

**A INVESTIGAÇÃO DAS RELAÇÕES ESTABELECIDAS POR LICENCIANDOS EM FÍSICA
ENTRE A ESTRUTURA DA MATÉRIA E AS PROPRIEDADES MACROSCÓPICAS DOS
MATERIAIS**

**THE PHYSICS LICENCIATES ESTABLISHED RELATIONS INVESTIGATION BETWEEN
THE STRUCTURE OF THE MATTER AND THE MACROSCOPIC PROPERTIES OF THE
MATERIALS**

**Rodrigo de Miranda Henriques Medeiros¹
Romildo Albuquerque Nogueira², Helaine Sivini Ferreira³**

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Educação/rodrigodemiranda@hotmail.com

²Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Educação/ran.pe@terra.com.br

³Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Educação/hsivini@terra.com.br

RESUMO

As propriedades macroscópicas da matéria, tratadas no ensino médio, são habitualmente abordadas de forma descritiva, sem o estabelecimento de relações entre elas e os aspectos estruturais que as determinam. Acredita-se que tal fato ocorra devido a deficiências na formação inicial dos licenciados em física e devido ao fato dos aspectos envolvidos no estabelecimento dessas relações estarem fora do alcance da nossa percepção, o que constitui um obstáculo para o seu processo de ensino-aprendizagem. Este trabalho, realizado com licenciandos de física, teve como objetivo promover uma melhor compreensão das propriedades elétricas, térmicas e ópticas de materiais a partir do estudo dos seus aspectos estruturais. Para tanto, se utilizou uma intervenção fundamentada na Teoria dos Construtos Pessoais (1963). Os resultados indicaram que a intervenção auxiliou os alunos na identificação dos aspectos estruturais relevantes, bem como, no estabelecimento de relações válidas entre estes e as propriedades macroscópicas, promovendo uma visão sistêmica da questão.

Palavras-chave: estrutura da matéria, propriedades, Teoria dos Construtos Pessoais, pensamento complexo.

ABSTRACT

The macroscopic matter properties, which are treated in the high school, are usually approached in a descriptive way, without the establishment of relationships between them and their determinant structural aspects. It is believed that such fact happens due to deficiencies in the licentiates' initial formation in physics and also due to the fact of the aspects involved in the establishment of those relationships be out of reach of our perception, what constitutes an obstacle for its teaching-learning process. This work was developed with physics licentiates, and had as an objective promotes a better understanding of the electric, thermal and optical materials properties what involves the study of some structural aspects. In order to achieve this objective the didactic intervention was based in the Personal Constructs Theory (1963). The results indicated that the intervention helped the students in the identification of the relevant structural aspects, as well as, in the establishment of valid relationships between these and the macroscopic properties, promoting a systemic vision of the subject.

Keywords: matter structure, properties, Personal Constructs Theory, complex thinking

INTRODUÇÃO

No mundo inteiro, os conteúdos de física, tanto nos cursos destinados aos físicos quanto naqueles oferecidos como disciplinas de apoio, há muito oferecem uma visão inadequada do quadro atual dessa área do conhecimento, de seu dinamismo e de sua abrangente inserção na ciência e na tecnologia.

Tem-se a impressão de que a física é algo centrado em roldanas, planos inclinados, circuitos elétricos, lentes etc, enquanto que, tópicos como relatividade e física quântica, que já completam um século, são classificadas como física moderna e quase omitidas nas ementas de física básica. Os tópicos da física contemporânea, como estrutura da matéria, campos de força, cosmologia, caos, complexidade, materiais e outros, também são pouco enfatizados mesmo no ciclo profissional da graduação em física. (CHAVES e SHELLARD, 2005).

Nos cursos de licenciatura em física, a desconsideração da física moderna e contemporânea é ainda mais grave, já que os professores formados para o ensino médio não estão preparados para atuar segundo essa nova realidade que depende, cada vez mais, dos avanços das áreas de microtecnologia e nanotecnologia. O fato dos licenciados de física não estarem sendo formados dentro desse paradigma também dificulta a implementação de muitas das diretrizes sugeridas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (1999) para a disciplina de física no ensino médio, visto que em muitas das áreas temáticas há questões relacionadas com a física moderna e contemporânea e bem como questões de ciência e tecnologia.

Neste trabalho, direcionamos a atenção para o tópico, estrutura da matéria, uma vez que sua compreensão, nos níveis micrométricos e nanométricos, permitem um novo olhar sobre algumas das propriedades habitualmente abordadas no ensino médio, tais como condutividade e transparência. Estas propriedades são habitualmente apresentadas aos alunos de forma meramente descritiva, descontextualizada, sem uma discussão acerca de suas origens nem tampouco, o estabelecimento das devidas relações entre tais propriedades e os aspectos estruturais dos materiais. Esta abordagem reducionista normalmente termina por promover uma aprendizagem mecânica dessas propriedades.

É preciso considerar que a formação deficiente dos licenciados em física é um fato que dificulta a abordagem da estrutura da matéria e o estabelecimento relações entre essas estruturas e propriedades macroscópicas dos materiais. Contudo, há um outro aspecto que dificulta o estabelecimento dessas relações que é o fato desses aspectos e os fenômenos diretamente relacionados a eles estarem na escala micrométrica ou nanométrica, escapando do alcance de nossa visão, audição ou tato. Esta limitação natural tem sido um dos principais obstáculos para a elaboração de modelos coerentes com o comportamento da matéria, bem como para o processo de ensino-aprendizagem destes modelos.

De acordo com Zuanon e Diniz (2003) esse é um obstáculo comum a professores de todas as áreas do ensino de ciências, trabalhar com o abstrato, em escalas espaciais inatingíveis aos sentidos humanos.

Assim, tentar superar esta barreira significa fazer com que os aspectos estruturais da matéria sejam percebido como fatores determinantes dos comportamentos macroscópicos dos diferentes materiais, proporcionando assim a oportunidade de observar tais comportamentos numa perspectiva complexa.

Considerando que o desenvolvimento deste trabalho requer a compreensão das relações entre propriedades da matéria e seus aspectos estruturais, é fundamental discutir o significado que adotaremos para a terminologia estrutura da matéria.

Para Brandon e Kaplan (1999), a estrutura da matéria pode ser considerada em diferentes níveis: macroestrutura, mesoestrutura, microestrutura e nanoestrutura. Segundo estes autores, a macroestrutura de um material refere-se a todos os aspectos acessíveis a olho nu, enquanto que, a mesoestrutura, por sua vez, relaciona-se a fenômenos que ocorrem na região limite do visível a

olho nu. A microestrutura do material inclui aspectos relacionados à interação entre as moléculas e os estudos acerca da ordenação em materiais sólidos. Já a nanoestrutura restringe-se aos aspectos de ordem atômica.

Assim, quando nos propomos a tentar fazer com que os aspectos estruturais da matéria sejam percebidos como fatores determinantes dos comportamentos macroscópicos dos diferentes materiais estamos nos restringindo a discussões na nanoescala, visto que os aspectos que nos interessam são os tipos de ligação entre os átomos e os seus diferentes arranjos espaciais.

A influência das ligações químicas nas propriedades macroscópicas pode ser evidenciada se compararmos as propriedades de materiais formados pela mesma substância, como é o caso da grafite e do diamante, as diferenças entre eles são atribuídas às diferentes ligações químicas estabelecidas entre seus átomos (CALLISTER, 2002).

Tal como as ligações químicas estabelecidas entre os átomos de um material, o arranjo espacial destes também exerce grande influência em muitas das propriedades macroscópicas observadas. É possível citar, como exemplo, o caso dos materiais cerâmicos, cujo comportamento em relação à transmissão luminosa (transparência, translucidez ou opacidade) depende basicamente da ordenação espacial de seus átomos e do grau de porosidade de sua microestrutura (CALLISTER, 2002).

Para a realização desta pesquisa optamos pela utilização da Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly (1963) e do pensamento complexo como pressupostos teóricos metodológicos.

A Teoria dos Construtos Pessoais é uma teoria cognitiva da personalidade baseada numa visão ativa da construção do conhecimento e que tem como pressuposto básico o alternativismo construtivo. Esta teoria está estruturada na forma de um postulado fundamental e onze corolários, entretanto, nesta pesquisa o aspecto mais explorado foi o corolário da experiência.

O corolário da experiência é apresentado nos seguintes termos: “O sistema de construção de uma pessoa varia à medida que ela sucessivamente constrói réplica dos eventos” (Kelly, 1963, p.72, tradução livre). Através dele Kelly (1963) propõe a experiência, como sendo uma construção de eventos o que significa que não basta testemunhar uma sucessão de episódios, é necessário que haja uma construção e reconstrução dos eventos vivenciados para que se possa, então, alcançar uma mudança conceitual, sejam, mudanças de construtos ou mudança nos sistemas de construção.

A construção, por sua vez é vista como uma maneira de observar os eventos de modo que eles pareçam regulares. Para Kelly (1963), o aspecto fundamental da regularidade é a repetição, assim ao observar a repetição de alguns aspectos em eventos similares eles podem ser abstraídos pelos indivíduos e utilizados para prever acontecimentos.

Os aspectos comuns abstraídos em eventos similares são denominados, na Teoria de Kelly, como temas recorrentes. Estes também estão implicitamente enfatizados no Corolário da Experiência. De acordo com Kelly (1963, p.73, tradução livre) o homem começou a perceber os temas recorrentes quando observou que após uma noite escura, surgia um dia e que após esse dia surgia uma outra noite e assim, sucessivamente; ou quando observou o rolar de uma pedra no chão. Foi a partir dessas rápidas sucessões de eventos que o homem tornou-se apto para construir a noção dos ciclos e epiciclos, despertando para o universo como uma seqüência inflexível de eventos que lhe dão capacidade de prever e tornar seu mundo mais gerenciável. O homem gradualmente descobriu que ele poderia vislumbrar o futuro através da experiência do passado (tema recorrente).

Assim, em um experimento o indivíduo dirige todos os seus processos psicológicos a procura de temas recorrentes, ou seja, de aspectos regulares que já podem ter sido observados por ele em outros experimentos similares (BASTOS, 1992).

É importante mencionar que essa experiência para Kelly não representa apenas um simples encontro com um evento, mas um ciclo contendo cinco fases: antecipação, investigação,

encontro, confirmação ou desconfirmação e revisão construtiva (KELLY, 1963, p. 15, tradução livre). Entretanto, segundo Bastos (2002) para ocorrer à aprendizagem, é necessário que a pessoa esteja verdadeiramente engajada nesse processo complexo. Ou seja, os professores não devem esperar que seus alunos mudem suas idéias porque tiveram contato com um evento, com uma determinada atividade didática. Se eles não estiverem preparados para este evento, se eles não tiverem investido na sua antecipação e se eles não considerarem o que aconteceu de uma forma crítica, nenhuma mudança será observada.

A proposta do pensamento complexo é integrar duas formas de pensamento complementares, o linear e o sistêmico, tecendo conexões entre os elementos do sistema em diferentes níveis de organização, sem negligenciar o papel individual de cada elemento (MORIN, 2003). Visando estruturar a compreensão do pensamento complexo, foram propostos alguns operadores cognitivos que destacam algumas características dessa linha de pensamento. Neste trabalho priorizaremos três deles: o pensamento sistêmico, o princípio hologramático e o princípio dialógico.

O pensamento sistêmico está fundamentado na idéia de que um sistema não é igual à soma de suas partes. A partir da interação entre diversos elementos, novas propriedades emergem no sistema, assim como algumas propriedades das partes são suprimidas (CAPRA, 2003). Em particular para o ensino de propriedades da matéria, esta forma de pensar torna-se uma importante ferramenta para a construção de um conhecimento que aborde o problema em diversos níveis de complexidade. Para um melhor entendimento sobre a condutividade elétrica, por exemplo, o aluno deve ser capaz de considerar o material como um sistema, caracterizado pelas ligações existentes entre suas unidades elementares. Não basta ao aluno conhecer as propriedades dos átomos que compõem aquele material, é necessário que ele vislumbre também as propriedades emergentes das conexões entre estes átomos, compreendendo o comportamento integral do sistema.

A visão dialógica, em contrapartida à concepção dialética de Hegel, não concebe o conflito entre opostos como apenas uma etapa transitória da construção do conhecimento. Em algumas situações este conflito pode não ser superado, havendo nestes casos a necessidade de uma articulação complementar entre os opostos ao longo da construção do conhecimento (MARIOTTI, 2002). Na história da Física existe um caso de grande importância histórica que bem ilustra a visão dialógica, a proposição do princípio da complementaridade por Niels Bohr. Ao invés de tentar resolver o conflito entre os conceitos antagônicos de onda e partícula, Bohr percebeu que estas idéias eram complementares e simultaneamente necessárias para o entendimento da complexidade de um sistema quântico.

O princípio hologramático utiliza a metáfora do holograma (um tipo de fotografia na qual qualquer parte traz quase todas as informações a respeito do todo), para destacar que num sistema complexo não apenas as partes estão no todo, assim como o todo também se encontra nas partes (MORIN, 2003). Um bom exemplo pode também ser encontrado no estudo das propriedades dos materiais; a composição química de um material e demais aspectos estruturais têm basicamente todas as informações sobre seu comportamento físico em diferentes níveis. Embora não faça sentido dizer que um átomo de cobre é condutor ou que uma molécula H_2O é transparente à luz visível, o estudo destes elementos básicos e da célula unitária de construção do respectivo material pode indicar seu comportamento em outros níveis.

Pelo que foi discutido, é possível perceber que esta pesquisa encontra no pensamento complexo e na TCP a fundamentação teórica necessária para sua concepção. Todas as etapas da intervenção didática realizada como parte deste trabalho de pesquisa, e que será descrita na próxima seção, foram concebidas tendo em vista os pontos apresentados nesta fundamentação.

METODOLOGIA

Esta é parte de uma pesquisa que foi realizada com 30 alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, que estavam cursando a disciplina de Metodologia do Ensino de Física no primeiro semestre de 2005. Teve como objetivo investigar as relações estabelecidas pelos alunos entre as propriedades físicas de materiais e alguns de seus aspectos estruturais, bem como o que ocorria com estas relações à proporção que os alunos vivenciavam os subseqüentes encontros ocorridos na intervenção.

Inicialmente, antes do primeiro encontro, foi aplicado um questionário que teve como objetivo diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos em relação aos diferentes tipos de materiais, suas propriedades e aspectos estruturais relacionados a estas. As questões do questionário diagnóstico estão apresentadas no quadro 1.

QUADRO 1 - QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

Questão 01	Cite alguns materiais que sejam bons condutores elétricos. Estes elementos apresentam alguma(s) semelhança(s) em suas estruturas? Caso afirmativo, cite-a(s).
Questão 02	Cite alguns materiais que sejam bons isolantes térmicos. Que aspectos estruturais destes elementos lhes conferem esta propriedade?
Questão 03	Cite alguns materiais que sejam transparentes à luz visível. Que características destes materiais os fazem transparentes?

Os encontros, num total de três, ocorreram num intervalo de quinze dias durante o horário de aula da disciplina. Apesar de cada encontro tratar de uma propriedade física diferente, todos foram estruturados no mesmo formato, conforme pode ser observado no esquema representado na figura 01. Todos os encontros foram estruturados de acordo com cinco etapas do Ciclo da Experiência de Kelly (1963) e envolveram a realização de um experimento demonstrativo relacionado à propriedade a ser trabalhada bem como a análise dos seus resultados pelos alunos em grupos de cinco ou seis integrantes. Nesta análise os alunos procuraram responder os questionamentos feitos pelo pesquisador sobre quais seriam os aspectos estruturais, dos materiais testados no experimento, mais relevantes na determinação do comportamento ou propriedades observadas.

Os grupos tiveram cerca de 10 minutos para discussão e logo após chegarem a um consenso, suas conclusões foram gravadas. Após este momento as discussões foram realizadas entre os grupos que tiveram oportunidade para sociabilizar suas conclusões sob a mediação do pesquisador. Este, eventualmente, levantou aspectos não considerados pelos alunos, mas de relevância para a discussão.

Apesar dos encontros tratarem de propriedades físicas distintas, e envolverem experiências também diferenciadas, manteve-se a mesma seqüência de procedimentos. A utilização do mesmo procedimento em todos os encontros teve como objetivo facilitar a percepção dos alunos sobre os aspectos comuns entre eles uma vez que de acordo com a Teoria dos Construtos Pessoais, que é um dos pressupostos teórico-metodológicos desta pesquisa, os indivíduos alteram seus sistemas de construtos à medida que vão experimentando situações e a medida em que tentam extrair destas situações aspectos em comum que os auxiliem na construção de réplicas dos eventos vivenciados (KELLY, 1963). Neste caso, o aspecto comum aos encontros são as características estruturais dos materiais (tipo de ligação, estrutura atômica e arranjos atômicos) que estão intimamente relacionados com as diferentes propriedades tratadas.

Os consensos dos grupos foram transcritos e analisados tendo em vista a sua evolução ao longo do processo. A pertinência dos aspectos estruturais citados, a coerência das relações levantadas entre as propriedades e estes aspectos e a validade das terminologias utilizadas foram pontos observados nas respostas dos grupos.

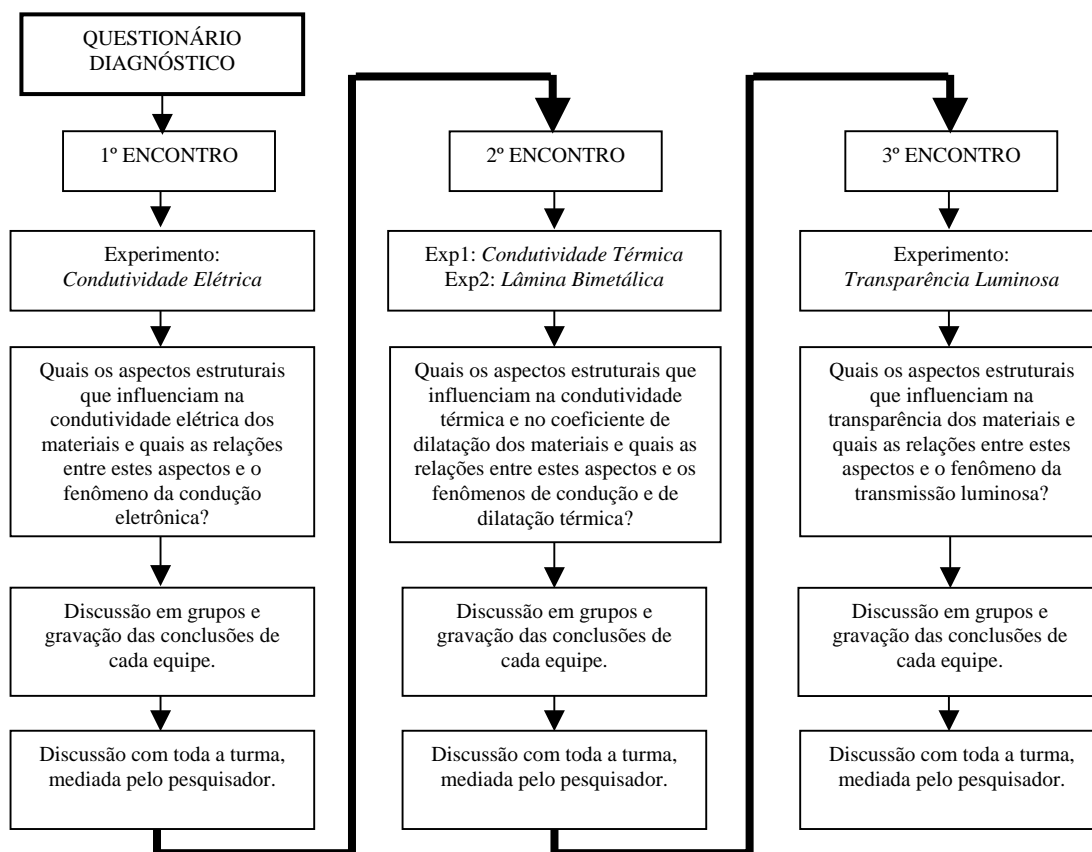


Figura 1: Fluxograma que mostra as atividades desenvolvidas ao longo dos três encontros da intervenção

Na próxima sessão apresentaremos a análise dos questionários diagnósticos e os consensos de todos os grupos que participaram da intervenção.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

i) Análise do Questionário Diagnóstico

Os aspectos mais relevantes observados na primeira questão foram:

- 56% citaram os materiais condutores e relacionaram a condutividade elétrica com aspectos estruturais dos materiais;
- 13% apenas citaram os materiais condutores, sem estabelecer nenhuma relação entre a condutividade elétrica e qualquer aspecto estrutural;
- 31% responderam de forma evasiva ou inadequada.

Com relação à segunda questão, observou-se que:

- 21% dos alunos citaram materiais isolantes térmicos e relacionaram a propriedade de isolamento térmico com aspectos estruturais dos materiais;
- 61% apenas citaram materiais isolantes térmicos, sem estabelecer nenhuma relação entre a condutividade térmica e qualquer aspecto estrutural;
- 18% responderam de forma evasiva ou inadequada.

Por fim, os aspectos relevantes observados na terceira questão foram:

- 26% dos alunos citaram materiais transparentes e relacionaram a transparência dos materiais com aspectos estruturais dos materiais;
- 65% apenas citaram materiais transparentes, sem estabelecer nenhuma relação entre a transparência e qualquer aspecto estrutural;
- 09% responderam de forma evasiva ou inadequada.

Tendo em vista estes valores percentuais, podemos dizer que, em linhas gerais, os alunos parecem ter um maior domínio sobre as propriedades elétricas, uma vez que 56% deles conseguiram estabelecer relações entre estas propriedades e aspectos estruturais, enquanto que apenas 13% se restringiram a citar os materiais. No caso das propriedades térmicas e óticas observa-se um comportamento inverso. Os percentuais de alunos que conseguiram estabelecer relações entre as propriedades e aspectos estruturais foram de 21% e 26%, respectivamente, enquanto que os percentuais daqueles que apenas citaram os materiais foram de 61% e 65%.

Estes resultados refletem o fato das relações entre a condução eletrônica e a ocorrência de elétrons livres nos materiais ser tratada de modo mais freqüente nas aulas de Física, que as relações entre a condutividade térmica e propriedades ópticas com os seus respectivos aspectos estruturais.

ii) Análise das respostas dos grupos

As transcrições dos consensos de cada grupo são apresentadas de forma resumida nos quadros apresentados nesta seção, na mesma ordem em que foram coletados. Em sua análise, procurou-se identificar os aspectos estruturais explicitados pelos grupos, bem como as relações estabelecidas entre estes aspectos e a(s) propriedade(s) em questão.

No quadro 2 encontram-se as respostas dos três grupos com relação ao questionamento sobre a condutividade elétrica dos materiais, realizado durante o primeiro encontro. É importante destacar que os aspectos estruturais esperados, como relevantes para a compreensão da propriedade em questão, eram: tipo de ligação química (numa abordagem sobre a distribuição eletrônica e bandas de energia) e arranjo atômico.

De modo geral percebeu-se que os três grupos explicitaram o aspecto estrutural, ligação química, e estabeleceram de maneira coerente a relação entre a condutividade elétrica nos sólidos e a distribuição eletrônica na estrutura do material, o que determina a ocorrência de elétrons livres, responsáveis pela condução eletrônica.

Analisando especificamente o consenso do grupo 1, percebeu-se que eles também tentaram descrever o mecanismo de condução eletrônica através das bandas de energia e para tanto utilizaram a expressão “camada” para se referir à distribuição eletrônica dos materiais. Tal fato também foi observado no consenso explicitado pelo grupo 3.

O grupo 2 se limitou a explicitar a relação entre a condutividade elétrica nos sólidos e a distribuição eletrônica na estrutura do material. No consenso do grupo 3, os aspectos que chamaram atenção foram: o fato deste grupo ter sido o único a citar o arranjo atômico numa tentativa, ainda que inadequada, de vincular diretamente a condutividade com este parâmetro estrutural e a confusão feita, por este grupo, entre íons e elétrons livres.

Convém ressaltar que na seqüência proposta para cada encontro (figura 01), após as discussões dos grupos, o pesquisador mediaria uma discussão mais ampla com toda a turma buscando abordar os parâmetros estruturais relevantes para a compreensão da propriedade em questão, evidenciando suas possíveis relações. Nesta discussão procurou-se sempre que possível corrigir alguns dos erros conceituais cometidos pelos alunos na etapa anterior bem como destacar o caráter emergente das propriedades estudadas. Assim, no caso da condutividade elétrica, ela

não seria determinada pelas propriedades específicas dos átomos, mas, pelas relações que surgem nas suas interações (ligações e arranjos). Observações similares foram feitas em relação às demais propriedades.

QUADRO 2

Quais os aspectos estruturais que influenciam na condutividade elétrica dos materiais e quais as relações entre estes aspectos e o fenômeno da condução eletrônica?	
GRUPO 1	Em se tratando de estrutura atômica, nosso conhecimento é o seguinte, existem três formas dos átomos de ligarem. Iônica, quando um átomo perde elétrons para outro. Ligação Covalente onde há partilhamento de elétrons para ambos os átomos. E as ligações metálicas, que nem são iônicas nem são covalentes, são ligações onde os elétrons da última camada, com pouquíssima energia se movimentam com facilidade e criam a possibilidade de um fluxo de elétrons, que é o que faz com que você classifique um material em condutor e isolante. Os materiais que têm ligações metálicas são em geral bons condutores, enquanto que os materiais que têm ligações covalentes e iônicas são maus condutores ou semicondutores.
GRUPO 2	Num material sólido, os elétrons é que se movem, sendo chamados de portadores de carga. Um material que possui uma grande quantidade de portadores de carga é um material condutor. A estrutura do material tem que ter uma grande quantidade de portadores de carga livres, e esse fato está relacionado com a maneira como ele se liga quimicamente para formar o corpo em si. Por exemplo, um átomo de ferro, a gente vai analisar uma quantidade enorme de átomos de ferro e a maneira como eles se ligam (...). As ligações químicas vão determinar a estrutura interna dos materiais e isso vai determinar se o material tem ou não elétrons livres para conduzir e isso é que determina se o elemento é ou não condutor.
GRUPO 3	Essa questão de condução tem a ver com a distribuição eletrônica, elétrons livres ou íons livres. O aluno tem que saber também o que é íon. A distribuição eletrônica, quantos elétrons tem em cada camada, se tem íons livres, a quantidade de íons livres nessas camadas é o que dão as propriedades de condução dos materiais. Quanto mais fortes as ligações, maior a possibilidade dos átomos entrarem numa estrutura e haver uma repetição de padrão. Se há uma repetição de padrão no material, há a possibilidade maior de que estes elétrons fiquem livres para percorrer este material, conseqüentemente ele será um condutor elétrico.

Quatro dias após o primeiro encontro, a turma reuniu-se novamente, desta vez para discutir sobre as propriedades térmicas dos materiais e estabelecer quais seriam os aspectos estruturais relevantes para sua compreensão. O quadro 3 traz as colocações dos três grupos em relação ao questionamento feito sobre as propriedades térmicas. Neste caso, os aspectos estruturais esperados eram: *i*) a curva de energia das ligações e o arranjo atômico, na abordagem da dilatação térmica; e *ii*) o tipo de ligação química (numa abordagem sobre a distribuição eletrônica) e o arranjo atômico em relação à condutividade térmica.

Após uma análise geral do quadro 3 percebeu-se a maior dificuldade encontrada pelos grupos para explicitar os aspectos estruturais e estabelecer relações entre eles e as propriedades térmicas, tal como verificado no questionário diagnóstico. Com relação ao fenômeno da dilatação térmica, observou-se que, de modo geral, nenhum dos três grupos mencionou a assimetria da curva de energia das ligações químicas nem estabeleceu diferenças entre as estruturas amorfas e cristalinas. Já em relação à condutividade térmica, nenhum dos três grupos destacou a distribuição eletrônica como aspecto estrutural relevante, limitando-se a descrever a condução térmica através apenas da vibração do retículo estrutural.

O grupo 1 não levantou nenhum aspecto estrutural esperado, como relevante ao fenômeno da dilatação térmica, associando equivocadamente a dilatação térmica à transferência de elétrons livres na estrutura. Em relação à condutividade térmica, o grupo tentou descrever o mecanismo da condução térmica através da vibração estrutural, mas utilizou muitos termos de forma inadequada.

QUADRO 3

Quais os aspectos estruturais que influenciam na dilatação e na condutividade térmica dos materiais e quais as relações entre estes aspectos e os fenômenos de dilatação e de condução térmica?	
GRUPO 1	Em nossa discussão sobre a dilatação o ponto principal foi a parte elétrica, os elétrons livres poderiam estar passando de um átomo para o outro e com isso produzir essa dilatação através do aumento de temperatura. Um dos impasses principais seria como acontece essa dilatação já que os materiais aumentam o volume mas não mudam sua massa (...). Com relação à condutividade térmica nós consideramos que a agitação das moléculas faz com que elas comecem a se expandir e com esse ganho de energia ela fica mais próxima da próxima estrutura, com os átomos se agitando, essa proximidade faz com que ela transfira o calor mais rapidamente, porque ela está mais próxima, faz com que a próxima molécula adquira energia e comece a se agitar também e vá transferindo de uma molécula para outra, conseqüentemente conduzindo o calor através desse corpo.
GRUPO 2	Nós acreditamos que o que influencia é a força que une as moléculas. E o que faz eles dilatarem diferentes é que em alguns materiais essa força é maior e em outros é menor, então você precisa de mais ou menos energia para fazer eles se afastarem. Na condutividade calor se propaga de molécula a molécula, se a molécula pode oscilar mais facilmente, o calor se propaga mais facilmente, e essa facilidade está relacionada com a força da ligação química.
GRUPO 3	A dilatação dos corpos tem a ver com o grau de agitação das moléculas. Com a capacidade que o corpo tem de receber calor, suas moléculas se agitam mais rapidamente, conseqüentemente vai haver maior espaçamento entre as moléculas e ele vai ter uma dilatação superficial maior. Com relação à condutividade chegamos à conclusão que tem a ver com a capacidade de energia, cada molécula recebe e essa energia vai sendo transmitida de molécula a molécula, fazendo assim a condução térmica. Quanto mais forte a ligação, segundo a curva de energia, menor a capacidade de vibração da molécula, menor a capacidade de transmissão de energia dessa molécula. Quanto maior for a ligação entre as moléculas, mais energia ele vai precisar para que haja essa oscilação e para que haja transferência de calor de uma molécula para outra.

Já o grupo 2 associou de maneira mais coerente o fenômeno da dilatação ao afastamento das “moléculas” (ou átomos) e, tal como o grupo 1, fez menção ao mecanismo de condução de calor através da vibração estrutural. Apesar de ter estabelecido algumas relações pertinentes entre os fenômenos citados e alguns aspectos estruturais, o consenso do grupo com relação às duas propriedades em questão é confuso, visto que muitos dos termos empregados são utilizados de forma inadequada.

O grupo 3 explicitou a agitação das moléculas como aspecto estrutural relevante para a compreensão dos fenômenos de dilatação e condutividade térmica e também estabeleceu uma relação entre este aspecto e as propriedades em questão. Assim como o grupo 1, eles tentaram descrever o mecanismo da condução térmica através da vibração estrutural. Entretanto, também acabaram por utilizar alguns termos de forma indevida.

Os tipos de arranjos atômicos e a assimetria da curva de energia das ligações químicas não haviam sido trabalhados no primeiro encontro, de forma que foram levantados pelo pesquisador e discutidos com toda a turma após estas discussões dos grupos, visando ampliar seus sistemas de construção. Numa análise geral, todos os grupos, apesar dos equívocos, levantaram pontos pertinentes na relação entre as propriedades térmicas e os aspectos estruturais envolvidos.

No terceiro encontro, realizado três dias após o segundo, foi abordada a transparência luminosa dos materiais seguindo o mesmo roteiro de trabalho dos outros encontros. As respostas dos grupos a este questionamento estão reproduzidas a seguir, no quadro 4. Faz-se necessário, mais uma vez, explicitar que os aspectos estruturais esperados como relevantes para a compreensão da propriedade em questão eram: tipo de ligação química (novamente numa abordagem sobre a distribuição eletrônica) e o arranjo atômico.

Assim como ocorreu com as propriedades térmicas, e como já havia sido notado na diagnose, percebeu-se uma certa insegurança por parte dos alunos em explicitar os aspectos estruturais relevantes ao estudo da transparência dos materiais, bem como em estabelecer relações pertinentes entre estes aspectos e esta propriedade. Ainda assim, percebeu-se uma maior

familiaridade com os aspectos estruturais envolvidos, sendo encontradas muitas colocações pertinentes nos consensos dos grupos. Todos os grupos citaram ao menos um aspecto estrutural esperado, dentre aqueles considerados como relevantes ao estudo desta propriedade.

Observando o depoimento do grupo 1, notou-se que eles relacionaram coerentemente a ocorrência de ligações metálicas à opacidade dos materiais metálicos. No entanto, a transparência foi indevidamente relacionada de maneira exclusiva às estruturas amorfas, excluindo materiais como o diamante e o quartzo.

O grupo 2 focou seu discurso no arranjo espacial dos átomos, citando as ligações químicas apenas como fator determinante deste arranjo. Estabeleceram, ainda, uma relação inadequada entre o arranjo atômico e a transmissão luminosa; pelos argumentos e gesticulações utilizadas durante a explanação do grupo, o pesquisador percebeu que os integrantes do grupo equivocadamente acreditavam que a luz precisava de espaços “vazios” através da estrutura para propagar-se. Não citaram em nenhum momento a questão da distribuição eletrônica na estrutura.

QUADRO 4

Quais os aspectos estruturais que influenciam na transparência dos materiais e quais as relações entre estes aspectos e o fenômeno da transmissão luminosa?	
GRUPO 1	O nosso consenso foi que os materiais que tem ligações metálicas, associadas a estruturas cristalinas, são de modo geral opacos. Os materiais amorfos podem ser transparentes, com ligações iônicas ou covalentes, como o vidro. Jamais os metais, mesmo que existisse um amorfo metálico, os metais de um modo geral são cristalinos... os metais cristalinos, todos são opacos, na nossa opinião.
GRUPO 2	Pelo que a gente discutiu, nós achamos que a luz atravessa um material e esse material é dito transparente. Isso depende da arrumação dos átomos, se os átomos se arrumam de tal maneira que permitem que a luz passe, então o material é dito transparente. É lógico que os átomos se arrumam de acordo com as ligações que eles fazem. Então os dois aspectos que determinam a transparência dos materiais são a forma como os átomos se arrumam, a estrutura dos átomos e as ligações que influenciam essa estrutura.
GRUPO 3	Chegamos à conclusão de que passagem da luz ou não no material tem a ver com arranjos das moléculas e a gente acha que os arranjos amorfos deixam passar mais luz. E também que quanto mais elétrons livres na estrutura, mais os elétrons vão interagir com o campo eletromagnético da luz, nessa interação ele vai refletir ou absorver, não deixando passar a luz. No material que tem menos elétrons livres, há maior capacidade de passar luz.

O grupo 3 citou explicitamente a relação entre a distribuição eletrônica (ocorrência de elétrons livres) e a opacidade dos materiais, destacando a interação destes elétrons com a radiação luminosa. Vale destacar que para fazer referência a esta interação, o grupo utilizou o modelo eletromagnético da luz, ao invés do modelo quântico. Percebeu-se, no entanto, o uso indevido de alguns termos, como “molécula” (equívoco também cometido por outros grupos) e “arranjos amorfos” (o termo *estruturas amorfas* seria mais apropriado).

CONCLUSÕES

Com o presente trabalho pôde-se verificar que os alunos da licenciatura de modo geral apresentaram dificuldades para explicitar e estabelecer relações entre os aspectos estruturais da matéria (arranjo atômica e tipos de ligação) determinantes das propriedades macroscópicas dos materiais. Tal fato indica que os tópicos de física contemporânea devem ser trabalhados com mais ênfase neste nível de ensino já que a implementação de muitas das diretrizes dos Parâmetros Curriculares Nacionais (1999) para a disciplina de física para o ensino médio dependem de uma boa formação desses licenciados.

A repetição sucessiva dos encontros, nos quais foram abordadas as diferentes propriedades de interesse, se mostrou muito interessante, visto que foi esse processo que permitiu que os alunos num primeiro momento percebessem os aspectos estruturais relevantes para a compreensão das propriedades estudadas. De acordo com a teoria dos construtos Pessoais

esses aspectos são os temas recorrentes necessários para a reconstrução do evento no processo de aprendizagem.

Acredita-se que a metodologia aplicada também tenha contribuído para uma melhor compreensão das propriedades macroscópicas da matéria, embora não tenhamos aplicado nenhum instrumento específico para coletar dados neste sentido. Contudo, ao compararmos as entrevistas dos três grupos no primeiro, segundo e terceiro encontros, observamos que os alunos estabelecem relações cada vez mais válidas entre os aspectos estruturais identificados e as propriedades em questão. O estabelecimento de relações cada vez mais válidas implica na percepção de aspectos estruturais comuns a distintas propriedades bem como uma percepção mais sistêmica das propriedades entre si. Assim, é possível concluir que há indícios de que os alunos, após a intervenção, têm uma visão menos restrita e linear sobre a questão.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, H. F. N. **Changing teachers' practice: towards a constructivist methodology of physics teaching**, 1992. Tese de doutorado, University of Surrey, Inglaterra.
- BRANDON, D.; KAPLAN, W.D. *Microstructural Characterization of Materials*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1999.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.
- CALLISTER JR., W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002.
- CHAVES, A. e SHELLARD, R. C. Física para o Brasil: pensando o futuro. Sociedade Brasileira de Física, p. 248, 2005.
- CAPRA, F. *A Teia da Vida*. 3ª ed. São Paulo: Cultrix, 2003.
- KELLY, G. *A theory of personality: The psychology of personal constructs*. New York: W. W. Norton & Cia., 1963.
- MARIOTTI, H. *As Paixões do Ego – Complexidade, Política e Solidariedade*. 2ª ed. São Paulo: Palas Athena, 2002.
- MILLMAN, J.; HALKIAS, C. *Eletrônica vol.1- Dispositivos & Circuitos*. 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.
- MORIN, E. *Introdução ao Pensamento Complexo*. Lisboa: Instituto Piaget, 2003.

ZUANON, A, C, A. E DINIZ, R. E. S. Aulas de biologia e a participação dos alunos: conhecendo como um grupo de estudantes do ensino médio avalia uma experiência. **Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, realizado de 25 a 29 de novembro de 2003 em Bauru - São Paulo.