionaram partículas, embora eles interpretassem que partículas densas são mais pesadas do que partículas rarefeitas. As crianças adotaram uma teoria de partículas para sua própria concepção, de acordo que sólidos pesam mais que gases. Conforme indica a autora, a teoria das partículas não está internalizada e não se torna útil para maioria dos estudantes (mesmo para 85% dos alunos entrevistados de maior escolaridade), embora eles tenham visto isso na escola.

A partir desses dados de pesquisa, Stavy (1990a) propõe uma análise em relação à obra piagetiana sobre a conservação das quantidades físicas e tenta supor os elementos que poderiam justificar a defasagem por ela encontrada: na tarefa com a sublimação com o iodo encontrou-se um grande número de crianças que sugeriram a conservação de massa, mas não indicaram a reversibilidade do processo de sublimação. A autora, então, supõe que as operações concretas⁴ não seriam suficientes para lidar com certas tarefas de conservação. Dessa forma, postula que seria necessário conhecimento específico sobre a mudança de estados. Nesse sentido, observa que a criança não teria experiência empírica direta que poderia lhe levar para as leis de conservação da matéria.

Entretanto, diferente da pesquisa relatada neste artigo, inserida na tradição de pesquisa piagetiana, Stavy (1990b) busca explicações, possivelmente, relacionadas à Teoria do Processamento da Informação, mas o faz sem citações bibliográficas. Veja-se o seguinte extrato

original o termo ‘matéria’ consta como ‘matter’, que também poderia ser traduzido por ‘coisa’ ou ‘nada’, dependendo da frase. Caberiam algumas perguntas: como a pesquisa foi feita em Israel, as crianças responderam em hebreu ou em inglês? Se ela foi realizada em hebreu, qual é a palavra equivalente? Ela tem o mesmo uso freqüente e de múltiplos propósitos, como ‘matter’, em inglês? No português, a palavra ‘matéria’ não assume os mesmos múltiplos usos que no inglês, seu uso é mesmo muito menos freqüente. No nosso vocabulário, o termo ‘coisa’ cumpre muitas das funções de ‘matter’, em inglês. Dessa forma, até que ponto o uso do termo ‘matter’ (ou de seu derivado em hebreu) feito pelas crianças se refere ao sentido que se está analisando no artigo?

Há de se levar em conta a aquisição da diferença semântica na criança e isso não é fácil de ser transposto de uma língua para outra, ainda mais quando possuem raízes diferentes. No português, entendemos que seriam as seguintes frases possíveis na fala das crianças: “a cor no tubo vem da *coisa* que estava antes ali”, “a cor no tubo vem do *que* estava antes ali”, “a cor no tubo vem *daquilo* que estava antes ali”, “a cor no tubo vem *disso* que estava antes ali”, e “não tem *nada* no tubo, só cor”.

⁴ Conforme os postulados da epistemologia genética de Jean Piaget (1990).

explicativo:

“Os diferentes pedaços de conhecimento podem dar suporte temporário para os *inputs* perceptuais imediatos da tarefa. Por exemplo, elementos visuais como a cor, podem suportar o aparato lógico apropriado com o qual o aluno conservará peso durante o processo de evaporação (sic!) do iodo, mas não no processo de evaporação da acetona. O efeito de tais elementos visuais suportando o sistema de conhecimento apropriado pode ser devido às baixas quantidades de informação que o aluno possa guardar em sua memória de trabalho. O aluno vê a substância e não tem de lembrar o que ela era antes” (Stavy, 1990b).

Portanto, Stavy (1990a e 1990b) supôs que a experiência do mundo físico desempenha um importante papel na compreensão das transformações da matéria, sendo que a falta de experiência empírica direta poderia ser uma resistência à emergência de idéias de conservação da matéria, conservação de quantidade da matéria (massa; ou peso, em sentido cotidiano) e de reversibilidade. Além do mais, entendeu que, em certos fenômenos, como a sublimação do iodo, essa resistência poderia continuar a existir em idades mais avançadas. Nesse sentido, neste trabalho se busca ampliar a investigação desenvolvida por Stavy sobre as mudanças de estado do iodo, envolvendo sujeitos adultos entre os participantes da pesquisa. Além disso, buscam-se explicações para as noções expressas pelos sujeitos na tradição de pesquisa piagetiana.

Na próxima seção, enfatizaremos algumas diferenças entre o tipo de questionamento feito aos participantes de nossa pesquisa e as perguntas realizadas nas citadas pesquisas de Stavy. Julgamos que as respostas por nós obtidas podem ajudar a interpretar a defasagem sugerida por Stavy. Nas conclusões, faremos uma análise dos resultados desta nossa investigação em relação ao modelo piagetiano para a teoria do conhecimento (Piaget, 1990) e em relação aos estudos sobre as explicações causais (Piaget, 1971).

Metodologia

As conclusões a que chegaram Piaget e seus colaboradores são fruto de um método de pesquisa laborioso e poderoso. Esse método de pesquisa se encontra na interface entre a epistemologia e a psicologia. Segundo Vinh-Bang (1966), o leitor de Piaget pode ficar espantado pelo pouco espaço que ele dedicou para escrever sobre suas técnicas de investigação e sobre o tratamento de seus resultados. Também não são muitos os textos que abordam diretamente a operacionalização do método. Além disso, há de se entender as diversas modificações realizadas por Piaget em seu método, e depois, ainda, por Bärbel Inhelder, sua principal colaboradora (Morgado e Parrat-Dayán, 2002). Portanto, não é estranho que seu método seja um conteúdo constante e insistente em todos os aspectos do debate sobre a obra de Piaget (Bond e Jackson, 1991).

Vinh-Bang (1966) entendeu que os sucessivos problemas abordados, os resultados obtidos e as diversas circunstâncias históricas fizeram evoluir sensivelmente as técnicas de pesquisa utilizadas por Piaget, porém sem retirar a orientação essencial das investigações e das interrogações. Haveria quatro períodos no desenvolvimento da obra de Piaget e da elaboração e reorientação de seu método.

Um primeiro desses períodos, entre os anos de 1920 e 1930, foi dedicado à lógica da criança, através de pesquisas sobre o pensamento verbal. Embora ressaltando as críticas ao caráter limitado dessa abordagem, segue os métodos da livre conversação. Nessa época, Piaget procurou um método suscetível de atingir as estruturas do pensamento infantil através dos aspectos verbais e

conceituais. Foi escolhido o método clínico, clássico em medicina psiquiátrica ou em psicopatologia. A originalidade de Piaget foi adaptar esse método a uma pesquisa de caráter experimental. O adjetivo clínico marcaria, além disso, uma oposição ao método de testes, que era considerado à época como o método objetivo por excelência para estudar a inteligência.

O segundo período compreenderia a observação crítica e se passaria entre 1930 e 1940. Nessa época, Piaget estudava, essencialmente, as primeiras manifestações da inteligência, desde os esquemas sensorio-motores até as formas elementares da representação, da imitação e do pensamento simbólico. As investigações contaram com quase 500 observações, que foram em seguida compiladas e teorizadas em livros.

O terceiro período estaria relacionado à formalização do método clínico, entre 1940 e 1955. Essa perspectiva foi elaborada nas grandes obras de Piaget sobre o número, as quantidades físicas, o tempo, a velocidade, o espaço e o azar. As tarefas são simples, mas versáteis, não requerem mais que materiais rudimentares e se prestam tanto a investigações variadas quanto aprofundadas, por exemplo: objetos para classificar ou seriar, configurações espaciais para produzir ou explorar, deslocamentos ou transformações nas quais se devem julgar certos parâmetros.

De acordo com Montangero e Maurice-Naville (1998), o modo de coleta de dados evoluiu nesse terceiro período. Agora não se trata mais de uma entrevista exclusivamente verbal, nem de observação com um mínimo de intervenção. Os raciocínios da criança passam a ser estudados por meio de tarefas que se apóiam sobre um material experimental que pode ser manipulado tanto pelo experimentador quanto pela criança. Através dessas tarefas, trata-se a permanência e os fundamentos dos julgamentos dados para uma série de questões. O método se torna crítico, tomando o seu senso heurístico.

Vinh-Bang (1966) entende que o método foi transformado pela problemática e a modificação dos dispositivos é imposta pelas razões dos novos problemas. O interesse principal não é tanto notar se a criança responde ou não. Nessa modificação, o experimentador não deixa de solicitar um argumento sobre a previsão, a ação e a explicação do sujeito na tarefa. Crítico, então, o método coloca sistematicamente em dúvida as afirmações do sujeito, não para medir a solidez de suas convicções, mas para entender sua atividade lógica profunda. Não somente seus desempenhos funcionais e suas crenças espontâneas, mas a estrutura característica de um dado estado do desenvolvimento. A novidade metodológica que marca esse terceiro período faz a pesquisa menos organizada nas técnicas de interrogação.

No estudo sobre as unidades físicas, por exemplo, Piaget e Inhelder (1971) apontam que empregaram o método de forma transversal, “no sentido de que um grande número de sujeitos de idades diferentes foi examinado em princípio, porém somente uma vez cada um, sendo a continuidade do desenvolvimento reconstituída pela comparação desses múltiplos cortes transversais praticados nos diversos níveis de idade” (p. 26). A pesquisa das noções de substancialidade, peso e volumosidade foi levada a cabo com “mais de uma centena de crianças de quatro a doze anos” (p. 111).

Perraudeau (1998) sugere que esse método também pode ser chamado de estruturalista porque “uma vez recolhido um conjunto pertinente de dados comportamentais, trata-se de evidenciar a estrutura subjacente que organiza as condutas observadas” (p. 115). Os resultados das pesquisas dessa época são divididos em três estágios. Existiria um estágio francamente pré-operatório, no qual há insucesso nos problemas propostos. Um segundo estágio, que seria intuitivo intermediário, com sucesso por tentativas e sem generalização. Por fim, um estágio seria operatório, no qual a criança dá um conjunto de julgamentos corretos e bem justificados (Montangero e Maurice-Naville, 1998)

Na sugestão de divisão de Vinh-Bang (1966), por fim, haveria um quarto período, que inicia em 1955 e trouxe novidades decorrentes da formação do Centro Internacional de Epistemologia Genética e das cooperações interdisciplinares que ali se realizaram. Os simpósios anuais e os contatos mantidos durante os anos de presença comum contribuíram amplamente para estender a audiência da psicologia genética e, em retorno, a aprofundar seus métodos e sua reflexão. Nesse período, o autor indica que surgiram sínteses teóricas importantes, realizadas através da leitura ou releitura dos protocolos de entrevistas clínicas recentes ou anteriores, como, por exemplo, os estudos sobre as explicações causais (Piaget, 1971) que envolveram cerca de 2.500 sujeitos em 100 tarefas com diversas noções em física.

Ora, para o trabalho que aqui se apresenta, o método utilizado no terceiro período parece o mais adequado, uma vez que se pretende inventariar as noções dos sujeitos participantes da pesquisa para uma transformação física em especial: as mudanças de estado do iodo. O método clínico piagetiano é dialógico, assim as questões são propostas pelo pesquisador segundo as declarações e as respostas anteriores dos sujeitos participantes da pesquisa. O questionário é realizado conforme os fenômenos são observados, descritos e justificados pelos sujeitos. Nesse sentido, a fluência do diálogo permite obter dados que são mais expressivos que métodos que utilizam testes com lápis e papel.

Participaram dessa pesquisa 35 sujeitos. Foram entrevistados 16 adolescentes, com idades entre 11 e 15 anos, e 19 adultos, com diferentes idades acima dos 18 anos e estudantes universitários de quaisquer cursos que não fossem de ciências naturais ou matemática, conforme sugestão metodológica de Bovet (2000). A pesquisa foi realizada em Genebra, com sujeitos brasileiros, portugueses e espanhóis. Os sujeitos participaram voluntariamente desta pesquisa e se solicitou que fornecessem um consentimento informado. A pesquisa foi conduzida, conforme o método clínico piagetiano, por um experimentador (o primeiro autor deste artigo), que realizou as entrevistas individuais, em português e em espanhol, conforme o caso. Devido às diferenças de idioma ou de nacionalidade, algumas vezes foi preciso que o entrevistador questionasse o significado de certos termos utilizados pelos sujeitos. As entrevistas foram registradas em áudio, o tempo médio de duração das entrevistas foi de 40 minutos. Posteriormente, todas as entrevistas foram integralmente transcritas em protocolos e, então, analisadas minuciosamente, por todos os autores, na fase de escrutínio.

A tarefa desse estudo envolveu a sublimação do iodo em um sistema aberto (Stavy, 1990a e 1990b). Mostra-se ao sujeito uma pequena porção de uma substância sólida acinzentada e um pouco brilhante (iodo, cerca de 1 g) e se pede para descrevê-la. Pergunta-se o que acontecerá quando essa substância, dentro de um tubo de ensaio aberto, for aquecida à chama. O experimentador procede com o aquecimento e solicita ao sujeito observar e descrever o que ocorrerá. São feitas perguntas sobre as descrições e justificações dadas pelo sujeito (quando aquecido o sólido cristalino iodo é transformado em um gás violáceo mais denso que o ar, que quando em contato com as paredes frias do vidro volta a cristalizar, formando limalhas). Durante essas perguntas, o experimentador retira o tubo do aquecimento e continua o questionamento. São feitas perguntas sobre a reversibilidade do processo.

Antes de apresentarmos os resultados de nossa investigação cabem alguns comentários sobre as diferenças de condução entre as entrevistas clínicas realizadas para esta pesquisa e aquelas relatadas por Stavy (1990a). As perguntas de Stavy foram sobre a conservação da matéria (por exemplo, “existe matéria⁵ (ou alguma coisa) no tubo de ensaio aquecido?”), sobre a conservação das propriedades da substância (por exemplo, “se álcool é adicionado junto ao cristal de iodo, forma-se o iodo medicinal marrom; se álcool é adicionado ao tubo aquecido, essa solução de iodo será formada?”), sobre a conservação de massa (por exemplo, “o peso dos tubos, aquecido e não

⁵ Ver nota 3.

aquecido, são iguais ou diferentes; caso sejam diferentes, qual é o mais pesado?”), e sobre a reversibilidade do processo (por exemplo, “pode o iodo sólido ser reobtido? Como?”).

Nossos questionamentos foram direcionados à antecipação (“o que você acha que vai acontecer quando (...)?”), descrição (“está acontecendo alguma coisa?” e “como você pode descrever o que está acontecendo?”) e justificação (“como você pode me explicar o que você está observando?” ou “como você poderia explicar para um amigo seu o que você está notando?”) dos fenômenos observados pelos sujeitos participantes da pesquisa. As questões sobre conservação e reversibilidade foram colocadas durante os questionamentos sobre a descrição, explicação e justificação dos fenômenos. Além disso, muitas vezes, foram feitas perguntas com sugestões (“um colega seu que eu entrevistei me disse que (...), o que você acha disso?”) e contra-sugestões (“por outro lado, outro colega seu me disse que (...), então o que você pensa disso?”) com o intuito de conferir a solidez da interpretação dada pelos sujeitos aos fenômenos que fazem parte da tarefa. Nesse sentido, entendemos que nosso questionamento é temporal e conceitualmente mais amplo do que aquele realizado por Stavy (1990a), permitindo obter um conjunto de dados mais denso e rico para as análises.

Conforme é sabido, as mudanças de estado da matéria envolvem tanto a conservação da matéria e quanto a conservação da substância⁶. Algumas constatações sobre as mudanças de estado da matéria estão ao alcance da generalização empírica (Piaget, 1971), estabelecendo vínculos de legalidade em relação aos fenômenos observados, como por exemplo:

- Todos os sólidos, quando aquecidos a certa temperatura, fundem.
- Todos os líquidos, quando aquecidos a certa temperatura, evaporam.
- Todos os gases, quando arrefecidos a certa temperatura, liquefazem.
- Todos os líquidos, quando arrefecidos a certa temperatura, solidificam.

Em relação à tarefa apresentada nesse estudo, além do mais, podem ser acrescentadas outras orientações de legalidade, que, no entanto, não estariam ao alcance da generalização empírica:

- Alguns sólidos, quando aquecidos, volatilizam.
- Alguns gases, quando arrefecidos em certas condições, cristalizam.
- Alguns gases são coloridos.
- Alguns gases são mais densos que o ar.
- Raras substâncias, quando mudam de estado da matéria, mudam de cor.

A explicação para todas essas relações de legalidade envolve a utilização de um modelo causal, do qual podem fazer parte os esquemas de compressão/descompressão (Piaget e Inhelder, 1971) ou de cerrar/descerrar (Piaget, 1971), bem como a noção de atomismo. Portanto, a explicação causal para as relações de legalidade envolve, em seu nível mais elevado, a atribuição de modelos corpusculares às substâncias e às mudanças de estado que elas sofrem.

Assim, baseados nos resultados de pesquisas anteriores (Bovet, 2000; Eichler, Parrat-Dayan e Fagundes, 2008; Piaget, 1971; Stavy, 1990a e 1990b), podemos estabelecer algumas hipóteses para o presente estudo, que são:

1. Todos os sujeitos apresentarão as relações de legalidade que estão ao alcance da generalização empírica.
2. As relações de legalidade que não estão ao alcance da generalização empírica serão pouco manifestadas, inclusive pelos sujeitos adultos.

⁶ De forma complementar, as reações químicas envolvem a conservação da matéria, mas com transformação da substância. Essa ressalva será útil mais adiante.

3. Na sublimação do iodo, devido às relações de legalidade não estarem ao alcance da generalização empírica, serão encontrados diferentes níveis de conservação da substância e de conservação da quantidade da matéria.
4. Os sujeitos dos níveis mais avançados, onde há conservação da substância e de quantidade da matéria, explicarão as relações de legalidade através de modelos corpusculares com diferentes graus de entendimento.

Resultados e discussões

Na experiência realizada por Stavy (1990a), a categorização foi feita de acordo com o nível escolar e o sucesso da resposta do sujeito em cada um dos quatro conjuntos de perguntas realizadas durante a entrevista clínica, conforme relatamos na secção anterior.

Por outro lado, nos experimentos descritos em Piaget (1971), os excertos das entrevistas clínicas foram apresentados conforme os níveis de explicação manifestos pelos sujeitos, de acordo com a hipótese estruturalista subjacente à epistemologia genética piagetiana. Os níveis, portanto, supõe uma estruturação. Neste trabalho, buscou-se fazer uma categorização dos excertos que até envolvesse alguma hierarquização e sucessão, mas sem buscar alguma estruturação subjacente a tais categorias, pois nosso trabalho não tem um enfoque genético, uma vez que não foi realizado com crianças.

Nossa investigação teve como objetivo evidenciar a diferenças de concepção dos participantes da pesquisa em cada uma das etapas da tarefa: descrição inicial, aquecimento do tubo de ensaio, retirada do tubo de ensaio da chama e reaquecimento. Nossas perguntas foram mais amplas e a própria duração das entrevistas foi maior. Houve certa dificuldade em categorizar as respostas dadas durante a entrevista, assim se optou por categorizar as respostas sem levar em conta as repostas dadas pelos sujeitos ao reaquecimento do iodo cristalizado, que envolve e evidencia fortemente para os sujeitos a reversibilidade do processo. Portanto, a Tabela 1 apresenta a distribuição das categorias, entre os sujeitos adultos e adolescentes, para as mudanças de estado analisadas.

Tabela 1 – Distribuição das categorias em adolescentes e adultos para as mudanças de estado do iodo.

Categorias	Adolescentes	Adultos
Categoria I	7	0
Categoria II	7	10
Categoria III	0	3
Categoria IV	2	1
Categoria V	0	2
Categoria VI	0	3

Nas três primeiras categorias a substância inicial (iodo), que será aquecida, é entendida como uma substância composta. Na Categoria I não há qualquer tipo de conservação e reversibilidade, e uma das substâncias que faria parte do material inicial é considerada imaterial, sem peso, contendo apenas a propriedade cor. Na Categoria II também não há conservação, mas se atribui massa (peso) ao gás violáceo que escapa de dentro do material sólido por aquecimento. Na Categoria III, há conservação da substância, no aquecimento a substância composta é desunida, voltando a estar reunida no resfriamento. Nessa categoria também há conservação da quantidade da matéria e se antecipa a reversibilidade do processo (produção de cor no reaquecimento).

Nesse sentido, depreende-se que a maior parte dos sujeitos participantes da pesquisa supôs

que o material posto em aquecimento seria composto. Talvez isso esteja relacionado com as diferenças perceptíveis entre os estados físicos do iodo, que é cinza quando sólido e violáceo quando gasoso.

Nas categorias IV e V não há conservação da substância, a formação da substância violácea envolve algum tipo de transformação ou de reação do material inicial. Na Categoria IV, o material inicial reage com o calor, que é entendido se forma substancialista, mas sem a propriedade peso. Assim, nessa categoria há a conservação da quantidade da matéria. Na Categoria V, supõe-se que o material inicial reage com o ar, por exemplo. Aqui não há conservação de quantidade da matéria.

Finalmente, na Categoria VI são utilizadas noções de sublimação e cristalização. Ou seja, ainda que os sujeitos não a declararem, a idéia de conservação da substância foi utilizada por um pequeno número de entrevistados.

A seguir apresentamos alguns excertos das entrevistas clínicas com o intuito de descrever as diferentes concepções de adolescentes e de adultos sobre as mudanças de estado do iodo. Os trechos apresentados são representativos das concepções predominantes em toda a entrevista. Uma coleção maior de excertos pode ser encontrada em Eichler (2004).

Categoria I

O material é considerado composto por uma substância sólida e por outra cujo estado é difícil de ser descrito, podendo ser um líquido ou um gás. Entretanto, na maior parte das vezes, esse segundo constituinte é visto apenas como algo que confere cor ao vidro do tubo, cujo estado da substância não é identificado. Essa matéria corante, inclusive, não teria massa ou peso, ou esse seria desprezível. O corante, de alguma forma, estaria contido dentro da matéria sólida. Quando o tubo é posto no aquecimento, o corante é liberado e tingem o tubo de ensaio. O aquecimento, o calor ou fogo provocaria também a desunião do material sólido, arrastando suas partes, as limalhas, para mais acima do tubo, onde se fixariam. Quando o tubo é retirado do aquecimento, gradativamente, a cor se esvaece. A cor pode voltar quando o tubo novamente for aquecido, pois ainda haveria corante junto às limalhas. Porém, há sujeitos que expressam que a cor não voltaria, uma vez o material inicial já teria liberado toda sua cor violácea. Em resumo, a única transformação interpretada para o material inicial é sua fragmentação, não ocorrendo outro tipo de transformação de estado ou de natureza.

O material inicial é percebido de diferentes maneiras:

FRE (12,6)⁷: Parece ferro. Parece o ferro, quando ele é cortado. Existem pequenos pedaços que brilham.

ALE (12,8): Parecem pintura. Quando se raspa alguma coisa, por exemplo, que tá brilhante, pintura, quando tá seca e se raspa...

A previsão feita para o aquecimento do material original leva em consideração o comportamento de substâncias conhecidas:

SAN (11,8): Hã... Vai transformar-se em líquido? E: Por quê? SAN: Porque vai aquecer e vai..., vai... Não sei como explicar... Vai... Como, por exemplo, quando se mete manteiga

⁷ Neste artigo será seguida a seguinte convenção: haverá uma abreviatura de três letras para o nome dos sujeitos e a idade deles estará entre parêntesis, indicando anos e meses, separados por ponto e vírgula. As questões realizadas pelo entrevistador serão antecedidas da seguinte referência "E:".

dentro de um tacho e bota-se no fogão, derrete.

ALE (12,8): Por exemplo, se pegamos um bocado de gelo, por exemplo, numa panela, e ferve, vai aquecendo o gelo, vai se formando água.

A descrição do aparecimento da cor violeta é feita de diversas maneiras, mas se mantém a idéia que a cor está no vidro do tudo de ensaio:

E: Da onde tá vindo essa cor? *CAI (11): Das pedras.* E: A cor estava dentro delas? *CAI: Não.* E: E porque surgiu essa cor roxa⁸? *CAI: Não sei.* E: Essa cor é o que: é o vidro que tá ficando roxo ou é alguma coisa que tem dentro do vidro que tá ficando roxo? *CAI: É o vidro.*

E: É o tubo que tá ficando violeta ou alguma coisa que tem dentro do tubo que tá ficando violeta? *DAN (14): É por causa da substância que tem dentro, deve ser violeta, e com o calor, tinge o tubo.* E: Então é o tubo que tá ficando violeta e não nada que tenha ali dentro? *DAN: Uhm... O que tá dentro sumiu.* E: Sumiu ou subiu? *DAN: [O experimentador tira o tubo da chama e o leva para próximo do sujeito] O que tá dentro já não... Pintou o resto do tubo e ao pintar... Era tipo um colorante a pintar o vidro.*

Uma vez que a fluidez é uma característica típica dos líquidos, a cor violeta é interpretada como sendo de um líquido:

E: Essa cor violeta é o que? *DIE (13,5): Parece vinho.* E: Mas é um líquido essa cor violeta? *DIE: É.* E: [O experimentador faz o gás escorrer pelo tubo]. Ela parece um líquido? *DIE: Sim.*

A característica fluída da matéria de cor violeta pode provocar uma reorientação da hipótese manifesta ou seguida pelo sujeito, ocasião onde ele pode, inclusive, interpretar o calor de forma substancialista:

E: Tu notas a cor roxa escorrendo? *CAI (11): Sim.* E: O que tá escorrendo é o que? É um líquido? *CAI: Não [risos].* E: É o que? *CAI: Calor.*

A justificação dada ao aparecimento da cor sugere as formas como os sujeitos interpretam a composição do material inicial. O posterior surgimento de um material brilhante mais acima do tubo de ensaio, na forma de limalhas, também auxilia a interpretação das idéias dos sujeitos sobre a composição do material inicial:

E: Tu notas mais alguma coisa além da cor roxa no vidro? *CAI (11): Brilhantes.* E: Esses brilhantes que estão aí, o que eles são? *CAI: Estavam nas pedras.* E: Estavam nas pedras ou são as próprias pedras que vieram parar aqui em cima? *CAI: Não, as pedras, não.* E: Como é que vieram parar aqui em cima? *CAI: Com o calor da vela.* E: Empurrou-las pra cima? *CAI: Uh-hum.*

O esvaecer da cor é outra ocasião propícia a auxiliar a interpretação das idéias manifestas pelos sujeitos:

E: Tu nota alguma coisa acontecendo com a cor roxa? *CAI (11): Tá a se ir.* E: Ir-se para onde? *CAI: Não sei.* E: Tá saindo pra fora do tubo? *CAI: Parece que sim.* E: Mas tu notas a cor roxa saindo pra fora do tubo? *CAI: Não.* E: E como é que tu achas que ela tá saindo pra

⁸ O sujeitos utilizam diferentes nomes para a mesma cor: azul, lilás, roxo e violeta, por exemplo.

fora do tubo? CAI: [O sujeito indica o vidro] *Por aqui*. E: Pelo vidro mesmo, ela tá saindo pelo vidro? CAI: *Sim*.

Os sujeitos que podem ser enquadrados nessa categoria manifestam diferentes opiniões sobre a conservação de quantidade de matéria, mas a maioria deles indica que a quantidade não se manteve, podendo após as transformações indicar que há maior ou menor quantidade do que havia inicialmente. E isso depende de suas idéias sobre a composição do material inicial:

E: Esses pontos brilhantes, que tem aqui em volta do tubo, se eu reunisse todos eles, teriam a mesma quantidade daquilo que eu tinha mostrado pra ti na ponta da colher? SAN (11,8): *Hã... Acho que sim. A pedra tinha brilhantes*. E: Então teriam a mesma quantidade, se reunisse tudo? SAN: *Acho que tem mais*. E: Porque tu achas que tem mais? SAN: *Porque aqui tem muitos mais brilhantes. É muito mais*.

ALE (12,8): *Não. Teria menos*. E: Porque agora tem menos? ALE: *Porque... As pedras foram se..., como dizer, fez-se líquido e subiram. E Quando era, total... A água, por exemplo... Algumas partiram-se em bocados pequenos e ficaram colados no vidro*. E: E essa parte que se perdeu, de antes, ela foi pra onde? ALE: *Vaporizou-se*. E: E saiu pelo tubo? ALE: *Não sei*.

Entretanto, pode haver quem indique uma conservação de quantidade, pois não atribui massa (peso) à matéria que confere cor ao tubo de ensaio:

DAN (14): *Sim, só que como tá tudo colado, vai fazer ou maior ou mais pequeno, depende. Só que... Agora, é a mesma quantidade, só que tá colado*. E: E porque o tubo ficou violeta antes? DAN: *Por causa das pedras, com o calor tinge, certamente, e ao tingir, ficou o tubo violeta. Até ficar, até tirar do calor*. E: Aquela cor violeta, que tinha antes, ela tinha peso? DAN: *Não. Não parecia. O que tem peso é isso [o material preto]*. E: Aquela cor violeta era alguma substância, alguma coisa? DAN: *Devia ser um colorante que estava nas pedras*. E: E esse colorante que estava nas pedras, ele escapou de dentro das pedras? DAN: *Com o calor fez-se ir a cor*.

Se no reaquecimento aparecerá cor novamente ou não, isso depende de quanto corante a substância teria perdido inicialmente.

O enquadramento dos sujeitos nessa e nas outras categorias não leva em consideração as percepções e as justificativas dadas pelos sujeitos sobre a reversibilidade da transformação sofrida pelo material inicial. Entretanto, alguns excertos de protocolos permitem mostrar o quanto a interpretação da reversibilidade da transformação sofrida pelo material inicial auxilia a compreensão da conservação da substância, ou seja, da natureza da matéria:

E: E da onde surge, de novo, esse fumo? ALE (12,8): *Daquelas pedrinhas, vaporizaram-se*. E: Esse fumo sai das pedrinhas ou ele é as próprias pedrinhas que se vaporizaram? ALE: *As pedras que se vaporizaram*. E: Porque essas pedras se vaporizam? ALE: *Se mete no calor, vão derreter, depois, se deixar no calor, vai se vaporizar*.

Categoria II

O material é considerado composto por duas (ou mais) substâncias: uma sólida, que confere a aparência externa ao material; e outra fluída, de cor violeta, que está contida no interior da crosta sólida. Ao aquecer o material, ele “se abre” e o fluído escapa, carregando os fragmentos sólidos

para cima e os depositando nas paredes do tubo. Quando o tubo é resfriado, após ser retirado da chama, o fluido escapa do tubo. Há dificuldades de explicar a reversibilidade do fenômeno.

O material inicial, novamente, é percebido de diferentes maneiras, mas dessa vez de formas mais elaboradas:

RHY (11): Como aquela coisa que tem no lápis, mas mais preto.

CAT (21): Um metal ou talvez seja um ente intermediário, talvez não seja um metal.

EDE (26): Feldspato, se eu não me engano...

SOC (36): Polvorazinha, pólvora.

A previsão feita para o aquecimento do material original leva em consideração o comportamento de substâncias conhecidas, onde novamente são manifestadas hipóteses mais elaboradas e indicadas de maneira condicional:

RHY (11): Vai partir em fumo. E: Porque tu pensas assim? RHY: Hã... Porque ele fica líquido. Porque ele é duro, antes. É como o carvão quando tu põe no fogo, ele vai queimar e depois vai partir em fumo.

E: Eu vou pôr dentro do tubo e vou levar o tubo à chama, o que tu pensa que vai acontecer?
FAB (12,6): Hã... Vai ter um certo gás, com cor. E vai fluir! [onomatopéia], vai subir. E: Porque tu achas que vai sair um gás? FAB: Porque isso aqui aquecendo vai transformar-se em gás. Vai se encher de gás lá dentro. E esse gás tem cor. E: E o gás tá dentro da pedrinha? FAB: Tá dentro e, também, há um bocado fora. Fora é o gás que tá seco, que tá duro. E dentro tá o gás que não tá sólido, que tá assim como outra coisa.

STE (25): Não formei uma idéia muito boa do que poderia acontecer. Hã... Talvez como a se..., se é um metal, poderia começar a..., como é que se chama isso? E: Derreter? STE: Não. E: Enrubrecer, ficar vermelho? STE: Sim, pode ser. E: Como o ferro, por exemplo, quando a uma temperatura muito grande, fica todo vermelho? STE: Sim, sim.

E: O que tu acha que vai acontecer quando eu botar ela no fogo? *EDE (26): Se for feldspato não derrete. E: E se for outra coisa? EDE: Provavelmente ela vai derreter. E: Porque ela vai derreter? EDE: O calor... Se for meta... Alguma coisa ligado ao metálico, porque o... A mica se eu não me engano, ela pode ser... O feldspato com maior intensidade. Não com esse foguinho [a chama da vela] aí, não. Acho que com um calor mais forte. Que ali não deve chegar a 100 graus. Só essa velhinha, provavelmente não chega a 100 graus, não. Mas, provavelmente vai derreter, sim, sim.*

A descrição do aparecimento da cor violeta feita pelos sujeitos é um das primeiras pistas que podem ser seguidas para identificar as idéias que eles têm sobre a composição do material original:

E: E de onde surge essa cor? *JOA (11): Das pedras. E: E como surge essa cor? JOA: É a cor delas. E: Mas elas não eram cinza, pretas antes? JOA: Pareciam.*

MIC (11): Sai das pedras. E: Tava dentro das pedras? MIC: Sim. E: Dentro das pedras tinha um líquido roxo? MIC: Sim, mas se vendo por fora elas são pretas.

FAB (12,6): Começou a mudar. Tá a ficar fluído. Está o gás a aparecer um pouco. Está

ebulindo e há de... Rrruff! [onomatopéia]. *Está se ouvindo a pedra a estalar e o gás a se ir.*
E: Esse gás surgiu da onde? *FAB: De dentro da pedra.*

E: E de onde vem essa cor? *PAL (20): Do mineral. Com o fogo, com o calor, há um processo químico que faz com que...* E: A cor sai de dentro do mineral? *PAL: Sim, sai de dentro da pedra. {...}*⁹ *PAL: Sim, com o calor há um processo de extração da substância, que acontecendo isso... O calor fez com que, sim, isso, que se extraísse essa cor dentro dessa substância.*

E: Essa cor roxa é da mesma matéria das pedrinhas que eu tinha te mostrado? Ou é outra coisa? *CAT (21): Assim, deve ser da mesma matéria, mas ela pode ser roxa, por ter entrado em contato com o oxigênio, por exemplo, fazendo uma oxidação, ou ela pode... Ou, então, as pedrinhas que tu me mostraste talvez fossem uma mistura de diversas coisas e aí tivesse havido uma separação dos diversos elementos.*

EDE (26): Essa cor violeta sai da pedra, pelas explosões da pedra. A cada explosõezinhas dela, a cor violeta surge, ou essa cor surge. Ah, então a pedra vai se desfazendo...

GIS (46): A pedra virou um ar e coloriu o fundo, todo o fundo do tubo. E: O que coloriu o fundo do tubo? *GIS: Eu acho que é o ar que saiu dessa pedra. E essa pedra não virou líquida nem pasta.*

A fluidez da matéria de cor violeta, mais uma vez, causa dificuldades na atribuição do estado físico da matéria:

E: E essa cor roxa é o que, é um líquido? *LUA (11): É.* E: [O experimentador tira o tubo da chama, leva-o próximo ao sujeito e inclina-o, fazendo gás escorrer]. É um líquido essa cor roxa? *LUA: Ah, não. É um ar.* E: Um ar? *LUA: Não sei, acho que é.*

JOE (13,6): Essas pedras, da onde vêm? Porque não são pedras normais, são especiais. E: Porque tu achas isso? *JOE: Porque, normalmente, as pedras normais não derretem, não mudam, não sai essa água violeta.* E: E o que tu acha que ela tem de especial? *JOE: Tem, que tem, esse produto então, lá dentro. Então, pra mim é especial.*

E: É um líquido? *PAL (20): Não, não sei o que é... É líquido, sim, é líquido.* E: [O experimentador inclina o tubo e deixa o gás escorrer]. Porque tu pensas que é líquido? *PAL: Escorre. {...}* *PAL: Não, não. Ela é... é vapor.* E: Essa substância é vapor? *PAL: Não, é algo..., não é material. Ou seja, não é...*

O posterior surgimento de um material brilhante mais acima do tubo de ensaio, na forma de limalhas, também auxilia a interpretação das idéias dos sujeitos sobre a composição do material inicial. Além disso, permite evidenciar as justificativas que os sujeitos dão para a transformação ou o deslocamento do material inicial ou de uma fração dele:

E: E tu nota alguma outra coisa no tubo? *RHY (11): Uns pequeninos pontinhos em outras partes.* E: Como elas aparecem por aqui? *RHY: Por causa do calor.* E: O que o calor faz? *RHY: Ele quebra elas.* E: Essas pequenas pedrinhas são da mesma matéria, da mesma substância do violeta? *RHY: Não.*

E: E tu notas mais alguma coisa além do gás? *FAB (12,6): Tá a fazer palhetas. Palhetas aqui por cima...* E: Porque estão surgindo essas pedrinhas, essas palhetas? *FAB: É a pedra*

⁹ Neste artigo, as chaves {...} indicam uma passagem de tempo no decorrer da entrevista.

que estalou, que subiu. {...} E: E o que acontece para essas palhetas surgirem aqui em cima? FAB: *É... Com o calor, porque estala, fez pluff! [onomatopéia], explodiu. {...}* E: Uma outra pessoa que eu entrevistei, me disse que quando eu aqueço essas pedras, elas se dividem em duas coisas, um gás violeta e outra essas pedras que vem parar aqui em cima. Tu achas que ela me disse certo? FAB: *Pois, mesmo antes de aquecer elas já tem duas coisas. Tem fora, que é pedra. E dentro que é o gás. Como a Terra.* E: Como a Terra? FAB: *A Terra tem uma coisa dura, por fora, e lá dentro tem o gás, em fusão.*

E: E essa cor [violeta] é da mesma substância dessas pedrinhas, dos cristais que tu vê no vidro? JOE (13,6): *É.* E: São a mesma coisa? JOE: *Sim.* E: Mas porque elas são diferentes então? JOE: *Porque com o calor mudou. Ou senão, foi quando ela abriu, né. Com o calor, ela abriu, a pedra. E tinha esse produto aí, esse produto saiu e, depois, no fim, o resto se abriu, e ela foi pra cima, com o calor. Foi ainda mais pra cima do que esse líquido que tinha lá. Depois ficou aqui, porque não tinha mais calor, senão subia mais.*

E: Esse brilho são pedrinhas também? E vem da onde? MAR (25): *Eu acho que parte evaporou e parte se transformou nisso aí.* E: E como é que elas vieram parar aqui em cima? MAR: *Talvez sofreu alguma pressão, por causa do fogo... E parece que tá sumindo, um pouco, a cor.*

STE (25): *Uma parte da substância, dessas pedrinhas, deveria ser isso que se transforma naquela coisa violeta. Bom, sim, mas... Isso eu diria que, aqui, pra mim, como isso se apresentou, eu acho que a substância era a..., que a substância se dividiu em algumas partes mais firmes e em algumas partes mais, mais..., um tipo de gás.*

GIS (46): *Parece que separou três coisas que tinha nessa pedra: uma coisa preta, uma coisa prateada e uma coisa que a gente não via que era essa cor vermelha. Agora eu não sei.*

O esvaecer da cor é outra ocasião propícia para auxiliar a interpretação das idéias manifestas pelos sujeitos:

E: O que está acontecendo com a cor? CAT (21): *A cor está ficando cada vez mais clara.* E: Porque ela está ficando cada vez mais clara? CAT: *Talvez haja mistura com o ar exterior.* E: O ar exterior estaria entrando dentro do tubo? CAT: *Hum... Ou então, como tá quente, o gás que tava aí, nas cores cor de rosa, tá ocupar mais espaço, difundir... Ou saindo do tubo, em todos os casos, ocupando mais espaço e diminui a concentração de cor.*

STE (25): *A substância [violeta] sai do vidro, talvez.* E: Tu a vê saindo do vidro? STE: *Se eu vejo? Não, claramente não. Seria uma possibilidade ou poderia se juntar, de qualquer modo, com a substância aqui, que surgiu daquela substância. Ou, que mais, eu acho que isso não é correto, mas poderia ser, que a cor desaparece, mas a substância resta lá, mas eu acho que isso não deveria ser.*

EDE (26): *Ah! Pelo oxigênio... Não, não tem nada a ver. Tinha oxigênio antes. Não, tá sumindo completamente. É por causa do calor. O calor fez com... Esse elemento químico que tava aí, dentro dessa pedra, que compunha essa pedra, pelo calor ele se transformou em violeta e, agora, pela baixa de temperatura, tá sumindo. Tá se tornando da cor que não tem cor.*

Nessa categoria, mais uma vez, não há conservação de quantidade da matéria, visto que se pensa que algo que compunha o material inicial se perdeu para exterior:

FAB (12,6): Não. E: Por quê? FAB: Já não teria o gás e o gás tava na pedra.

JOE (13,6): Acho que não. E: Porque tu achas que não? JOE: Porque já... porque era como se eu rasgava o papel. Porque colando, ficando um pedacinho ou dois que faltavam. Então, aqui, creio que a mesma coisa, colando, vai faltar umas duas ou três coisas. Então, não poderia ser a mesma coisa, não poderia ser exatamente, mas quase.

CAT (21): Acho que não, acho que alguma coisa deve se ter perdido. E: E o que é essa coisa que teria se perdido? CAT: Se, por algum acaso, alguma coisa foi, por exemplo, por evaporação, talvez tenha perdido e tenha diminuído, infelizmente, as quantidades e a... Ou, talvez, haja uma mistura com o... Não sei.

MAT (27): As partes menos, como eu falei antes, as partes menos sólidas, que são mais..., mais sensíveis ao calor, evaporaram. Saíram pelo bico do tubo, por isso que eu acho que a quantidade, se a gente raspar tudo, não vai ser a mesma que a pedra no começo.

A previsão sobre o comportamento do material sólido que ainda se encontra no tubo frente ao reaquecimento é outro momento que auxilia a inferência sobre as idéias utilizadas pelos sujeitos para interpretar o material inicial e suas transformações:

E: E se eu aquecer agora essas pedrinhas que estão em volta do tubo, o que tu acha que vai acontecer? JOA (11): Vão vir pra lá... E: E tu achas que vai surgir a cor violeta de novo? JOA: Não. E: Porque tu achas que não? JOA: Porque surgiu uma vez e os brilhantes foram pra cima.

E: Essas pedrinhas que tem no tubo, se eu aquecer elas o que vai acontecer? RHY (11): Vai voltar o violeta. E: Por quê? RHY: Porque... Porque, eu penso que se isso for a mesma coisa que antes, só que em pequeninas partes, elas vão ainda se quebrar e vai ter a cor violeta.

PAL (20): Eu penso que... Uhm... Aí... [Risos]. Não sei. Eu diria que... A cor se misturou com o ar, agora, não. Eu creio que... E: Não sairia a cor novamente? PAL: Creio que não.

Novamente, os excertos de protocolos permitem mostrar o quanto a interpretação da reversibilidade da transformação sofrida pelo material inicial auxilia a compreensão da conservação da natureza da matéria:

E: Se você tivesse que explicar para um amigo teu, porque fez essa passagem das características da pedra e depois o espalhamento das pedrinhas, e da onde é que surge a cor, como é que tu explicarias isso? EDE (26): Pelo meio, pelo intermédio do calor. E: Qual o efeito do calor nisso? EDE: O calor provoca, na tal pedra, uma reação... Talvez, seja gás. Talvez seja um certo gás que sai dela, ou sei lá, essa coisa violeta que sai dela, com o calor. Explode ela, faz esse efeito de... Violeta, e esse pouquinho preto que tá ali. É através do calor, o calor provoca essa reação na pedra. Ele dissolve completamente a pedra... E: Se teu amigo não entendesse qual é a ação do calor nessa pedra, como é que tu poderias explicar de forma diferente para ele? EDE: Se ele não entende qual é a reação do calor sobre essa pedra... Eu falaria que aquecendo essa pedra, essa pedra se desfaz completamente, bom, quase completamente, porque aqui em cima ainda tem um pouquinho [grãos brilhantes]. Aí, ela vai se... Tem aquela parte... Ô, ô, impressionante! Se dissolve... Ué, do sólido passa para o gasoso... É gasoso, claro. Do sólido passa para o vapor, gasoso. Não tem mais pedra nenhuma aí dentro. É mágica! [risos]. E: Esse gás é da mesma matéria desse sólido? EDE: Não. O sólido, o que tá ali dentro... Se eu conseguisse reconstituir, sei

lá por que meios, claro que são os mesmos componentes, se nada evaporou desse tubo de ensaio. Oh, ué, são, é aquela pedra, eu não posso dizer que não. E: E como acontece essa passagem do sólido para o gás? *EDE: Através do aquecimento da tal pedra, ela se transforma de sólido para gasoso. Que pedra interessante essa! Dá pra fazer mágica! “Aqui tem uma pedra...”*.

Entretanto, essa oportunidade não é aproveitada por todos os sujeitos, que descartam suas hipóteses anteriores, mas algumas vezes não conseguem a substituir por uma alternativa ou criam alguma justificacão *ad-hoc*:

E: E porque surgiu o gás, agora? *FAB (12,6): Porque as pedras eram tão pequenas que derreteram e ficaram em gás, tornou-se outra vez a matéria primeira.* E: Então, antes o gás tinha voltado para dentro das pedras? *FAB: Não. Era a pedra que estourou, mas não ficou em gás ainda.* E: Ah, ainda agora continua esse processo? *FAB: Uh-hum.* E: E o que vai acontecer com o gás agora? *FAB: A mesma coisa do que antes, vai transformar com o oxigênio.* E: E vai sair pra fora? *FAB: Pois!* E: Esse gás não é da mesma substância das pedrinhas que surgem em volta do vidro? *FAB: Não.*

E: E porque surge essa cor violeta? *NJI (24): Ah, assim já não sei... Destruíste minha teoria toda [risos]. Mas o violeta parece um gás...* E: Porque tu achas que parece um gás? *NJI: Porque quando..., quando tu fazes assim [O sujeito simula com a mão um movimento de inclinação do tubo], tem tendência a sair.*

Categoria III

O material é considerado composto por duas ou mais substâncias. Uma é sólida, de cor acinzentada, e a outra fluída, de cor violeta. Essas substâncias podem estar agrupadas uma ao lado da outra, ou encaixotadas, como na categoria anterior. Ao aquecer o material, ocorre a separação dos constituintes. O fluído escapa, carregando os fragmentos sólidos para cima e os depositando nas paredes do tubo. Quando o tubo é resfriado, após ser retirada a chama, o fluído e o material sólido voltam a ser unidos.

Essa categoria é semelhante à anterior. As referências dos sujeitos às características do material inicial e às previsões das transformações que possam ocorrer quando ele for posto à chama, bem como as justificativas para o surgimento da cor violeta e das limalhas junto à parte superior do tubo de ensaio são similares às declarações vistas anteriormente:

E: E de onde surge essa cor? *CAM (18): Pois não sei. Imagino que seja uma cor que já estava na pedra, mas que não se via quando ela está dura.* {...} E: E esse gás surge de onde? *CAM: De... Pois, não sei se uma parte da substância se torna gás e outra parte forma os cristais. Igual acontece com a cor.*

E: E essa cor roxa, surge da onde? *VOL (26): Deve surgir da..., da oxidação. Como tá queimando... Mas o negócio não tá virando líquido. Tá ficando... Tá virando gás, então.* {...} E: Esse gás roxo é da mesma substância daquelas pedrinhas que, inicialmente, eu te mostrei? *VOL: Eu acho que ela deve ser da mesma substância, mas um pouco mudada, por causa do fogo.* {...} E: E como as pedrinhas vieram parar aqui no vidro? *VOL: Só Deus sabe, meu filho. [risos]. Sinceramente, talvez, ela subiu com o gás.*

A maior diferença reside no que os sujeitos imaginam que acontece quando a cor se esvaece. Eles atribuem que a matéria colorida volta a se unir, de alguma forma, com o material sólido que se

encontra no tubo de ensaio, mais próximo do bocal. A separação e a reunião teriam influência da temperatura, ou melhor, como declaram, do calor. Vejam-se alguns exemplos, desde aqueles de hipóteses inseguras aos mais afirmativos:

E: Tu notas essa cor subindo, saindo do tubo? CAM (18): *Uhm... Não sei se é porque se mistura com o ar e fica menos... Porque a cor não pode desaparecer assim, não. Não sei o que acontece, mas está desaparecendo, isso sim.* E: E tu acreditas, então, que se está misturando com o ar? CAM: *Pode estar fazendo uma mistura com o ar, pode estar voltando para a substância essa [os cristais].* E: Volta-se a substância! Ela poderia estar atraindo a cor? CAM: *Não sei, porque me parece que daqui [a cor] não passa dessa substância [os cristais]. Parece que não sai para fora, mas não estou nada segura...*

ROB (36): *[...] Agora ele tá mudando de cor. Engraçado!* E: Como assim tá mudando de cor? ROB: *Ele tá desaparecendo. Tá perdendo a coloração. Agora ele tá perdendo a coloração e esse [os cristais na parede do tubo] tá aumentando. Esse tá aumentando... Realmente, estranhíssimo!* E: E como é que esse tá aumentando? ROB: *Olha, rapaz... A primeira coisa que me vem na cabeça, quando você me perguntou: “porque esse tá aumentando?”, é que de alguma maneira... A primeira coisa que me ocorreu é que esse mineral aqui teria absorvendo o gás, de novo, reagindo com o gás, de novo. Provavelmente isso.* E: E como seria essa reação de absorção do metal, pelo gás? ROB: *(...) Eu acho que, simplesmente, o gás reagiu, de novo. Provavelmente, eu não saberia te dizer, mas, provavelmente, restituiu a mesma substância de antes. Não tenho certeza, mas me dá a impressão de que essa é a mesma substância, depois de absorver o gás. Mesma substância inicial.*

Dessa forma, é de se esperar que os sujeitos enquadrados nessa categoria manifestem, também, idéias de conservação de quantidade de matéria:

ROB (36): *Bom, para eu te responder, não poderia ser de outra maneira a não ser com certos pressupostos. Ela teria se, teria a mesma quantidade se: nada se perdeu aqui, quer dizer, não evaporou pela boca do tubo, não me deu a impressão do gás violeta ter se evaporado, porque ele era mais denso que o ar, então ele permaneceu no fundo, não se dispersou; mas a gente tem que sempre imaginar que pode ter havido a liberação de um outro gás, de um outro gás, não visível, menos denso do que o ar, que se evaporou. A resposta seria: seria a mesma quantidade, se nada tivesse perdido. Mas não é óbvio que não tenha se perdido alguma coisa pela boca do tubo.*

Além disso, também, confirmam o reaparecimento da cor quando as limalhas forem submetidas ao aquecimento:

E: E vai haver cor? CAM (18): *Sim.* E: Por quê? CAM: *Pois... Pois, eu imagino que sim, não sei. Porque, se a cor foi, de verdade, à substância essa [os cristais], está fixada. Mas se a cor saiu afora e, não ficou cor aqui, não haverá cor. Não sei...*

ROB (36): *Provavelmente, o processo vai se repetir, se não houve a perda, por exemplo, uma transformação com perda de elementos. Então vamos supor, se tiver, na hipótese contrária a anterior, se alguma coisa se perdeu e que não foi detectado que a... A vista de olhos, a olhos vistos, né, quer dizer, se alguma coisa se perdeu, provavelmente, o processo não vai se repetir. Quer dizer, ou pode se repetir de uma maneira diferente, porque na ausência do elemento que se perdeu, o processo não é mais o mesmo. Mas se não se perdeu nada, como aparentemente não se perdeu, o processo vai se repetir.*

Nessa categoria, entretanto, o reaparecimento da cor não deveria causar instabilidade na hipótese explicativa utilizada pelos sujeitos. O reaparecimento da cor é condizente com a hipótese seguida pelos sujeitos. Porém, houve um caso de troca de hipótese, ao final da entrevista, supondo o processo de sublimação:

E: As pedrinhas que estão grudadas na parede do tubo eram da mesma matéria daquelas que eu tinha te mostrado na ponta do canivete? *ROB (36): Olha, aparentemente, sim. Aparentemente, sim. Agora, aquilo me parecia ser, então, alguma coisa de um cristal, alguma coisa assim. Porque, agora, elas ficam de uma forma dispersa. Agora, na verdade, não é um... Na verdade, isso aí, eu tô complicando demais, isso aí deve ser um processo de sublimação, simplesmente. Alguma matéria sólida que não passa para o estado líquido. Simplesmente passa do estado sólido para o gasoso e vice-versa. Eu acho que é muito mais simples do que eu pensei.* E: Dentro desse processo de sublimação, a cor violeta, o gás de cor violeta seria da mesma matéria desse sólido? *ROB: Seria exatamente da mesma matéria. Apenas, o estado, o estado é que dá uma aparência diferente. O estado da matéria é que dá uma aparência diferente.*

Categoria IV

O material inicial é considerado simples ou composto. Quando levado à chama, o material reage com o calor, resultando no fluído de cor violeta e, posteriormente, nas limalhas que surgem na parte superior do tubo.

A previsão do comportamento do material frente ao aquecimento à chama é feita em relação a esquemas anteriores, mesmo que carregados de confusões conceituais, ou obstáculos epistemológicos, como quando o calor é tomado como substância, expressando uma concepção substancialista:

E: Eu vou pô-las [as pedrinhas de iodo] dentro de um tubo de ensaio e vou levar à chama, vou pôr no fogo, o que tu acha que vai acontecer? *SAR (12): Vai desaparecer.* E: Desaparecer de que forma? *SAR: Um líquido.* E: Um líquido? *SAR: Vai fundir.*

DID (16): Uhm... Depende o que é... Se é uma substância capaz de pegar fogo, vai inflamar. Se é uma substância incapaz de reagir, que não inflama, vai derreter. E: Tu falaste em reagir. Como que poderia reagir essa substância? *DID: Com a fonte de calor.*

Nesse caso, o aparecimento da cor sugere a confirmação da hipótese formulada, ou adotada, pelo sujeito:

DID (16): Ah! Tá encarnado, roxo. E: O que é essa cor? *DID: É uma reação.* E: Uma reação com que? *DID: Com o calor.* E: Da onde surge essa cor? *DID: Da substância que estava dentro do tubo.* E: Essa cor fazia parte da substância antes? *DID: Não.* E: E porque surgiu essa cor violeta? *DID: Penso que é uma reação, que faz que... Penso que, a substância, quando é... Tá, quando tá... Que aqui, transformou-se em líquido, né.*

E: Da onde surge essa cor púrpura? *RAQ (21): Suponho que seja da reação das pedras com o calor.* E: Como seria essa reação? *RAQ: Como seria? É..., pelo aquecimento das pedras que vão, vão atrás... Os componentes químicos que têm e vai formar... E vai se transformar noutra substância. {...}* E: Como é que aconteceria a transformação de substância pelo calor? *RAQ: Como é que aconteceria...? Não estou a perceber a pergunta. [Risos]. Ah, desculpa.*

O comportamento fluído da cor, novamente, provoca dificuldades para a interpretação do estado da matéria:

E: É líquido? *DID (16): Não, não. Transformou-se em... Evaporou-se? Não. Não sei como explicar.* E: Porque tu pensas que evaporou? *DID: Hã... A substância não se evaporou. Acho que se transformou em cor.* E: E a cor é líquida? *DID: Não.* E: O que é essa cor? *DID: É... Uma... No tubo.* E: Essa cor tem peso? *DID: Tem peso? Acho que sim.*

O aparecimento de um material sólido, na parte de cima do tubo, sugere um deslocamento do material inicial provocado pelo fogo ou pelo calor:

E: E isso que tem aqui no tubo é o que? *SAR (12): É uma coisa dessas, dessa pedra.* E: E da mesma pedra que tinha antes? *SAR: Da mesma cor, sim.* E: Da mesma cor. E isso aqui que tem, é da mesma substância, da mesma matéria que tinha antes? *SAR: É.* E: E como é que isso apareceu aqui em cima? *SAR: Não sei... Ah, o fogo. O fogo queimou justo. {...} SAR: Agora a cor desapareceu...* E: O que aconteceu com a cor? Porque tu achas que ela desapareceu? *SAR: Virou em preto.* E: Ela se transformou em preto? *SAR: Acho que sim.* E: E porque ela se transformou? *SAR: Com o fogo. A vela.*

Dessa forma, há conservação de quantidade de matéria nessa categoria:

E: Se eu raspasse tudo isso que tá em volta do tubo, teria a mesma quantidade daquilo que eu te mostrei na ponta da colher? *SAR (12): Sim.* E: Por quê? *SAR: Porque... Ah, não sei... Não.* E: O que tu acha que vai acontecer quando eu aquecer, de novo, o tubo na vela? *SAR: Vai sair em grupo.* E: Vai se juntar de novo? *SAR: Uh-hum.* E: E vai sair cor? *SAR: Sim, o roxo.* E: Porque tu acha que vai sair a cor roxa, de novo? *SAR: Porque... Quando estava na chama, estava roxa. Depois está frio, a cor se foi.*

E: Essas pedrinhas que estão na borda do tubo, elas são... *RAQ (21): Elas são parecidas com a pedra original.* E: Se eu conseguisse raspar todas as pedrinhas e reunisse, elas teriam a mesma quantidade daquela pedra inicial? *RAQ: Sim, acho que sim.* E: E se eu aquecer essas pedrinhas que estão na parede do tubo, o que tu acha que vai acontecer? *RAQ: Vai acontecer, outra vez, a mesma coisa.*

As perguntas de sugestão e contra-sugestão são utilizadas para a reformulação da hipótese sobre as transformações do material:

E: Uma criança que eu entrevistei me disse que quando eu aquecia essas pedras, elas abriam e saía o gás violeta. E quando elas abriam, como se tipo, elas explodissem, essas partes metálicas, que ficariam em volta desse gás violeta – o gás estaria dentro das pedrinhas – viriam aqui pra cima. Tu achas que pode ser isso? *DID (16): Uhm... É, na teoria, poderia ser isso.* E: Ou tu explicarias de outra forma porque essas pedrinhas apareceram aqui em cima? *DID: Acho que a teoria é boa. Pois que, é por isso que ficaram aqui em cima. Pois explodiram. Pra mim, tá bom.* E: Uma outra criança que eu entrevistei, também, me disse que quando eu aquecia essas pedras, elas viravam um gás violeta e que, depois, quando esse gás vinha mais pra cima do tubo, como o tubo tava resfriado, elas viravam essas pedras, de novo. O que tu pensa dessa teoria? *DID: Não. Pra mim... Quer dizer, que as pedras transformavam-se em gás e, depois, como o tubo era... Ok! Pra mim a segunda é mais próxima da realidade que a primeira.* E: A primeira é mais próxima que a segunda? *DID: Não, a segunda é mais próxima que a primeira.* E: Porque tu achas que a segunda é mais

próxima? *DID: Penso que... Porque? Como vou explicar [risos]. Não sei, não sei como explicar. Mas pra mim, a substância tinha... Forma-se como a água, vapor, e... Depois, quando o tubo tava mais frio, virava a substância..., dura, como eram aquelas pedrinhas. Acho que era isso. E: Se eu aquecer, agora, essas pedrinhas que estão em volta do tubo, o que tu acha que vai acontecer? DID: Outra vez, a cor violeta. E: E depois? DID: E depois, quando... Depois vai vir outra vez à pedra.*

Categoria V

O material inicial é considerado simples ou composto. Quando aquecido ocorre alguma reação com o ar ou com o oxigênio, resultando no fluído de cor violeta e, posteriormente, nas limalhas que surgem na parte superior do tubo. O fluído violeta escapa do tubo com o passar do tempo ou quando o mesmo é retirado da chama. Há dificuldades de explicar a reversibilidade do fenômeno, por ocasião do reaquecimento.

O material inicial já é percebido de acordo com esse esquema:

E: Tu podes me descrever um pouco essa matéria? LAR (22): Pois, é uma substância, suponho, que seja, eu creio... Não sei se é um composto químico. Provavelmente, não sei, de tipo metálico, ou algo assim.

CAR (27): Isso me parece alguma substância metálica, algum óxido de substância metálica, alguma... {...} E: Parece alguma outra substância que tu já conheça? CAR: Parece iodo, por exemplo. Agora eu não saberia... E: Porque tu acha é o iodo, por exemplo? CAR: Ah, suposição de... Eu fui... Eu tenho uma formação anterior de química. Eu fiz química, não a nível universitário, mas a nível técnico. Eu estudei em escola técnica federal. Quer dizer, a gente vivia com esses balões, tubos de ensaio, balões de condensação...

A previsão sobre o que aconteceria com o material inicial, também, leva em consideração essa experiência anterior:

E: O que tu pensa que vai acontecer quando eu colocar isso dentro do tubo e levar ao fogo? LAR (22): Não sei. Poderia produzir uma mudança de estado, mas suponho que o processo pode ser... Não sei qual é o material, mas pode haver uma mudança de cor ou de... Poderia haver, sim, uma mudança de cor. E: Porque tu crês que há tantas possibilidades no que possa acontecer? LAR: Uhm... Não sei. Eu suponho que o que fez eu pensar em casos similares, em experiências com outros tipos de materiais e com coisas que podem acontecer. Mas, não sei, ainda.

O fluído é interpretado como um gás:

E: Essa cor é o que? É um líquido? LAR (22): Não, eu creio que é um sólido. Não sei. E: [O experimentador tira o tubo do fogo e leva-o em direção ao sujeito. Inclina-o e deixa o gás escorrer pelo tubo]. Te parece alguma coisa essa cor? LAR: Pois, um gás? Ah, é um gás. E: Porque tu pensa que é um gás? LAR: Por que... Bom, é um fluído, em princípio, não, creio. E creio que é um gás, por que... Não sei, o que me leva a pensar como um... Só pode ser um gás! Bom, por que..., ou seja, a característica dos líquidos é que tem um volume constante e esse gás se expande..., sim, quando se aquece, ele se expande e... Logo, sim... Tem uma densidade que, em princípio, parece similar ao do ar, ou algo assim, porque quando [faz um movimento com a mão que sujere a inclinação que o experimentador empregou ao tubo]... E, por isso, creio que é um gás.

Na categoria anterior, o material inicial reagiria com o calor, ou com o fogo, o que enfatizaria a compreensão substancialista do calor. Nesta categoria, o material inicial reage com o ar, ou com o oxigênio. Os produtos dessa reação seriam: i) a substância de cor violeta e ii) o sólido que se vê na parte superior do tubo de ensaio:

E: E da onde surge essa cor? CAR (27): *Essa cor surge da reação que aconteça..., da reação?!? Ou de uma propriedade que a substância tem, que quando aquecida, ela se divide, ela se separa e surge uma substância que detém essa propriedade. Ou, mesmo, ou quer dizer, a gente pra falar concretamente, bem precisamente, seria preciso saber se essa substância, ela tá sofrendo uma reação química, quer dizer, ao momento que você dá uma energia, existem compostos que reagem quimicamente, quer dizer, se transformam quimicamente. E: E reagiria quimicamente com que? CAR: Quer dizer..., há? E: Com que ela reagiria quimicamente? CAR: Ela reage com o ar, ou com o próprio vidro, que aí não deve ser o caso, pois tem substâncias que atacam o vidro, ou ela se decomporia em duas substâncias ou mais, e essas substâncias, por sua parte, possuem essas propriedades. Por exemplo, antes a gente tinha um composto, que a gente poderia dizer, um composto que não é um composto simples, é um composto que tem vários... Agora dá pra ver bem. Isso é um composto de um metal, em que você tinha, possivelmente, o..., se chama limalha, né. Essas limalhas que se depositam no vidro, ela conseguiu ser transportadas até aqui em cima, quer dizer...*

Nesta categoria, não haveria conservação da quantidade da matéria:

E: Se eu reunisse todos esses pequenos pedaços, que estão em volta do tubo, se eu os reunisse, teriam a mesma quantidade daquilo que inicialmente eu havia lhe mostrado? LAR (22): *É..., não. A mesma massa? E: Sim. LAR: Não, eu creio que não. E: Porque tu crês que não? LAR: Bom... É que, depende se o que eu disse antes estava bem, ou não. Mas, partindo de que se produziu uma reação química e se obteve várias substâncias, havia uma que era sólida e outra que era gasosa. Isso pode ser somente a gasosa... Então, a soma da gasosa com a sólida, ou seja, ou de todas as substâncias que se produziram com a reação química, a soma é que nos vai dar... Ah, não! Tento que por aí mais o ar, se supõe que reagiu com o ar, não sei. Uhm... Poderia ser, poderia ser que não. Eu creio que não, porque imagino que reagiu uma parte dos componentes químicos que tinham, dando a substância violeta, que eu não sei onde está agora, mas que está aí, nessa combinação que foi dada... E: E essa matéria que há aqui não é a mesma substância que tinha anteriormente? LAR: Bom, eu imagino que não. E: E tu pensa que acontecerá alguma coisa se eu colocar isso no aquecimento? LAR: Uhm... Não, eu creio que não. Bom..., eu creio que não.*

O aparecimento da cor, no reaquecimento, propicia um refinamento da hipótese, mas que ainda continua condicional:

E: E agora porque surge a cor, novamente? LAR (22): *Tu destruíste toda a minha teoria! [Risos]. Uhm... Bom, seguindo como antes... Poderia ser que, realmente, a substância que ficou era exatamente a mesma que havia antes ou que somente uma..., algo que foi parte da substância que introduziu no princípio reagiu com o ar e parte da substância que não reagiu com o ar... Mas, não creio porque... Agora, sim. Tens uma boa quantidade, que não poderia aparecer, agora que... E: Então, tu pensa que é a mesma substância? LAR: Pois, não sei. Isso o que é?*

E: Tu acreditas então que essas pedrinhas que surgem nas paredes do tubo não são a mesma matéria daquilo que eu tinha te mostrado originalmente? CAR (27): *Supor isso, seria dizer, eu tenho uma coisa ao depart, vou tentar explicitar isso que você tá me colocando... Seria*

supor que eu teria alguma coisa, no início, da qual eu sei que há uma pureza, entendeu? Eu suponho uma homogeneidade nessa substância e, evidentemente, se essa substância, através de uma..., de um aquecimento simples, ela se decompõe ou ela se..., ela entra em..., ela se evapora totalmente, eu poderia dizer: é sim, tem uma substância só, ela pega o calor e ela vai embora.

Categoria VI

O material é entendido como uma substância simples que sofre processos de sublimação e cristalização, em um ciclo de transformações físicas.

Nesta categoria, foram enquadrados, inclusive, alguns sujeitos mais vacilantes, que dependeram do desenrolar do diálogo e da experiência material para a reelaboração de sua hipótese. Por exemplo, alguns partiram da utilização do esquema sobre as mudanças de estado da matéria, apesar do equívoco conceitual de que as moléculas dilatam:

E: Tu podes me descrever o que tá acontecendo? MAR (36): *Opa! Tá se tornando azul, violeta, não? E... Ao mesmo tempo tá se... Ficando uns poros, formando uns poros na lateral.* E: Da onde surge essa cor violeta? MAR: *Do produto, né.* E: Como é que surge ela? MAR: *Pelo aquecimento da molécula.* E: O que o aquecimento faz com essas moléculas? MAR: *Ah, ele dilatam. Novamente, ele dilata as moléculas existentes dentro desse produto, né. O que vai, forçosamente, fazer com que elas se evaporem, né. Como a gente... Não, pensei que era... É, mas tem... Deve ter um vapor, pois efetivamente, até já em cima, já em cima tem material, né.* E: E essas coisinhas que tu reparou em volta do tubo de vidro o que são? MAR: *São partículas dessa própria... Dessa própria rocha, desse próprio material. Que... Não sei se é devido ao calor, ele se encontram coladas na parede do... Evaporaram e se encontram do lado da parede onde não é muito... Não é muito frio... Onde ele, de repente, se encontrou mais no frio e foi e se encostou nessa parede, né.*

Entretanto, volta a aparecer a dificuldade de interpretação da matéria fluída:

E: Mas essa cor aqui é um líquido ou um sólido? Ou nenhum dos dois e uma outra coisa? KAT (26): *Eu acho que, agora, ela virou líquido.* E: Líquido? [O experimentador vira o tubo na diagonal, de tal forma que o gás escorre]. KAT: *Não [risos].* E: É um que, então? KAT: *É um... Não é líquido, mas ele tem... Porque antes, quando você tava esquentando, virou..., era mais líquido, né.* E: Te parece alguma coisa essa cor vinho? Parece alguma coisa, tu vêes que ela escorre também... [O experimentador segue com os movimentos na diagonal]. KAT: *Ah, é...* E: Mas é um líquido? KAT: *Não, parece que não {...}* E: Te parece um gás essa cor? Um gás colorido? KAT: *Uhm, não sei. Acho que não, não ia falar que era um gás. Tinha outra impressão do gás [risos].*

O esvaecer da cor, mais uma vez, é um forte indicativo do entendimento das transformações por que passam os materiais:

E: O que tá acontecendo com a cor? MAR (36): *Tá se indo, né, a cor...* E: Porque ela tá indo? MAR: *Eu... Não tenho nenhuma idéia, não. Porque ela tá indo? Porque talvez ela não esteja mais num efeito de... Sobre o efeito do calor e a cor, há, desaparece.... É um gás, né. Um gás. Esse gás tá desaparecendo por resfriamento, né.* E: Como assim ele tá desaparecendo? MAR: *Não sei aonde ele tá indo, mas... Se eu pudesse botar meu dedo aqui e ver se ele saísse por aqui, entendeu. Talvez, se... [O sujeito faz como se botasse o dedo na saída do tubo]. Se quando você esquentou, eu tivesse botado meu dedo em cima, eu tivesse*

notado uma parte... E: Tu vêes esse gás, que é colorido, mais em cima do tubo? MAR: Não. E: Antes tu a via? MAR: Não. Só via aqui. E: Só via embaixo? MAR: Embaixo, né.

O vacilo sobre as hipóteses surge novamente quando ocorre o questionamento sobre a conservação da quantidade de matéria:

E: Se reunisse essas pedrinhas, se eu raspasse todo o tubo e fizesse delas uma porção só, teria a mesma quantidade daquilo que tava...? KAT (26): Não, acho que não. E: Porque não teria a mesma quantidade? KAT: Uhm..., não sei. Acho que... A mesma quantidade sim, mas não a mesma forma. E: Mas a mesma quantidade, sim? KAT: Acho que sim.

E: E se eu pegasse, por exemplo, e raspasse tudo o que tá encostado na parede, a quantidade dessas pedrinhas que teriam aqui, seria a mesma quantidade que tinha na ponta do canivete? MAR (36): Uhm.... Já não creio. Porque houve um fenômeno que se passou, entendeu? Onde houve transformação em gás. Hã... E o material deve ter perdido, em parte, alguma coisa. Uma parte das características...E: Perdeu pra onde? MAR: Evaporação. Talvez, se eu levar em consideração esse fenômeno que ocorreu, eu poderia dizer, efetivamente, que o material já não é mais o mesmo, né. Que é a mesma coisa que um gás, um gás de carro. Se, por exemplo, eu utilizo a gasolina, ele vai funcionar, depois ele não é mais gasolina, tá em CO₂, não é.

No reaquecimento, a previsão e a constatação confirmam a hipótese seguida pelos sujeitos:

MAR (36): Deveria acontecer o mesmo fenômeno, quer dizer que o... Uma cor rosa ou roxa deveria aparecer. {...} E: Se esse material for outra coisa, quando eu aquecer vai liberar o gás violeta ainda? MAR: Pois é... Agora, eu já fico, meio assim, me perguntando se sim ou não. Porque houve uma transformação antes, talvez não, talvez sim. E: Vamos ver... [O experimentador volta a aquecer o tubo]. MAR: Sim. Então, tá. E: É o mesmo material que antes? MAR: É o mesmo material que antes. E: Como é que aconteceu essa passagem, então? Essa transformação que aconteceu, da pedrinha que eu tinha antes até essa formação do gás violeta, essa união dos... MAR: Novamente, eu acho que por dilatação das moléculas ou por... Como se diz? A pedrinha desapareceu e... Depois, se tornou, como se diz? Um gás em partículas menores, se dividindo... No espaço onde elas tão confinadas, que é esse tubo. Hã... Mas eu vi agora um fenômeno, que elas podem ser reaguntadas.

Por fim, puderam-se encontrar sujeitos que partiram da hipótese conceitualmente correta para interpretar o fenômeno com que se depararam:

E: E da onde surgiu esse gás? ALB (31): Surgiu daquele próprio material. E: Como é que ele surgiu? ALB: Acredito que uma reação química, não sei. Quando aquecido, ele passou por um certo processo que acabou virando isso. E: Pode observar o que... Me dizer o que tem na parede do tubo? ALB: Sim... Bem mais acima ele tá sólido, de novo. E: Esse sólido é parecido com aquele que eu te mostrei na ponta do canivete? ALB: É. E: É a mesma coisa? ALB: É a mesma coisa, só que bem esmigalhado, mas é a mesma coisa. O sólido virou um gás. E: E depois, o gás? ALB: Virou um líquido e, depois bem aquecido, virou sólido novamente. E: Porque tá mais em cima, na parede do tubo? ALB: Porque é a parte mais em cima do tubo é a parte mais fria. E: E o frio faz o que? ALB: Que as coisas voltem, ao estado anterior. {...} E: A quantidade que tinha daquelas pedrinhas é a mesma quantidade que tem espalhada em volta do tubo? ALB: Acredito que não, uma boa parte se perdeu no gás, que evaporou. E: Essa cor que tá sumido é o gás que tá evaporando? ALB: É.

Conclusões

Nesta investigação se buscou ampliar a pesquisa de Stavy (1990a e 1990b) sobre as concepções alternativas para as mudanças de estado do iodo. Stavy supunha que a experiência física desempenharia um importante papel na compreensão das transformações da matéria, sendo que a falta de experiência empírica direta poderia ser uma resistência à emergência de idéias de conservação da matéria (e/ou da substância), conservação de quantidade da matéria (massa; ou peso, em sentido cotidiano) e de reversibilidade. Além do mais, entendeu que em fenômenos como a sublimação do iodo essas resistências poderiam continuar a existir em idades mais avançadas. Porém, como mostrado ao final da introdução, a pesquisadora buscou explicar seus achados através de conceitos da Teoria do Processamento da Informação. Nesse sentido, aqui, pretendemos relacionar os nossos resultados com a teoria piagetiana (Piaget, 1990), principalmente naquilo que se refere ao papel da experiência física na construção do conhecimento (Dominguez, 1992; Piaget, 1971).

Nossa investigação foi empreendida com sujeitos adolescentes e adultos. Sob o aspecto estrutural, por hipótese, os sujeitos entrevistados possuiriam as estruturas dos pensamentos operatório concreto e operatório formal, que são necessárias para a adequada interpretação da tarefa. Em outra investigação que nós realizamos (Eichler, Parrat-Dayana e Fagundes, 2008), evidenciamos que a maior parte dos adultos antecipou e descreveu as mudanças de estado do éter em um sistema fechado (destilador de Franklin), explicando-as com a utilização de modelos corpusculares. Entretanto, poucos foram os adolescentes que assim conceberam o deslocamento do líquido do balão aquecido para o balão resfriado. Mesmo assim, a maior parte dos adolescentes utilizou alguma idéia de evaporação para justificar o transvasamento, mas sem idéias de conservação de quantidade e de reversibilidade do processo (condensação), por exemplo. O fato de o vapor de éter ser invisível foi determinante para a dificuldade na interpretação da transformação e da mudança de estado.

Por sua vez, a interpretação das mudanças de estado do iodo foi dificultada por outras características perceptíveis. Os fenômenos perceptíveis, que necessariamente não foram assim reconhecidos pelos sujeitos entrevistados, podem ser assim resumidos: a) durante o aquecimento de um material sólido acinzentado, em um tubo de ensaio, ocorre a formação de um fluido violáceo; b) posterior ao aquecimento, ocorre a formação de limalhas de um material acinzentado e brilhante na parte superior do tubo de ensaio; c) ocorre o esmaecimento do violáceo, quando retirado o tubo da chama; e d) o fluido colorido volta a aparecer quando é aquecido o tubo de ensaio, junto as limalhas. Esses fenômenos não são cotidianos, podem, por isso, ser considerados afastados da generalização empírica. Nesse sentido, estabelecemos algumas hipóteses, que foram parcialmente confirmadas.

Nossa primeira hipótese foi que todos os sujeitos apresentariam relações de legalidade que estariam ao alcance da generalização empírica. Em muitos casos podemos constatar que a previsão feita para o aquecimento do material original levou em consideração o comportamento de substâncias conhecidas, como a fusão do gelo ou dos metais, por exemplo. Entretanto, na medida em que essa hipótese inicial não se confirmava, pudemos constatar uma grande diversidade de concepções sobre a natureza da substância (entendida como simples ou composta) e sobre as transformações que ocorreram com ela (divisão do material composto ou reação com calor ou com o ar, por exemplo). Isso confirmou nossas duas hipóteses seguintes: as relações de legalidade que não estariam ao alcance da generalização empírica seriam pouco manifestadas inclusive pelos sujeitos adultos; e na sublimação do iodo seriam encontrados diferentes níveis de conservação da substância e de conservação da quantidade da matéria.

Evidenciamos que os adultos apresentaram hipóteses mais elaboradas para as

transformações e, muitas vezes, indicadas de maneira condicional. Resultados semelhantes foram encontrados por Bovet (2000) em uma pesquisa sobre as explicações dadas por sujeitos adultos para a flutuação. Os sujeitos adultos que participaram dessas investigações são relativamente cultos. Entretanto, em relação aos fenômenos apresentados, muitos deles tiveram idéias imprecisas, oscilantes e mal-organizadas. Pode-se dizer que seus conhecimentos escolares, com muita frequência, não são operacionais, aparecendo, em alguns casos, apenas na forma de frases isoladas. Os sujeitos se esforçaram para construir algum modelo explicativo satisfatório para eles mesmos, apesar das dificuldades em organizar suas reflexões pessoais para o contexto dado.

Além disso, há nítidas diferenças entre adolescentes e adultos durante a tarefa. Os adultos reflexionam mais e as perguntas que se formulam sobre o problema sugerem que a construção do conhecimento passa por várias etapas. Uma das mais importantes é a de comparar uma explicação possível com a aparência e as transformações dos objetos. Os sujeitos adultos, muitas vezes, mencionaram diferentes parâmetros, detendo-se um momento neles, sem decidir de forma definitiva se o fator em jogo é ou não pertinente. Às vezes deixam uma idéia de lado, sem a eliminar definitivamente, para examiná-la melhor posteriormente. Porém, nossa quarta hipótese não foi confirmada. Os fenômenos não foram explicados pelos sujeitos da Categoria VI, que poderiam ser considerados em nível mais avançado, através de modelos corpusculares.

Essas diferenças de sucesso e de organização do pensamento, entre adolescentes e adultos, estariam de acordo com as revisões feitas por Piaget (1972) em relação ao pensamento formal. Nesse artigo, Piaget admite que a emergência e a consolidação do pensamento formal podem ser mais tardias, por volta dos 15 ou 20 anos. Além do mais, ressalta que a utilização do pensamento formal é dependente do contexto, mostrando que ele é menos generalizável a domínios diferenciados.

No experimento que nós realizamos são muitas as características perceptíveis e de legalidade que intervêm na compreensão das mudanças de estados físicos, entretanto é preciso ressaltar que as diferenças de cor do sólido (acinzentado) e do fluído (violáceo) orientam fortemente a organização do pensamento do sujeito. Assim, em relação à legalidade, esse experimento contém uma dificuldade que pode estar relacionada à generalização empírica da mudança de estado por sublimação. A fusão do gelo, a evaporação e a condensação da água são os fenômenos empíricos mais próximos da experiência pessoal. Uma vez que a água é o protótipo de líquido e o vapor d'água o de estado gasoso (Krnél, Watson e Glažar, 1998), é difícil para o sujeito conceber um estado gasoso (ou de vapor) que seja perceptivamente tão diferente do estado líquido. Em geral, as substâncias quando mudam de estado físico, não mudam de cor. No caso do iodo, sim. Sólido ele é acinzentado, gasoso, violáceo. Já a água tem relativamente a mesma aparência transparente e incolor nos estados sólidos, líquido ou gasoso. A densidade e a fluidez do violáceo também chegam a ser um problema para a organização do pensamento, uma vez que a fluidez é uma característica típica dos líquidos. Por isso a cor violeta, muitas vezes, foi interpretada como sendo de um líquido. Além do mais, em uma época que quase não se usa mais naftalina nas residências, observar sólidos que sublimam não é mais uma experiência cotidiana. Portanto, o fenômeno da sublimação não seria empiricamente generalizável.

O esvaecer da cor, quando da retirada do tubo de ensaio da chama, foi uma ocasião propícia a auxiliar a interpretação das idéias manifestas pelos sujeitos. Nesse sentido, observou-se que os indícios perceptíveis, que poderiam ajudar a resolução do problema, não foram suficientes, ou foram enganadores, para a utilização de esquemas sobre a mudança de estado físico. Na solução desse problema, portanto, a questão do concreto, da generalização empírica, não foi suficiente. O grau de abstração na solução desse tipo de tarefa é muito alto. Além do mais, esse tipo de tarefa, que é nova e inesperada, solicita muito da criatividade dos sujeitos. Conforme se pode depreender dos excertos, foram muitos os modelos explicativos utilizados na interpretação das transformações.

A ligação existente entre a experiência física e a elaboração de modelos explicativos nos leva a analisar as concepções dos sujeitos entrevistados em relação à última etapa da obra de Piaget, aquela dedicada às grandes sínteses do funcionamento psicológico, como, por exemplo, a investigação sobre as explicações causais (Piaget, 1971).

Em uma síntese de estudos das noções relacionadas aos conhecimentos físico, lógico e matemático, Piaget (1990) considera os modelos como estruturas lógicas e conceituais, em cujos, por dedução, são reunidas as leis até então conhecidas. Assim, os modelos seriam integrações conceituais necessárias à explicação da realidade que se conhece e se percebe. Dessa forma, um modelo só desempenharia seu papel explicativo quando a disposição e a ordem das partes de um todo – ou seja, a estrutura – impedisse que o sujeito se encontrasse em um cruzamento confuso de caminhos possíveis das relações ou das leis. Ainda mais, a diferenciação generalizada de conceitos prejudica a coesão necessária aos modelos. Portanto, durante elaboração dos modelos são necessárias integrações conceituais, que podem ocasionar novos modelos. Isso quer dizer que existem modelos parciais que não contemplam toda a complexidade da realidade.

A elaboração desses modelos está relacionada com as diferentes espécies de experiência, que parecem estar sempre reunidas, mas podem ser facilmente dissociáveis para efeitos de análise. Conceituando-as, Piaget (1990) entende que “a *experiência física* responde à concepção clássica da experiência: ela consiste em agir sobre os objetos, para extrair um conhecimento por abstração, a partir dos próprios objetos” (grifos nossos, p. 76). Já a *experiência lógico-matemática* é de natureza completamente diferente, ela “consiste em agir sobre os objetos, mas com abstração dos conhecimentos, a partir da ação e não mais dos próprios objetos” (pp. 76-77). Nesse caso, os objetos servem como instrumentos para o sujeito. A experiência do sujeito é, então, em relação às ações que ele executa com e sobre os objetos. Esse tipo de experiência permite que o sujeito faça a abstração de outras propriedades, mas essas partem de suas ações e não das qualidades do objeto.

É bem conhecido que a hipótese piagetiana nega qualquer possibilidade de primazia do sujeito ou do objeto, pois postula uma interação entre ambos, na determinação da explicação causal (Dominguez, 1992), onde a construção da causalidade física pelo sujeito é interdependente da construção dos conhecimentos lógico-matemáticos. Para estudar sua hipótese interacionista no contexto da explicação causal, Piaget (1971) desenvolveu estudos para caracterizar a interação entre as operações cognitivas e a explicação causal.

Nesses estudos, evidenciou-se que a contribuição do sujeito reside em seu pensamento, ou seja, no exercício do pensar, que se origina na experiência subjetiva e interna. Essa experiência gera esquemas que orientam e determinam a interpretação e a explicação do real, como os de compressão/descompressão (Piaget e Inhelder, 1971) e de cerrar/descerrar (Piaget, 1971) que são integrados nos modelos corpusculares. Os esquemas são instrumentos do pensar, que independem do conteúdo de sua origem e atestam o papel do sujeito na formação do conhecimento (Dominguez, 1992), apesar de determinados conteúdos ou situações apresentadas ao sujeito serem mais facilitadoras ou dificultosas que outras. Por sua vez, o objeto participa do conhecimento enquanto suporte para observação e experiência, oferecendo conteúdos para serem interpretados pelo sujeito. A partir disso se pode afirmar que “a influência da experiência física e causal sobre o desenvolvimento das estruturas cognitivas reside precisamente na influência dos conteúdos empíricos” (idem, p. 151) e que a explicação causal consiste no uso de ações e operações por um sujeito que cria modelos (representações) e os atribui a objetos (Inhelder, 1986). Então, a explicação é modelização. A busca pela explicação, em seus sucessivos esboços explicativos, leva à proposição de modelos explicativos ou, em outras palavras, a explicação é possível através de um modelo da realidade (Eichler, 2001).

Assim, pode-se dizer que os sujeitos procuraram desenvolver modelos explicativos para os fenômenos presentes na tarefa, apoiados em suas experiências físicas e lógico-matemáticas anteriores. Uma vez que a percepção do fenômeno foi muito distante da experiência física dos sujeitos para as mudanças de estado da matéria, houve dificuldade de integrar os esquemas de compressão/descompressão e de cerrar/descerrar em um modelo corpuscular. Dessa forma, foram esboçados muitos modelos por parte dos sujeitos, incluindo tanto idéias de extração de essências ou decomposição da substância, bem como de reações com o calor ou com o ar.

Entretanto, houve um momento em que esse conteúdo empírico deixou de oferecer resistências à aplicação dos esquemas do sujeito. Isso ocorreu quando do reaquecimento do sublimado. Os excertos apresentados permitem mostrar o quanto a interpretação da reversibilidade da transformação sofrida pelo material inicial auxilia a compreensão da conservação da substância, ou seja, da natureza da matéria. É preciso ressaltar que Stavy (1990a) também chamara à atenção para isto, ou seja, de acordo com a teoria piagetina, é essencial entender a reversibilidade de uma transformação de forma a perceber a conservação da quantidade do material envolvido.

Por fim, deve-se registrar que na resolução de problemas, cotidianos ou de tarefas de pesquisa, é o conhecimento que faz as estruturas do pensamento funcionar. As estruturas são necessárias, mas não são suficientes, muitas vezes é preciso algum conhecimento escolar. Pode-se dizer que, do ponto de vista piagetiano, em relação aos problemas sobre as explicações causais, há nas evidências de nossa pesquisa certa novidade: se não se tem (ou não são operacionais) certos conhecimentos que são ensinados (como modelos corpusculares na explicação das mudanças de estado da matéria e a modificação da aparência nos diferentes estados da matéria), os problemas que necessitam deles não são resolvidos ou devidamente justificados.

Agradecimentos

O primeiro autor deste artigo gostaria de agradecer à CAPES pelas bolsas concedidas de doutorado e de estágio no exterior (doutorado sanduíche), realizado no *Archives Jean Piaget*, em Genebra, Suíça.

Referências

- Au, T.K.; Sidle, A.L. & Rollins, K.B. (1993). Developing an intuitive understanding of conservation and contamination invisible particles as a plausible mechanism. *Developmental Psychology*, 29 (2), 286-299.
- Barker, V. (2000). *Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas*. Londres: Royal Society of Chemistry. [Documento digital em: <http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>].
- Bond, T.G. & Jackson, I. (1991). The GOU protocol revisited: a piagetian contextualization of critique. *Archives de Psychologie*, 59, 31-53.
- Bovet, M. (2000). Explicações e mudanças em adultos. Em: M. Moreno, G. Sastre, M. Bovet e A. Leal, *Os modelos organizadores na construção do conhecimento* (pp. 287-323). Campinas: Unicamp; São Paulo: Moderna.
- Bovet, M.; Parrat-Dayana, S. & Deshusses-Addor, D. (1981). Peut-on parler de précocité et de régression dans la conservation? I. Précocité. *Archives de Psychologie*, 49, 289-303.
- Cachapuz, A.; Praia, J.; Gil-Pérez, D.; Carrasco, J.; Martínez-Terrades, F. (2001). A emergência da didática das ciências como campo específico de conhecimento. *Revista Portuguesa de Educação*, 14(1), 155-195.

- Dominguez, D.C. (1992). *A formação do conhecimento físico: um estudo da causalidade em Jean Piaget*. Niterói: EDUFF; Rio de Janeiro: Universidade Aberta.
- Ebenezer, J.V & Erickson, G.L. (1996). Chemistry students' conceptions of solubility: a phenomenography. *Science Education*, 80 (2), 181-201.
- Eichler, M.L. (2001). Os modelos abstratos na apreensão da realidade química. *Educación Química*, 12 (3), 138-148.
- Eichler, M.L. (2004). *Modelos causais de adolescentes e de adultos para as mudanças de estado e a transformação química da matéria*. Tese de doutorado. Porto Alegre: Programa de Pós-graduação em Psicologia do Desenvolvimento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Eichler, M.L.; Parrat-Dayán, S. e Fagundes, L.C. (2008). Concepções de adolescentes e de adultos sobre as mudanças de estado do éter. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 131-156.
- Inhelder, B. (1986). Epistemología genética y psicología da causalidad física. Em J. Piaget & L. Apostel. *Construcción y validacion de las teorías científicas: contribución de la epistemología genética*. (pp. 46-57). Buenos Aires: Paidós.
- Krnél, D; Watson, R & Glažar, S.A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter'. *International Journal of Science Education*, 20 (3), 257-289.
- Montangero, J. & Maurice-Naville, D. (1998). *Piaget ou a inteligência em evolução*. Porto Alegre: Artes Médicas.
- Morgado, L. & Parrat-Dayán, S. (2002). Conservations libres avec l'enfant: problèmes et méthodes. *Bulletin de Psychologie*, 55 (6), 645-657.
- Nakhleh, M.B. & Samarapungavan, A. (1999). Elementary school children's beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (7), 777-805.
- Parrat-Dayán, S. & Bovet, M. (1982). Peut-on parler de précocité et de régression dans la conservation? II. *Archives de Psychologie*, 50, 207-219.
- Perraudeau, M. (1998). *Piaget hoje: respostas a uma controvérsia*. Lisboa: Instituto Piaget.
- Piaget, J. (1971). Causalité et opérations. Em J. Piaget e R. García. *Les Explications Causales*. Paris: PUF.
- Piaget, J. (1990). *Epistemologia genética*. São Paulo: Martins Fontes.
- Piaget, J. & Bliss, J. (s/d). *Les changements d'états de la paraffine d'une bougie*. Manuscrito de artigo não publicado.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1971). *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança*. Rio de Janeiro: Zahar.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1977). *A imagem mental na criança*. Porto: Livraria Civilização.
- Renström, L.; Andersson, B. & Marton, F. (1990). Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82 (3), 555-569
- Rosen, A.B & Rozin, P. (1993). Now you see it, now you don't. The preschool child's conception of invisible particles in the context of dissolving. *Developmental Psychology*, 29 (2), 300-311.
- Schnetzler, R.P. (2002). A pesquisa em ensino de química no Brasil: conquistas e perspectivas. *Química Nova*, 25 (Supl. 1), 14-24.
- Stavy, R. & Stachel, D. (1985). Children's conception of changes in the state of matter: from solid to liquid. *Archives de Psychologie*, 53, 331-344.
- Stavy, R. (1990a). Children's conceptions of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to

gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (3), 247-266.

Stavy, R. (1990b). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12 (5), 501-512.

Valanides, N. (2000). Primary student teachers' understanding of the particulate nature of matter and its transformations during dissolving. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (2), 249-262.

Vinh-Bang, (1966). La methode clinique et la recherche en psychologie de l'enfant. Em: F. Bresson e M. Montmollin, *Psychologie et épistemologie génétiques, thèmes piagétiens* (pp. 67-82). Paris: Dunod.

Recebido em: 12.03.07

Aceito em: 21.05.08