

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - UFRPE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS
NÍVEL MESTRADO

**O ENSINO DE PROPRIEDADES MACROSCÓPICAS DA
MATÉRIA: UMA ABORDAGEM BASEADA NOS ASPECTOS
ESTRUTURAIS**

Rodrigo de Miranda Henriques Medeiros

Recife, fevereiro de 2006

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - UFRPE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS
NÍVEL MESTRADO

**O ENSINO DE PROPRIEDADES MACROSCÓPICAS DA
MATÉRIA: UMA ABORDAGEM BASEADA NOS ASPECTOS
ESTRUTURAIS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – Nível de Mestrado, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino das Ciências.

Mestrando: Rodrigo de Miranda Henriques Medeiros

Orientadora: Helaine Sivini Ferreira, Dra.

Co-Orientador: Romildo Albuquerque Nogueira, Dr.

Recife, fevereiro de 2006

**O ENSINO DE PROPRIEDADES MACROSCÓPICAS DA
MATÉRIA: UMA ABORDAGEM BASEADA NOS ASPECTOS
ESTRUTURAIS**

Rodrigo de Miranda Henriques Medeiros

Banca Examinadora:

Presidente: _____
Prof.^a. Helaine Sivini Ferreira, Dra.(UFRPE)

1º Examinador: _____
Prof. Fernando Luiz de Araújo Machado, PhD.(UFPE)

2º Examinador: _____
Prof.^a. Heloisa Flora Brasil Nóbrega Bastos, PhD. (UFRPE)

3º Examinador: _____
Prof. Romildo Albuquerque Nogueira, Dr. (UFRPE)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os profissionais brasileiros da área educacional, por sua batalha permanente no sentido de tornar o Brasil um país mais justo e digno. Àqueles que fazem de suas vidas profissionais um verdadeiro sacerdócio, percebendo que as maiores recompensas são aquelas de natureza moral e espiritual.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Helaine Sivini, pela atenção, seriedade e competência na orientação deste trabalho. Pelas valiosas horas dispensadas em discussões e observações minuciosas, que foram decisivas para a realização do mesmo. Seu exemplo de profissionalismo marcou minha passagem por este Programa de Pós-Graduação.

Ao Prof. Romildo Nogueira, pela paciência e sabedoria na orientação desta dissertação. Por ter me norteado através da articulada teia do pensamento complexo, estando sempre atento à totalidade dos sistemas sem, no entanto, perder de vista o papel de suas partes componentes.

À Profa. Heloisa Bastos, por seus valiosos ensinamentos ao longo deste curso, bem como por sua disponibilidade em avaliar o presente trabalho, contribuindo de forma imensurável para o enriquecimento do mesmo.

Ao Prof. Fernando Machado, por sua disponibilidade em participar da banca examinadora e pela seriedade dispensada ao ler, avaliar e discutir o presente trabalho.

A todos os professores deste Programa de Pós-Graduação, pelas imensas contribuições para meu crescimento profissional e pessoal.

À minha família, pelo amor e carinho. A segurança e tranquilidade emocional em casa foram fundamentais para que eu conseguisse realizar este trabalho.

Aos colegas-amigos do mestrado, por todos os momentos compartilhados. Marcos, Ari, Wilder, Alice, Auxiliadora, Ricardo Lima, Washington, Ursula, Ricardo Neves, Jorge, Clóvis, Adahir, Eleneide, Aleir, Malu, Vânia, Nádja, obrigado por tudo.

RESUMO

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. 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 a nova realidade, nem tão pouco para atender às diretrizes propostas nos PCN para essa disciplina. Neste trabalho, direcionamos a atenção para o tópico estrutura da matéria, com objetivo de promover uma melhor compreensão das propriedades elétricas, térmicas e ópticas de materiais a partir do estudo dos seus aspectos estruturais. Assim, esta pesquisa foi realizada com um grupo de licenciandos de física da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. A Teoria dos Construtos Pessoais e o Pensamento Complexo foram escolhidos como pressupostos teórico-metodológicos e os resultados, coletados através de gravações e da construção de matrizes de repertório, indicaram que a intervenção foi bastante significativa. De acordo com as análises qualitativas e quantitativas realizadas pode-se concluir que os alunos passaram a utilizar mais construtos para comparar os diferentes materiais e que conseguiram estabelecer relações específicas entre os aspectos estruturais da matéria e as propriedades macroscópicas dos materiais, bem como relacionar melhor as propriedades entre si.

ABSTRACT

The contents of physics have offered an inadequate vision of the current picture of this area of the knowledge, their dynamism and including insertion in science and the technology, not only in the courses destined to physicists, but also in those offered as disciplines of support. In the courses of Licenciateship in Physics, the disrespect of the modern and contemporary physics are still more serious, because the teachers who are formed for basic education are neither prepared to act according to new reality nor to take care of toward the lines of direction proposed in the PCN for this discipline. In this work, we have directed the attention for the topical structure of the material, with objective to promote better understanding of the electric, thermal and optic properties of materials from the study of its structural aspects. Thus, this research was carried through with a group of physics licensures from Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. The Theory of the Personal Constructs and the Complex Thought had been chosen as methodological and theoretical basis and the results, collected through writings and the construction of repertory grids, had indicated that the intervention was sufficiently significant. In accordance with carried through the qualitative and quantitative analyses can be concluded that the students had started to use more constructs to compare different materials, and they had successfully established specific relations between the structural aspects of the matter and the macroscopic properties of the materials, as well as between the different properties themselves.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE QUADROS E TABELAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.4 HIPÓTESE DE TRABALHO.....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 O ENSINO DE PROPRIEDADES DA MATÉRIA.....	19
2.1.1 Problemas e perspectivas no ensino de propriedades da matéria.....	19
2.1.2 Modelagem e ensino de ciências: algumas considerações.....	22
2.1.3 Pensamento linear vs. pensamento sistêmico.....	24
2.1.4 O pensamento complexo.....	26
2.1.5 Os operadores cognitivos do pensamento complexo.....	27
2.1.5.1 O pensamento sistêmico.....	28
2.1.5.2 O conceito de recursividade.....	28
2.1.5.3 O princípio hologramático.....	29
2.1.5.4 O princípio dialógico.....	30
2.2 RELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES E ASPECTOS ESTRUTURAIS.....	31
2.2.1 Algumas considerações sobre a terminologia “aspectos estruturais”.....	31
2.2.2 As propriedades da matéria e os aspectos estruturais.....	33
2.2.2.1 Propriedades elétricas.....	33
2.2.2.2 Propriedades óticas.....	35
2.2.2.3 Propriedades térmicas.....	37

2.2.3 Investigando e avaliando as concepções dos alunos.....	39
2.3 A PSICOLOGIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS DE GEORGE KELLY.....	40
2.3.1 História pessoal.....	40
2.3.2 Suposições básicas.....	42
2.3.2.1 A perspectiva de homem – metáfora do homem-cientista.....	42
2.3.2.2 Construtos pessoais.....	44
2.3.2.3 Posição filosófica - Alternativismo construtivo.....	45
2.3.3 Teoria dos Construtos Pessoais.....	46
2.3.3.1 Corolário da dicotomia.....	48
2.3.3.2 Corolário da faixa (ou do intervalo).....	49
2.3.3.3 Corolário da modulação.....	49
2.3.3.4 O corolário da experiência.....	51
2.3.4 O Teste da Matriz de Repertório ou “Rep-teste”.....	55
3. METODOLOGIA.....	57
3.1 INTERVENÇÃO DIDÁTICA.....	59
3.1.1 Etapa A (Diagnose).....	59
3.1.2 Etapa B (Ciclo da Experiência).....	63
3.1.2.1 Fase 01.....	63
3.1.2.2 Fases 02, 03 e 04.....	63
3.1.2.3 Fase 05.....	66
3.2 EXPERIMENTOS DIDÁTICOS.....	68
3.2.1 Condutividade elétrica em diferentes materiais e sua relação com a temperatura.....	69
3.2.2 Lâmina Bimetálica.....	70
3.2.3 Condutividade térmica em diferentes materiais.....	71
3.2.4 Refração da luz – Índices de refração de diferentes materiais.....	72
3.3 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS.....	73
3.3.1 Gravações dos Consensos.....	74
3.3.2 Matrizes de Repertório.....	74
3.4 CATEGORIZAÇÃO DOS DADOS DAS MATRIZES DE REPERTÓRIO.....	78

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
4.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS GRUPOS.....	82
4.2 ANÁLISE DAS MATRIZES DE REPERTÓRIO.....	89
4.2.1 Análise do aluno A1.....	89
4.2.2 Análise do Aluno A2.....	95
4.2.3 Análise do Aluno A3.....	101
4.2.4 Análise do Aluno A4.....	107
4.2.5 Análise do Aluno A5.....	111
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117
5. CONCLUSÕES.....	120
REFERÊNCIAS.....	121
APÊNDICES.....	126
APÊNDICE A– MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A1.....	127
APÊNDICE B– MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A2.....	128
APÊNDICE C– MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A3.....	129
APÊNDICE D– MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A4.....	130
APÊNDICE E– MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A5.....	131
ANEXOS.....	132
ANEXO A – ARTIGO SUBMETIDO PARA ANÁLISE PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA CIÊNCIA & EDUCAÇÃO.....	133
ANEXO B – NORMAS PARA PUBLICAÇÃO DE ARTIGOS NA REVISTA CIÊNCIA E EDUCAÇÃO.....	145
ANEXO C– ARTIGO ACEITO PARA APRESENTAÇÃO NO V ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS – ENPEC – REALIZADO EM NOVEMBRO DE 2005.....	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Fases que compõem o Ciclo da Experiência de Kelly.....	53
Figura 02 - Resultado da análise do questionário diagnóstico.....	61
Figura 03 - Fluxograma do Ciclo da Experiência de Kelly adaptado para este trabalho de pesquisa. Ao longo da intervenção didática as fases 2, 3 e 4 foram vivenciadas três vezes cada uma para só então completar o ciclo.....	65
Figura 04 - Fluxograma que resume as atividades desenvolvidas ao longo da intervenção didática. Os números referem-se às cinco fases do Ciclo da Experiência contemplados em cada procedimento: <i>Antecipação</i> (fase 1), <i>Investimento</i> (fase 2), <i>Encontro</i> (fase 3), <i>Confirmação ou Desconfirmação</i> (fase 4) e <i>Revisão Construtiva</i> (fase 5).....	67
Figura 05 - Circuito para estudo das condutividades elétricas de diversos materiais.....	69
Figura 06 - Esquema representativo da lâmina bimetálica, utilizada para estudar a dilatação de diferentes materiais.....	70
Figura 07 - Aparato experimental para estudo das condutividades térmicas. Fonte: Scienco – Kit para experimentos.....	71
Figura 08 - Experimento utilizado para discutir a propagação da luz em diferentes meios....	72
Figura 09 - Fluxograma que apresenta as fases da coleta e análise de dados.....	73
Figura 10 - Gráfico comparativo de correlações do aluno A1.....	90
Figura 11 - Gráfico complementar de correlações do aluno A1.....	92
Figura 12 - Gráfico comparativo de correlações do aluno A2.....	96
Figura 13 - Gráfico comparativo de correlações do aluno A3.....	102
Figura 14 - Gráfico comparativo de correlações do aluno A4.....	108
Figura 15 - Gráfico comparativo de correlações do aluno A5.....	112

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 01 - Análise de livros de física do ensino médio.....	21
Tabela 02 - Ligações e propriedades dos sólidos.....	38
Tabela 03 - Matriz de repertório aplicada ao estudo das propriedades dos materiais.....	56
Tabela 04 - Questionário diagnóstico.....	59
Tabela 05 - Categorização das respostas ao questionário diagnóstico.....	60
Tabela 06 - Exemplo de matriz de repertório.....	75
Tabela 07 - Percentuais de coincidência para cálculo da correlação.....	75
Tabela 08 - Cálculo do fator de correlação entre C_1 e C_2 da matriz exemplo.....	76
Tabela 09 - Modificação das pontuações para cada material por ocasião da permuta entre os pólos de determinado construto.....	77
Tabela 10 - Cálculo do fator de correlação entre C_1 e C_3 da matriz exemplo.....	77
Tabela 11 - Lista dos construtos levantados pelos alunos nos testes da matriz de repertório.....	78
Tabela 12 - Relação de materiais suprimidos no cálculo dos fatores de correlação entre os construtos mais frequentes.....	80
Tabela 13 - Construtos listados pelo Aluno A1 nos dois rep-testes realizados.....	89
Tabela 14 - Construtos listados pelo Aluno A2 nos dois rep-testes realizados.....	95
Tabela 15 - Construtos listados pelo Aluno A3 nos dois rep-testes realizados.....	101
Tabela 16 - Construtos listados pelo Aluno A4 nos dois rep-testes realizados.....	107
Tabela 17 - Construtos listados pelo Aluno A5 nos dois rep-testes realizados.....	111
Quadro I – Respostas dos grupos ao questionamento sobre propriedades elétricas.....	83
Quadro II – Respostas dos grupos ao questionamento sobre propriedades térmicas.....	84
Quadro III – Respostas dos grupos ao questionamento sobre propriedades óticas.....	86

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o sistema brasileiro de educação básica tem enfrentado um processo crucial de análise crítica e propostas de reestruturação. A necessidade de reformulação desse sistema é um reflexo direto da defasagem existente entre sua tradicional proposta de ensino e as necessidades de nossa sociedade atual, caracterizada por relações cada vez mais dinâmicas e integradoras. Inúmeras discussões apontam para a necessidade de uma mudança do sistema tradicional de ensino (baseado na intensa transmissão de conteúdos) na direção de um sistema baseado na proposta construtivista, na qual o aluno teria um papel mais ativo na construção do conhecimento (AGUIAR Jr, 1998). Vários teóricos já assinalam esse caminho há algum tempo; Piaget, Kelly, Vygotsky, Ausubel, Novak e Driver podem ser citados nesse sentido.

Embora muitas dessas propostas de reformulação do sistema educacional venham sendo discutidas e disseminadas há algumas décadas, sua efetiva implementação enfrenta a inércia natural do sistema educacional. Em muitas escolas brasileiras o panorama geral da educação básica ainda revela um ensino baseado nos currículos inflexíveis, na transmissão de vastos conteúdos (muitas vezes descontextualizados) e na organização altamente disciplinar, o que contribui para uma grande desarticulação das áreas do conhecimento (BRASIL, 2002).

O processo de reformulação do sistema educacional brasileiro ganhou novas forças com a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) em 1996, que serviu de fundamento para a definição das novas metas para a educação básica nacional. Visando viabilizar e impulsionar a implementação dessa reforma ao nível do ensino médio, o governo elaborou as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - DCNEM (em 1998), os Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN (em 1999), e os PCN+ (em 2002). Esses documentos trazem orientações aos professores e demais profissionais envolvidos nos processos educacionais no sentido de rever o papel da educação básica (em especial do ensino médio) na formação do cidadão. Nessa nova proposta o ensino médio é interpretado não como uma etapa preparatória para o ensino superior, mas como uma etapa que tem por finalidade a formação integral do cidadão, preparando-o para lidar com situações práticas de maneira crítica e consciente (BRASIL, 1999).

As mudanças propostas não são simplesmente curriculares ou de cunho operacional, mas se referem ao posicionamento filosófico e às propostas de formação profissional e social que orientam nosso sistema de educação básica. Na área de conhecimento denominada “Ciências da Natureza e Matemática”, a proposta do MEC é de um sistema de ensino mais eficiente no sentido de formar um indivíduo capacitado a compreender as relações naturais e sociais, criticar conscientemente e atuar como elemento transformador da sociedade. Como citado nos PCN (BRASIL, 1999, p. 207):

“(…) o aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas também para uma cultura mais ampla, desenvolvendo meios para a interpretação de fatos naturais, a compreensão de procedimentos e equipamentos do cotidiano social e profissional, assim como para a articulação de uma visão do mundo natural e social.”

Inserido nesse panorama, o ensino das ciências naturais deveria procurar despertar os alunos para questões diversas relacionadas com o mundo no qual eles vivem, incentivando comportamentos críticos e investigativos sob uma ótica não mais disciplinar, mas em abordagens inter ou transdisciplinares. Dessa forma, esse ensino contribuiria para sua formação enquanto cidadãos com uma visão sistêmica do mundo, uma visão integradora que reúna elementos antes analisados individualmente sob a luz das diversas disciplinas.

A fragmentação e a compartimentalização do conhecimento em disciplinas estiveram presentes na história do desenvolvimento da ciência ocidental, em especial nos últimos três séculos, contribuindo para o seu grande avanço em termos de conteúdos específicos. Essa fragmentação, contudo, compromete a visão sistêmica do mundo, uma vez que não aborda os problemas em sua complexidade natural. Indiscutivelmente, adquirimos grandes conhecimentos nos campos da física, da biologia, da psicologia e de todas as outras disciplinas, porém muito raramente esses conhecimentos são aplicados de forma coordenada ou harmônica. O avanço científico de nossa sociedade ocidental segue ainda hoje o paradigma cartesiano de *reduzir* o objeto complexo de estudo em partes *simples* e, através do estudo dessas partes, inferir acerca do comportamento do todo (MORIN, 2003).

Essa forma de estruturar o conhecimento, chamada por Morin (2003) de “inteligência cega” tem conseqüências enormes na sociedade de maneira geral, uma vez que dificulta julgamentos conscientes e universalmente coerentes acerca de questões que envolvem elementos de várias naturezas, como ambientais, éticas, políticas e tecnológicas. Muitos dos

problemas da sociedade pós-moderna tiveram origem na falta de uma visão sistêmica de mundo, de análises que contemplassem as várias conseqüências de determinados processos, como a degradação ambiental em prol do avanço tecnológico ou a marginalização de comunidades inteiras como conseqüência do crescimento urbano em todo o mundo.

O pensamento complexo surge como uma maneira de destacar as propriedades e características dos sistemas, que são explicitados apenas quando estudados como tais. Uma análise orientada nesse sentido não tem, contudo, a pretensão de fornecer a resposta última ao problema de caracterizar os sistemas complexos em sua totalidade. É fundamental, nesses casos, trabalhar com a incerteza inerente a tais sistemas, ao invés de tentar suprimi-la, procurando sempre reduzir o estudo do todo ao estudo de suas partes (MORIN, 2003).

No ensino de física, em particular, é possível identificar alguns tópicos que geralmente são abordados de maneira simplificada, sem uma conexão com o contexto mais abrangente no qual encontram-se inseridos, como os conceitos de energia e entropia, por exemplo; essas duas grandezas não se encontram enclausuradas nos domínios da física, mas permeiam as mais variadas disciplinas como química, biologia, sociologia, psicologia, sendo fundamentais para a compreensão de muitas questões sociais relevantes.

Há ainda a questão da defasagem entre o quadro atual de desenvolvimento dessa disciplina e os currículos adotados nos cursos de física (tanto naqueles destinados a profissionais como nos cursos de apoio), o que geralmente leva a uma visão inadequada de seu dinamismo e de sua abrangente inserção na ciência e tecnologia. Tem-se a impressão de que a física é algo centrado em roldanas, planos inclinados, circuitos elétricos, lentes etc, enquanto que tópicos de física moderna como relatividade e física quântica, que já completam um século, são quase omitidos 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).

À luz do pensamento complexo, essa defasagem curricular dificulta a implementação de muitas das diretrizes integradoras 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, bem como questões de ciência e tecnologia.

Inserido nesse contexto, este trabalho de pesquisa aborda um tópico específico da física contemporânea, *o estudo das propriedades da matéria*. Além de ser muito relevante em discussões relacionadas a questões tecnológicas atuais, o estudo das propriedades dos diferentes materiais envolve muitos aspectos que geralmente são trabalhados de forma fragmentada e independente ao longo das aulas de física e química. Dessa forma, a proposta em questão tem um caráter integrador que contempla algumas diretrizes sugeridas nos PCN (1999).

As propriedades dos diferentes materiais utilizados nas diversas áreas tecnológicas de nossa sociedade muitas vezes são apresentadas aos alunos de forma meramente descritiva e enciclopédica, sem uma discussão acerca de suas origens. Condutividades elétrica e térmica, propensão à oxidação e resistência mecânica são alguns exemplos de propriedades que normalmente não são tratadas em suas realidades complexas, mas em situações isoladas que visam simplificar o seu estudo. Não são estabelecidas as devidas relações entre tais propriedades e os aspectos estruturais dos materiais em questão, nem tampouco comentadas as implicações e os benefícios que o efetivo conhecimento desses aspectos poderia trazer. Essa abordagem reducionista normalmente termina por promover uma aprendizagem mecânica desses tópicos.

Visando a uma abordagem mais eficiente para o caso particular das propriedades da matéria, no presente trabalho procura-se explicitar seu caráter complexo, buscando explicá-lo mediante o conhecimento dos aspectos estruturais relevantes dos materiais em estudo. Ainda que neste trabalho não sejam tratadas em detalhes as diferentes formas de modelagem dos aspectos micro e nanométricos dos materiais, serão abordadas e discutidas as relações entre esses aspectos e as propriedades macroscópicas da matéria. Espera-se que o estabelecimento dessas relações entre as propriedades e suas origens microscópicas possibilite uma melhor apropriação do tema estudado.

Ainda que grande parte dessas discussões esteja relacionada diretamente ao ensino médio, este trabalho tem como universo de pesquisa os licenciandos em Física. Tal escolha justifica-se principalmente pelo fato de que muitos desses alunos estarão atuando em breve como

professores do ensino médio, e essa possibilidade de difusão de uma metodologia sintonizada com os PCN foi decisiva nessa opção.

Assim, com este trabalho de pesquisa pretende-se investigar os processos de aprendizagem de propriedades térmicas, elétricas e óticas de diversos materiais a partir da compreensão dos aspectos estruturais relevantes desses materiais, utilizando para tanto a Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly como pressuposto teórico metodológico e o Pensamento Complexo como pressuposto teórico filosófico.

1.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o processo de aprendizagem de propriedades elétricas, térmicas e óticas, através de uma abordagem que relacione essas propriedades com alguns aspectos estruturais dos diferentes materiais.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Identificar os construtos utilizados pelos alunos para se referir aos materiais a partir de suas propriedades macroscópicas e aspectos estruturais.
- ii) Analisar esses construtos no sentido de investigar o grau de articulação entre as propriedades macroscópicas e os aspectos estruturais.
- iii) Identificar as principais dificuldades enfrentadas pelos alunos ao longo do processo de aprendizagem dessas propriedades.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Como ampliar a compreensão de licenciandos em Física da UFRPE sobre propriedades macroscópicas da matéria?

1.4 HIPÓTESE DE TRABALHO

A abordagem de propriedades macroscópicas da matéria numa linha de pensamento complexo, na qual sejam evidenciadas e discutidas as relações existentes entre essas propriedades e os aspectos estruturais relevantes dos respectivos materiais, amplia a compreensão dos alunos sobre o tema em questão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados alguns aspectos importantes relacionados ao presente trabalho. Inicialmente, serão discutidas questões sobre o ensino de propriedades macroscópicas da matéria. Ainda na primeira seção, os fundamentos do pensamento complexo serão apresentados e articulados com o ensino de propriedades da matéria. Na segunda seção, as propriedades elétricas, térmicas e óticas da matéria serão apresentadas sob uma visão complexa, sendo relacionadas aos aspectos estruturais relevantes. Por fim, na terceira seção, será apresentada a Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly, dentro da qual serão destacados os corolários da dicotomia, da faixa (ou do intervalo), da modulação e da experiência, além da técnica da matriz de repertório.

2.1 O ENSINO DE PROPRIEDADES DA MATÉRIA

Conforme discutido anteriormente o ensino de física ao nível do ensino médio vem sofrendo um processo de reestruturação nos últimos anos, visando sua adequação às novas exigências de uma sociedade cada vez mais fundamentada em articulações de diferentes níveis.

É razoável tomar como caso particular o ensino de diversas propriedades da matéria, tais como propriedades elétricas, térmicas e óticas. Ao discutir os aspectos práticos e tecnológicos relacionados às propriedades dos diferentes materiais, o aluno estará desenvolvendo a capacidade de analisar criticamente muitas situações do seu cotidiano. É possível ainda discutir as relações existentes entre as propriedades dos materiais e suas características microscópicas, procurando articular os diferentes aspectos relevantes na compreensão de suas diversas propriedades.

2.1.1 Problemas e perspectivas no ensino de propriedades da matéria

Ao partir para a implementação de uma linha pedagógica que atenda a essas novas orientações, é natural que o professor encontre algumas barreiras a serem vencidas. Serão discutidas neste tópico algumas dessas dificuldades enfrentadas, bem como alternativas viáveis de trabalho.

Como comentado anteriormente, uma das orientações para o ensino das propriedades da matéria é estabelecer relações entre as propriedades e os aspectos estruturais dos materiais em estudo. Acredita-se que um dos motivos que dificultam, especificamente este trabalho, é o fato desses aspectos bem como os fenômenos diretamente relacionados estarem na escala microscópica ou abaixo desta, escapando do alcance de nossa visão, audição ou tato. Esta limitação natural tem sérias implicações nos estudos científicos acerca das propriedades da matéria (e conseqüentemente no Ensino de Ciências Naturais), tendo sido por muito tempo 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. Uma das maiores barreiras encontradas pelos professores de Ensino de Ciências nestes casos é a dificuldade que os alunos têm em trabalhar com o abstrato, em escalas espaciais inatingíveis aos sentidos humanos (ZUANON & DINIZ, 2003). Tentar superar esta barreira significa tentar fazer com que o aluno perceba tais aspectos como fatores determinantes dos

comportamentos macroscópicos da matéria, proporcionando assim a oportunidade de observar tais comportamentos numa perspectiva complexa.

Uma forma de vencer essa dificuldade é trabalhar com os alunos a importância dos modelos no estudo científico, especificamente no estudo de sistemas em escalas microscópicas, ou ainda menores. É imprescindível discutir o papel da modelagem no ensino das ciências quando se pretende aproximar o alunado do trabalho de investigação científica (VEIT & TEODORO, 2002), e no caso do estudo das propriedades da matéria o uso dos modelos torna-se uma ferramenta poderosa. Os PCN também recomendam a introdução de modelos microscópicos:

“É essencial também trabalhar com modelos, introduzindo-se a própria idéia de modelo, através da discussão de modelos microscópicos. Para isso, os modelos devem ser construídos a partir da necessidade explicativa de fatos, em correlação direta com os fenômenos macroscópicos que se quer explicar” (BRASIL, 1999, p. 232).

Existem trabalhos orientados nessa linha, destacando a importância dos modelos no estudo de propriedades da matéria, publicados por universidades brasileiras, com destaque para o Departamento de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, sendo possível citar os trabalhos de Gomes (1997), e mais recentemente Lima et al. (2004).

Além dessa dificuldade de ordem perceptiva, o professor do ensino médio ainda enfrenta outras barreiras, como a inflexibilidade do currículo e a limitação dos próprios livros-texto, que em muitos casos não são escritos levando em conta essa nova proposta de ensino (BRASIL, 1999).

Para exemplificar este problema específico, foram consultados cinco livros escolhidos entre os mais adotados no ensino médio em Recife, listados a seguir na Tabela 01. Como pode ser observado nesta tabela, apenas dois desses livros, nos capítulos referentes a propriedades térmicas (condutividade térmica, ponto de fusão e dilatação térmica), pontuam a questão dos modelos estruturais de materiais, destacando sua relação com as propriedades estudadas. Os demais livros apenas citam que tais propriedades têm origem em aspectos estruturais, sem aprofundarem-se na questão, ou simplesmente nem citam essas relações.

Tabela 01 - Análise de livros de física do ensino médio

LIVRO	CONDUTIVIDADE DE TÉRMICA	PONTO DE FUSÃO	DILATAÇÃO TÉRMICA DOS SÓLIDOS
<i>As Faces da Física</i> (CARRON & GUIMARÃES, 2002)	Não cita a estrutura	Cita a estrutura	Não cita a estrutura
<i>Tópicos de Física</i> (VILLAS BÔAS et al., 2001)	Cita a estrutura	Cita a estrutura	Cita a estrutura
<i>Os Fundamentos da Física</i> (RAMALHO et al., 2003)	Não cita a estrutura	Não cita a estrutura	Não cita a estrutura
<i>Curso de física</i> (MÁXIMO & ALVARENGA, 2000)	Cita a estrutura	Comenta sobre a estrutura	Comenta sobre a estrutura
<i>Física</i> (GASPAR, 2000)	Não cita a estrutura	Não cita a estrutura	Comenta sobre a estrutura

Um outro aspecto observado é que nenhum dos cinco livros analisados discute a relação entre as diversas propriedades de um mesmo material (por exemplo, por que os bons condutores de calor são também bons condutores elétricos?), procurando mostrar que todas têm origens comuns em aspectos estruturais dos materiais.

Existem, contudo, outras opções de trabalho. Visando suprir a carência de materiais didáticos orientados nessa linha pedagógica, algumas universidades têm produzido livros didáticos que buscam contemplar tais aspectos. A coleção de livros didáticos produzidos pelo GREF – Grupo para Reestruturação do Ensino de Física – da Universidade de São Paulo é um bom exemplo. No volume 2 dessa coleção (GREF, 1998), as propriedades térmicas são tratadas mediante uma discussão sobre aspectos estruturais relevantes ao seu estudo.

Diante desses e de outros obstáculos que eventualmente possam ser encontrados, o professor, segundo Morin (2003 A), deve sempre tentar superar as dificuldades, buscando melhorar sua prática docente através de propostas pedagógicas que envolvam o aluno e evidenciem o caráter complexo e articulado da realidade, ao invés de tentar mascarar tais aspectos fazendo uso de abordagens reducionistas e simplificadoras. Uma prática docente sintonizada com essas questões deve ser capaz de abordar o assunto trabalhado a partir dos vários elementos envolvidos, traçando conexões pertinentes entre estes e destacando as propriedades emergentes dessas conexões, de forma a proporcionar uma compreensão sistêmica do objeto de estudo (MORIN, 2003 A).

Nesta pesquisa, na qual pretende-se propor uma abordagem articulada e integradora das propriedades da matéria, torna-se imprescindível o estudo de aspectos estruturais pertinentes (ligações químicas e disposição dos átomos ou moléculas), das relações existentes entre esses elementos, das propriedades emergentes dessas relações e das relações existentes entre aspectos microscópicos e macroscópicos.

Uma proposta dessa natureza necessita de um suporte teórico e filosófico que contemple suas especificidades e leve em consideração o caráter não-linear do objeto em estudo, sendo o pensamento complexo capaz de fornecer o embasamento filosófico necessário para o estudo da rede de conexões a ser desenvolvida. Essa linha de raciocínio compreende que o todo não é simplesmente a soma das partes, uma vez que algumas propriedades emergem das ligações entre os elementos constituintes do sistema estudado e outras são suprimidas por essas ligações (MARIOTTI, 2002).

2.1.2 Modelagem e ensino de ciências: algumas considerações

Assim como outros tópicos abordados nas aulas de ciências, o ensino de propriedades da matéria envolve a discussão de teorias, conceitos e modelos desenvolvidos ao longo dos anos e que estão sempre sujeitos a modificações e ajustes, destacando o caráter não-definitivo do conhecimento científico (COLINVAUX, 1998).

Um modelo pode ser entendido como uma ferramenta auxiliar para guiar investigações, realizar previsões, explicar resultados e promover a comunicação, servindo de ponte entre a abstração teórica e a realidade experimental (COLINVAUX, 1998). Uma questão fundamental a ser pontuada junto aos alunos é que os modelos em geral são representações simplificadas dos sistemas a serem modelados e que o seu nível de eficiência em termos de previsões está ligado ao seu grau de simplificação em relação ao sistema representado.

O nível de simplificação dos modelos depende, entre outras coisas, da linha de pensamento que orienta o estudo dos sistemas e da teoria científica em questão. Tratando-se de objetos de estudo com elevado grau de complexidade (como as propriedades da matéria), uma linha de raciocínio que não contemple essa característica complexa poderá comprometer os modelos construídos de forma preocupante. Um modelo que recorta e simplifica a realidade sem levar

em conta as conseqüências desses atos pode comprometer a coerência dos resultados obtidos ou dos conhecimentos construídos a partir de sua análise.

Outra sugestão é que o professor procure deixar bem claro que a análise dos materiais a nível macroscópico é feita através de parâmetros (tais como índice de refração, condutividade elétrica e coeficiente de dilatação) criados com o intuito de estudar certos comportamentos destes materiais, como suas propriedades óticas, elétricas e térmicas. Tais procedimentos podem ser usados para revelar indícios da estrutura da matéria a níveis microscópicos, dando subsídios para a construção de modelos científicos eficientes em explicar e prever o comportamento das diversas substâncias.

Os antigos filósofos gregos, centenas de anos antes da era cristã, já haviam discutido questões relacionadas à composição da matéria. Um questionamento importante que eles levantaram foi acerca da continuidade da matéria: seria a matéria divisível ilimitadamente em partes cada vez menores ou haveria uma porção mínima que limitaria esse processo? Demócrito e Leucipo, por volta de 400 a.C., foram os primeiros a propor que a matéria teria uma natureza descontínua, sendo composta por minúsculas partículas indivisíveis, denominadas de “**átomos**” (*a*: prefixo de negação, *tomo*: parte em grego) (RUSSELL, 1981).

Em sua concepção original, os átomos dos gregos teriam as mesmas características que os seus respectivos materiais: um átomo de um material bom condutor térmico, por exemplo, também o seria (RUSSELL, 1981). Assim, a teoria atômica grega tem uma forte característica do pensamento linear, admitindo que a composição dos átomos para formar o material não suprimiria nenhuma de suas propriedades nem faria emergir nenhuma nova propriedade. Tal forma de pensar é incoerente com os modelos atuais, em que se admite que a matéria é formada por diferentes elementos que se combinam quimicamente para formar as mais diversas substâncias, cujas propriedades emergem dessas ligações e de seus arranjos estruturais. O conceito de emergência, característico do pensamento sistêmico, um dos operadores do pensamento complexo e que será discutido adiante, é muito importante nesta questão. Esta constitui uma das justificativas para uma abordagem orientada pelo pensamento complexo.

Em paralelo à evolução dos modelos atômicos, foram desenvolvidos os modelos para as ligações químicas e para os arranjos espaciais dos átomos. Os diferentes tipos de ligações

interatômicas e intermoleculares são fundamentais para modelar satisfatoriamente a organização dos vários elementos e assim justificar as diversas propriedades que emergem deste processo de formação. Por outro lado, o estudo da estrutura atômica é essencial para um melhor entendimento das ligações entre diferentes átomos e dos diferentes arranjos moleculares (VAN VLACK, 1973). Percebe-se que os elementos envolvidos estão interligados de várias maneiras diferentes, formando uma rede complexa de relações. Para uma melhor modelagem deste sistema, é recomendável recorrer ao pensamento complexo, que será mais bem discutido a seguir.

2.1.3 Pensamento linear vs. pensamento sistêmico

Por mais de trezentos anos, o conhecimento científico ocidental foi construído e organizado seguindo o paradigma de pensamento linear, característica da visão cartesiana de mundo (CAPRA, 2003). As idéias de René Descartes e Francis Bacon lançaram as bases de uma visão mecanicista de mundo que foi brilhantemente sistematizada por Isaac Newton nos domínios da Matemática e da Física. O pensamento cartesiano fundamenta-se numa profunda crença de que o conhecimento científico encontra-se edificado sobre certezas, não havendo espaços para dúvidas ou incertezas. Como foi colocado por Descartes (1996, p.37):

“(…) mas, como então desejava ocupar-me somente da procura da verdade, pensei que precisava fazer exatamente o contrário, e rejeitar como absolutamente falso tudo em que pudesse imaginar a menor dúvida, a fim de ver se depois disso não restaria em minha crença alguma coisa que fosse inteiramente indubitável” .

Além disso, para Descartes, o *todo* corresponderia exatamente à soma das *partes* que o constituem, assinalando uma forte característica linear em seu pensamento. Desta forma, todas as características das *partes* também seriam características do *todo*, sendo o simétrico igualmente considerado como verdade. Um estudo norteado por este pensamento procura reduzir o todo às suas partes e caracterizá-las, com o intuito de conhecer as propriedades do sistema. Este pensamento linear embasou os avanços científicos entre os séculos XVII e XIX, sendo este período marcado por uma intensa compartimentalização do conhecimento em disciplinas e por sua crescente especialização (CAPRA, 2003).

Durante o final do século XIX e início do século XX, contudo, estudiosos das diversas áreas do conhecimento enfrentaram situações nas quais o estudo analítico e linear não respondia de maneira satisfatória às questões levantadas. Na Biologia, em particular, o estudo do

desenvolvimento de seres vivos em estado embrionário convenceu muitos cientistas de que o todo não era meramente a soma de suas partes, como defendia o pensamento linear cartesiano, e mais, que as partes continham informação sobre o todo; como exemplo, a fragmentação de uma célula em estado de desenvolvimento embrionário gera um ser vivo que mantém todas as características de sua espécie. Estudos nessa área levaram muitos cientistas, como os bioquímicos Ross Harrison e Lawrence Henderson, a trabalhar o conceito de organização nos sistemas vivos, em busca do entendimento da não-linearidade inerente a esses sistemas (CAPRA, 2003 A).

Na Física, o estudo de sistemas quânticos desafiou as mais brilhantes mentes do início do século XX. Sua compreensão começou a consolidar-se apenas quando os físicos voltaram sua atenção para as relações existentes entre as partes componentes do sistema, conscientizando-se que uma análise reducionista não seria satisfatória para sua caracterização. Segundo Heisenberg (Apud CAPRA, 2004, p.197):

“(…), dividimos agora o mundo não em grupos diferentes de objetos mas em grupos diferentes de conexões. (...) O que pode ser diferenciado é o tipo de conexão que é basicamente importante num dado fenômeno. (...) O mundo aparece assim como um complicado tecido de eventos, no qual conexões de diferentes tipos se alternam ou se sobrepõem ou se combinam e, por meio disso, determinam a textura do todo.”

O pensamento subjacente às duas análises anteriormente citadas é chamado de pensamento sistêmico e focaliza o estudo no todo, em contrapartida ao pensamento linear cartesiano, que focaliza o estudo nas partes que constituem o sistema. O pensamento sistêmico enfatiza as relações existentes entre as partes, entendendo que diversas propriedades do sistema emergem dessas interações.

Segundo Morin (2003), dois dos grandes triunfos do pensamento sistêmico foram: i) eleger como elemento fundamental da teoria o sistema, uma entidade complexa não-reduzível às suas partes; ii) abordar os problemas estudados através de uma perspectiva transdisciplinar, percebendo simultaneamente a unidade das ciências e suas distinções.

A abordagem sistêmica, contudo, não constitui uma ferramenta de análise definitiva, uma vez que negligencia as características dos elementos constituintes da rede de ligações que forma o conjunto. Torna-se necessária uma forma de pensar que integre os pensamentos linear e

sistêmico, que teça conexões entre os elementos do sistema em diferentes níveis de organização; eis o pensamento complexo.

2.1.4 O pensamento complexo

A proposta do pensamento complexo é acoplar duas formas complementares de juízo, o linear e o sistêmico, em busca de uma abordagem que contemple a complexidade própria da natureza. A análise cartesiana corta e simplifica a natureza; como resultado, obtém uma visão distorcida e muitas vezes distante do objeto de estudo. O pensamento sistêmico por sua vez não consegue trançar as conexões necessárias entre as partes e o todo, atendo-se a este último (MORIN, 2003).

Complexo não significa complicado, ao contrário do que muitos possam pensar. A palavra “complexo” aparece em espanhol derivada do latim *complexio*, que em seu sentido original significa amálgama ou conjunto (MORIN et al., 2003). Ao aplicar o termo complexidade às ciências, procura-se uma visão que contemple os vários níveis distintos de realidade e que consiga relacioná-los, formando uma rede de conexões sem negligenciar o papel individual de cada elemento.

O pensar complexo procura tecer as conexões entre as partes, ao mesmo tempo em que procura relacioná-las com o sistema em diferentes níveis de organização, com o objetivo de compreender o objeto complexo em toda sua extensão. Uma frase de Blaise Pascal (Apud MARIOTTI, 2002, p. 85) descreve com muita propriedade essa intenção:

“Sendo todas as coisas causadas e causantes, auxiliadas e auxiliantes, mediatas e imediatas, e mantendo-se todas elas por meio de um vínculo natural e insensível, que une as mais afastadas e as mais diferentes, considero impossível conhecer as partes sem conhecer o todo, bem como conhecer o todo sem conhecer as partes em particular.”

Ao propor a fusão entre as abordagens linear e sistêmica, o pensamento complexo procura adequar-se às características da natureza, sem, contudo, ter a pretensão de construir um conhecimento completo. O complexo, pelo contrário, procura tomar consciência das limitações e incertezas que o permeiam. Segundo Morin (2003), o erro, a ilusão e a ignorância acompanham o ritmo de crescimento de nossos conhecimentos, residindo principalmente na maneira como as idéias são organizadas. As teorias e ideologias que não se amoldam à

complexidade dos sistemas estudados tendem a deformar o conhecimento sem tomar consciência disso, uma vez que o erro e a ilusão não se reconhecem como tal. Um dos fundamentos do pensamento complexo é admitir a incerteza e o erro como elementos indeléveis das teorias que buscam modelar a natureza.

Na visão clássica da construção do conhecimento, um erro ou contradição seria um indício de falha na argumentação, de modo que se tornaria necessária sua reformulação. Sob o ponto de vista complexo, uma contradição pode assinalar a existência de outros níveis de realidade que não haviam sido contemplados pela afirmação inicial, sem, contudo, significar necessariamente um erro conceitual ou lógico nessa afirmação.

È possível compreender melhor essa proposta analisando-se a afirmação: “cargas elétricas positivas se repelem mutuamente”. A princípio esta afirmação encontra-se em perfeito acordo com os fenômenos elétricos observados cientificamente, mas quando a análise aprofunda-se a níveis sub-atômicos, verifica-se que os prótons mantêm-se unidos, formando o núcleo de um átomo, por forças mútuas de atração. Quando os prótons encontram-se separados por distâncias superiores às dimensões nucleares, a força de repulsão colombiana explica a existência do comportamento repulsivo. Em contrapartida, quando dois prótons encontram-se muito próximos um do outro, separados por dimensões nucleares, entra em cena outra força, que antes era desprezível em relação à colombiana, a força nuclear forte; devido ao seu limitado raio de ação, essa força não é significativa para fenômenos que envolvam dimensões supranucleares, sendo, entretanto, muito importante para o entendimento de fenômenos nucleares. Isso não invalida a afirmação inicial, apenas indica um novo nível de realidade que não havia sido contemplado por ela.

2.1.5 Os operadores cognitivos do pensamento complexo

Visando ao entendimento da complexidade, bem como à sua operacionalização, vários autores desenvolveram, ao longo do século XX, alguns operadores cognitivos ou operadores de religação (MARIOTTI, 2002) do pensamento complexo. Esses operadores não devem ser visualizados individualmente, mas sim como partes interligadas de um mesmo sistema e que atuam de forma complementar na construção de um conhecimento fundamentado no pensamento complexo. Trabalharemos com alguns destes operadores, descritos a seguir.

2.1.5.1 O pensamento sistêmico

Como comentado antes, 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. Esta forma de pensar e entender os sistemas surgiu a partir dos estudos em Física e Biologia, expandindo-se às demais áreas do conhecimento e propondo uma nova forma de articulá-las (CAPRA, 2003 A).

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 que emergem das conexões entre estes átomos em diferentes níveis de complexidade, compreendendo o comportamento integral do sistema.

É necessário reforçar que o pensamento complexo não se reduz ao pensamento sistêmico, embora este seja um operador cognitivo de extrema importância para sua compreensão e operacionalização. Para atingir o objetivo de promover uma abordagem complexa, o pensamento sistêmico deve operar em sintonia com os demais operadores cognitivos do pensamento complexo, apresentados a seguir.

2.1.5.2 O conceito de recursividade

Dentro do paradigma linear cartesiano, a relação de causa e efeito é um dos grandes pilares de construção e organização do saber. Relações lineares entre diversos fenômenos são construídas baseadas na crença de que cada fenômeno tem uma única causa; o problema é que nem todos os fenômenos naturais têm uma única causa e muitas vezes estes fenômenos integram uma cadeia retroalimentada.

A idéia de circularidade foi introduzida por Norbert Wiener, ao estudar sistemas que têm a capacidade de se manterem estáveis mesmo diante de variações no meio ambiente. Esta

capacidade surge de uma característica não-linear destes sistemas chamada de retroalimentação ou realimentação (do inglês *feedback*) (MARIOTTI, 2002).

Existem, contudo, sistemas que vão além da circularidade, sistemas que são recursivos. A noção de circularidade produtiva ou recursividade é mais complexa que a de retroalimentação. Nos sistemas recursivos os produtos (ou efeitos) são simultaneamente produtores (ou causas) do processo (MORIN et al., 2003). Os seres vivos contêm inúmeros sub-sistemas recursivos, onde não é possível determinar quem é causa e quem é efeito, a exemplo dos processos de liberação dos hormônios, onde um hormônio **A** atua sobre o processo de produção de um hormônio **B** que por sua vez atua no processo de produção do hormônio **A**.

Para George Kelly, cuja teoria da personalidade será apresentada ao final deste capítulo, o sistema cognitivo de um indivíduo organiza-se de maneira recursiva, de modo que os elementos organizadores do sistema são também orientados pelo próprio sistema, o que tem profundas influências no processo de aprendizagem. Segundo Kelly (1963, p.79, tradução livre), o indivíduo só percebe aquilo que seu sistema consegue apreender:

“(...) uma pessoa não aprende certas coisas meramente devido à natureza do estímulo aplicado a ela; ela aprende apenas o que sua rede é projetada para permitir ser visto no estímulo.”

2.1.5.3 O princípio hologramático

Utilizando a metáfora do holograma (um tipo de fotografia na qual qualquer parte traz quase todas as informações a respeito do todo), num sistema complexo não apenas as partes estão no todo, assim como o todo também se encontra nas partes. O exemplo clássico de Edgard Morin (MORIN et al., 2003) é de que não apenas os indivíduos fazem parte da sociedade como também a sociedade faz parte dos indivíduos; cada pessoa leva consigo informações sobre sua cultura, sua língua, sobre a sociedade de maneira geral.

Outro bom exemplo do princípio hologramático é o das células de um organismo vivo, que mesmo sendo especializadas carregam todas as informações genéticas necessárias para a formação de um novo ser vivo. No caso dos materiais, sua composição química 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.

2.1.5.4 O princípio dialógico

Na visão dialética de Hegel, o conflito entre idéias antagônicas (tese e antítese) é concebido como uma etapa transitória da construção do conhecimento, e que dá origem a uma idéia mediadora entre os opostos (a síntese) que resolve este conflito de modo conciliador, superando as diferenças entre os pólos.

A ótica dialógica entende que esta superação nem sempre é possível, e procura legitimar o caráter permanente do conflito entre idéias opostas nestes casos. Quando necessário, ao invés de tentar solucionar as contradições entre duas noções distintas, a visão dialógica busca articulá-las de maneira complementar (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.

De modo geral, no estudo das propriedades da matéria o aluno deve ser capaz de lidar com elementos diversos, suas relações, propriedades emergentes destas e relações dialógicas. O pensamento complexo pode, então, fornecer importantes subsídios cognitivos para que os alunos desenvolvam uma melhor compreensão acerca de um assunto tão articulado. A seguir serão discutidos alguns pontos fundamentais para o estudo das propriedades elétricas, térmicas e óticas dos materiais, e a importância de sua articulação.

2.2 RELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES E ASPECTOS ESTRUTURAIS

2.2.1 Algumas considerações sobre a terminologia “aspectos estruturais”

Considerando que o desenvolvimento deste trabalho requer a compreensão das relações entre propriedades da matéria e seus aspectos estruturais, é fundamental discutir o significado do termo “aspectos estruturais” e de conceitos a ele subjacentes, procurando estabelecer claramente seus escopos de validade, sendo este o intuito desta seção.

No sentido de esclarecer melhor a utilização do termo *aspectos estruturais*, Brandon & Kaplan (1999), estabelecem algumas distinções entre *macroestrutura*, *mesoestrutura*, *microestrutura* e *nanoestrutura*. Segundo estes autores, a macroestrutura de um material refere-se a todos os aspectos acessíveis a olho nu, como por exemplo, grandes porosidades ou fissuras estruturais. A mesoestrutura, por sua vez, relaciona-se a fenômenos que ocorrem na região limite do visível a olho nu; fenômenos nas fronteiras dos materiais em estudo, como no caso das superfícies adesivas e das soldas estão no escopo da mesoestrutura.

A microestrutura do material inclui aspectos relacionados à interação entre as moléculas, como tamanhos de grãos microestruturais, separação entre partículas e microporosidades. Neste nível de escala espacial situam-se os estudos acerca da ordenação das moléculas (ou dos átomos) em materiais sólidos (cristalografia). Já a nanoestrutura restringe-se aos aspectos “sub-micron”, como os estágios iniciais de cristalização e as regiões de ordenação localizada dos sólidos amorfos (BRANDON & KAPLAN, 1999).

Vários fenômenos físicos relacionados às propriedades dos materiais têm origem em suas estruturas, como a condução de cargas elétricas, a condução de energia térmica, e ainda a transmissão de radiações eletromagnéticas (VAN VLACK, 1973). Os aspectos estruturais relevantes ao estudo das propriedades elétricas, térmicas e óticas são as ligações químicas existentes entre átomos, bem como os possíveis arranjos espaciais destes.

Muitas das propriedades macroscópicas dos materiais resultam do tipo de ligações químicas estabelecidas entre seus átomos. Verifica-se, por exemplo, que enquanto os materiais metálicos (constituídos por ligações metálicas) normalmente apresentam altas condutividades elétricas, materiais cerâmicos (formados por ligações iônicas) não são em geral bons

condutores elétricos. A influência das ligações químicas nas propriedades macroscópicas também é evidenciada na comparação de materiais formados pela mesma substância, como é o caso da grafite e do diamante (ambos compostos exclusivamente por carbono); as diferenças entre as propriedades elétricas, óticas e térmicas destes materiais são atribuídas às diferentes ligações químicas estabelecidas entre seus átomos (CALLISTER, 2002).

Assim 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 estrutura (CALLISTER, 2002).

Diante do exposto, é possível perceber a importância das ligações químicas e dos arranjos atômicos na determinação de propriedades dos diferentes materiais; essas propriedades, em geral, emergem das conexões estabelecidas entre os átomos de um material. Espera-se, dessa forma, que o estudo desses aspectos estruturais contribua no sentido de ampliar a compreensão das propriedades macroscópicas da matéria.

Na próxima seção serão discutidas as principais propriedades elétricas, óticas e térmicas dos materiais, articulando-as com os aspectos estruturais relevantes em cada caso. De acordo com o que foi discutido na seção anterior, o caráter emergente dessas propriedades reforça a importância de uma abordagem que contemple as características complexas dos sistemas em estudo, como proposto neste trabalho.

2.2.2 As propriedades da matéria e os aspectos estruturais

Um estudo das propriedades da matéria orientada pelo pensamento complexo deve em primeiro lugar conscientizar da importância de analisar não apenas os elementos que compõem a matéria, mas também as relações entre estes elementos em vários níveis de organização, de maneira a contemplar as propriedades emergentes destas conexões.

Nesta pesquisa serão tratados apenas alguns aspectos de propriedades elétricas, térmicas e óticas, por questão de limitação do tempo disponível para sua realização. Não obstante, a linha de pensamento e a metodologia de trabalho apresentada podem ser aplicadas às demais propriedades sem nenhuma perda de significado.

2.2.2.1 Propriedades elétricas

Neste subconjunto das propriedades dos materiais, a principal é a condutividade elétrica. Com o intuito de viabilizar sua aprendizagem significativa, o professor pode abordar a questão a partir não somente dos fatores macroscópicos envolvidos (diferença de potencial e corrente elétrica), mas também analisar os fatores estruturais relevantes (ligações químicas, bandas de energia e arranjos atômicos), articulando-os da melhor maneira possível.

A condutividade elétrica depende basicamente da mobilidade de portadores de carga elétrica (íons ou elétrons). Nos materiais sólidos (condutores de 1ª classe), tal condutividade é devida exclusivamente ao movimento de elétrons, uma vez que os íons apresentam uma probabilidade ínfima de movimentarem-se ao longo da estrutura do material (MILLMAN & HALKIAS, 1981).

Esse é um problema caracteristicamente complexo, que envolve uma rede de elementos (átomos), de cujas conexões emergem muitas das propriedades do material. Desta forma, para compreender a condutividade elétrica em sua complexidade não basta ao aluno o estudo dos átomos que compõem o material e suas respectivas distribuições eletrônicas. Torna-se altamente recomendável o estudo das ligações químicas estabelecidas entre estes átomos e dos seus possíveis arranjos espaciais, bem como das propriedades emergentes destas relações. Para uma melhor compreensão da mobilidade eletrônica através da estrutura é recomendado ainda o estudo da teoria das bandas de energia (VAN VLACK, 1973).

Os materiais metálicos, que em geral apresentam elevada condutividade elétrica, têm seus átomos dispostos em redes cristalinas e conectados através de ligações metálicas. As ligações metálicas entre os átomos caracterizam-se pela criação de bandas de energia que possibilitam a mobilidade eletrônica ao longo do material, sendo esta mobilidade favorecida pelo arranjo cristalino dos átomos destes materiais (MILLMAN & HALKIAS, 1981).

Materiais que apresentam comportamento de isolantes elétricos, como muitas cerâmicas e polímeros, apresentam ligações entre átomos dos tipos covalente e iônica, que se caracterizam pelos maiores “gaps” de energia entre as bandas de valência e de condução. A condução eletrônica nestes materiais é muito mais restrita quando comparada com a condução nos materiais condutores (CALLISTER, 2002).

O estudo da condutividade elétrica envolve a classificação dos materiais em condutores, isolantes e semicondutores. É importante que o aluno perceba o caráter dialógico que existe entre os pólos “condutor” e “isolante”, uma vez que um mesmo material pode apresentar comportamento de isolante elétrico em algumas situações e de condutor elétrico em outras (HALLIDAY et al., 1995). Os materiais cerâmicos, por exemplo, que têm sua estrutura caracterizada por ligações iônicas e arranjo cristalino dos seus átomos, apresentam comportamento dielétrico em diversas situações. Apesar de possuírem um arranjo atômico que facilita a mobilidade eletrônica, estes materiais caracterizam-se por ligações iônicas que não favorecem o deslocamento eletrônico entre átomos. Não obstante, podem apresentar comportamentos de semicondutores ou até mesmo de supercondutores em outras situações, indicando que alguns aspectos estruturais (como o arranjo dos átomos, a agitação térmica ou a dopagem) podem favorecer a mobilidade eletrônica (CALLISTER, 2002).

2.2.2.2 Propriedades óticas

Assim como a condutividade elétrica, as propriedades óticas dos materiais também emergem da relação complexa entre os diversos aspectos estruturais envolvidos. O comportamento ótico de determinado material tem uma dependência direta da estrutura eletrônica dos elementos que o constituem, bem como do arranjo espacial de seus átomos.

Materiais que possuem grande quantidade de elétrons livres em sua estrutura, como os metais, normalmente apresentam grande grau de opacidade pelo fato destes elétrons interagirem com a radiação visível que incide no material. A estrutura de bandas de energia possibilita a reflexão de todas as frequências da luz visível em igual intensidade, através de sua absorção acompanhada de sua rápida re-emissão, o que promove o aspecto brilhante destes materiais. A absorção da radiação incidente ocorre numa fina camada externa, em geral menor que 0,1 μm , de modo que apenas filmes metálicos com espessura menor que 0,1 μm podem transmitir a luz visível (CALLISTER, 2002).

Os materiais dielétricos tendem a ser intrinsecamente transparentes para uma parte das radiações, pois a sua estrutura eletrônica faz com que nem todas as radiações sejam absorvidas em grande quantidade, somente aquelas com frequências suficientemente grandes para conseguir levar um elétron da banda de valência à banda de condução. Materiais com grandes “gaps” de energia entre as bandas de condução e valência tendem a ser totalmente transparentes à luz visível, como o diamante (RUSSEL, 1981).

Contudo, mesmo os materiais dielétricos que apresentem baixo coeficiente de absorção para a radiação visível podem tornar-se translúcidos ou opacos devido a sucessivas reflexões e espalhamentos em sua estrutura interna. Materiais dielétricos puros como o óxido de alumínio, em suas formas monocristalinas tendem a ser transparentes por apresentarem uma estrutura homogênea, enquanto estas mesmas substâncias em suas formas policristalinas tendam a ser translúcidos por causa do espalhamento da radiação ao longo de sua estrutura não-homogênea (CALLISTER, 2002).

Uma grande quantidade de poros ao longo da estrutura de um material dielétrico cristalino pode aumentar a taxa de espalhamento da radiação eletromagnética a ponto de torná-lo opaco,

como no caso dos materiais cerâmicos que apresentam uma porosidade residual provocada pelo seu processo de fabricação (VAN VLACK, 1973).

Nos polímeros, o grau de translucidez está diretamente relacionado ao seu nível de cristalinidade, uma vez que as fronteiras entre as regiões amorfas e cristalinas promovem o espalhamento e reflexão da radiação transmitida através do material. Os polímeros altamente cristalinos tendem a ser translúcidos ou até mesmo opacos, enquanto aqueles altamente amorfos tendem a ser transparentes (CALLISTER, 2002).

Nos materiais transparentes, a interação da radiação (com os dipolos eletrônicos temporários) retarda a propagação da luz no material. Desta forma, a velocidade da radiação tende a ser menor em materiais que tenham maior densidade (o que acarreta uma maior concentração de dipolos) e átomos com números atômicos maiores (o que significa um maior potencial de polarizabilidade) (VAN VLACK, 1973). A mudança da velocidade da luz quando da passagem de um meio a outro ou ainda de uma região a outra dentro do mesmo material pode provocar seu desvio. A velocidade da radiação em determinado meio depende de sua frequência, de modo que diferentes radiações podem apresentar diferentes desvios numa refração, resultando na dispersão da radiação incidente (CALLISTER, 2002).

Em suma, o comportamento ótico do material pode ser mais bem compreendido analisando-se aspectos estruturais relevantes, como a estrutura eletrônica de seus átomos e o arranjo espacial destes. Articulando estes aspectos, é possível inferir acerca de propriedades macroscópicas do sistema. Isto está de acordo com o princípio hologramático do pensamento complexo e reforça a recomendação de uma abordagem orientada nesta linha de pensamento para uma prática de ensino mais eficiente e consciente.

2.2.2.3 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas dos materiais também emergem das ligações estabelecidas entre átomos ou moléculas quando da formação do material, solicitando uma abordagem numa ótica complexa.

Ao se considerar, por exemplo, as temperaturas de fusão e de vaporização nos diversos materiais, observa-se que há uma forte dependência entre o tipo de arranjo espacial dos átomos e conseqüentemente com o tipo de ligação existente entre suas moléculas (no caso de estruturas moleculares) ou entre seus átomos. Quanto maior o grau de interação entre seus elementos constituintes, mais energia térmica será necessária para desorganizar tal estrutura (desta forma o material terá altos pontos de fusão e vaporização). Em geral, materiais que têm suas estruturas baseadas em ligações moleculares fracas (sólidos moleculares como H_2O e CO_2 ou ainda materiais poliméricos) apresentam pontos de fusão baixos ou médios, enquanto materiais que se organizam em estruturas cristalinas (sólidos metálicos como o ferro, iônicos como o $NaCl$, ou covalentes como o diamante e o quartzo) caracterizam-se por pontos de fusão médios ou elevados, devido à grande estabilidade de suas estruturas (RUSSEL, 1981).

A condutividade térmica dos materiais sólidos é um outro parâmetro que está intimamente relacionado à presença de elétrons livres e à estrutura cristalina. No caso dos sólidos metálicos o que se observa é que ambas condições são favoráveis ao processo de transferência de calor. O aquecimento de uma região qualquer de um material metálico faz com que tanto os íons como os elétrons livres aumentem sua energia cinética. Enquanto os íons vibram mais intensamente e propagam esta energia térmica através da estrutura cristalina, os elétrons movimentam-se mais rapidamente ao longo de toda a estrutura. A alta condutividade térmica deve-se caracteristicamente à liberdade que os elétrons têm de movimentar-se rapidamente ao longo da estrutura cristalina (CALLISTER, 2002). Já no caso de materiais não metálicos como o $NaCl$ ou o diamante que sabidamente não são bons condutores de calor, têm-se estruturas caracteristicamente cristalinas, mas uma ausência de elétrons livres que possam movimentar-se ao longo desta estrutura. Materiais como os vidros não apresentam estruturas cristalinas nem elétrons livres, sendo naturalmente bons isolantes térmicos.

Um outro aspecto a ser considerado é a questão da dilatação térmica dos materiais, que é causada pelo aumento da amplitude das vibrações dos átomos constituintes do material, sendo

mais acentuada nos metais do que nos não-metais. Isto se deve ao fato da ligação metálica não ser tão intensa como a covalente ou a iônica, que ocorrem nos não-metais. Nestes, os átomos estão fortemente ligados uns aos outros, formando uma estrutura mais estável. Neste caso, o aumento da distância interatômica requer uma maior quantidade de energia quando comparado ao caso dos metais (CALLISTER, 2002).

Diante das considerações feitas, é possível enfatizar que a compreensão desses diversos comportamentos térmicos solicita uma abordagem complexa que abranja os átomos, suas ligações e as estruturas formadas por estes, conseguindo dessa forma compreender as propriedades que emergem dessas conexões.

A Tabela 02 apresenta um pequeno resumo de algumas propriedades de diversos materiais sólidos relacionando-as com as características estruturais desses materiais.

Tabela 02 - Ligações e propriedades dos sólidos.

	Iônico	Molecular	Covalente	Metálico
Unidades nos pontos reticulares	Íons positivos e negativos	Moléculas	Átomos	Íons positivos
Forças de ligação entre as unidades	Ligações iônicas	Forças de van der Waals	Covalente	Atração entre o gás de elétrons e os íons positivos
Dureza	Razoavelmente duro, quebradiço	Mole	Muito duro	Mole a duro
Ponto de fusão	Razoavelmente alto	Baixo	Muito alto	Médio a alto
Condutividade elétrica e térmica	Baixa	Baixa	Baixa	Boa a ótima
Exemplos	NaCl K ₂ CO ₃ (NH ₄) ₂ SO ₄ Na ₃ PO ₄	CO ₂ C ₆ H ₆ H ₂ O CH ₄	SiC SiO ₂ (quartzo) C (diamante) Al ₂ O ₃	Na Ag Fe W

Fonte: RUSSEL, 1981– p. 290

2.2.3 Investigando e avaliando as concepções dos alunos

Uma pesquisa de cunho pedagógico que pretenda investigar o processo de construção de conhecimento deve fundamentar-se numa teoria que abarque suas peculiaridades, dando subsídios à investigação do objeto de estudo e à análise dos resultados obtidos (OLIVEIRA, 2003).

Este trabalho de pesquisa fundamentar-se-á na Teoria dos Construtos Pessoais, desenvolvida por George Kelly, que se ajusta muito bem ao seu propósito, uma vez que compreende o sistema cognitivo dos indivíduos como uma rede de elementos (chamados de construtos) que se relacionam em diferentes níveis de complexidade. Os construtos e o próprio sistema estariam constantemente sujeitos a mudanças que permitissem sua melhor adequação às previsões feitas pelo indivíduo em relação aos fenômenos vividos. Esse processo de reestruturação do sistema é caracterizado por Kelly como recursivo (corolário da modulação), embasando dessa forma a análise das questões referentes à aprendizagem a partir de uma ótica complexa (HALL et al., 2000). Além de considerar a complexidade do mecanismo de aprendizagem, a TCP ainda fornece subsídios para a investigação acerca da aprendizagem de um tema com alto grau de complexidade como as propriedades da matéria.

É fundamental também que o pesquisador disponha de uma técnica eficiente para explorar e avaliar o sistema cognitivo do aluno, de modo a contemplar seu caráter complexo. Poderá assim analisar as relações que o aluno consegue estabelecer entre os diversos elementos envolvidos no processo em questão (propriedades dos materiais, aspectos estruturais como ligações químicas e arranjos atômicos, aplicações práticas,...), avaliando inclusive quaisquer mudanças nessa rede de relações. Kelly também criou uma técnica eficiente neste sentido, o teste da matriz de repertório, desenvolvido com o objetivo de inferir sobre o sistema cognitivo de seus pacientes. Esse teste, que será descrito em detalhes na próxima seção, permite construir uma matriz na qual o aluno pode relacionar as propriedades da matéria aos diversos elementos envolvidos no seu estudo. A versão do teste utilizada neste trabalho permite inclusive a aplicação de ferramentas estatísticas para o cálculo de fatores de correlação entre os elementos componentes da matriz, sendo considerada uma ferramenta apropriada aos objetivos desta pesquisa (MINGUET, 1998).

2.3 A PSICOLOGIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS DE GEORGE KELLY

2.3.1 História pessoal

George Alexander Kelly nasceu em 28 de abril de 1905 numa fazenda no estado norte-americano de Kansas. Sua educação básica foi marcada por irregularidades típicas de uma comunidade rural do começo do século XX, sendo sempre assistido por seus pais. Durante sua adolescência foi morar fora de casa com o objetivo de prosseguir com os estudos do ciclo básico em Wichita. Depois de estudar durante três anos na Friends University, obteve o grau de Bacharel em Física e Matemática pelo Park College, em 1926 (MAHER, 1969).

Nesta época já demonstrava interesse por questões políticas e sociais, tendo participado de vários debates intercolégiais durante seu período acadêmico. Seguindo sua nova linha de interesse foi estudar sociologia educacional na Universidade de Kansas, onde obteve o grau de Mestre em 1928. Em sua tese de mestrado realizou um estudo sobre as atividades de lazer dos trabalhadores de Kansas City em seu tempo de folga (HALL et al., 2000). Nos meses que se seguiram, Kelly acumulou experiência como professor em várias situações distintas; foi instrutor em meio período numa escola técnica em Mineápolis, proferiu palestras na American Bankers Association, ministrou aulas de Americanização para futuros cidadãos e ainda teve uma breve experiência como professor numa escola de engenharia aeronáutica em Wichita.

Em 1929 obteve uma bolsa de estudos e foi para a Universidade de Edimburgo como aluno de intercâmbio. Lá obteve o grau de Bacharel em Educação em 1930, tendo desenvolvido uma tese onde trabalhava com prognósticos sobre o sucesso de processos de ensino. Retornou aos Estados Unidos, onde se matriculou na Universidade de Iowa no curso de pós-graduação em Psicologia. Após o curto período de um ano recebeu, ainda em 1931, o grau de Ph.D., tendo desenvolvido um trabalho de pesquisa sobre os elementos mais comuns em deficiências de fala e escrita (MAHER, 1969).

Nos treze anos seguintes Kelly lecionou no Fort Hays Kansas State College, tendo direcionado nesta época seus esforços para montar um programa de psicologia clínica para atender as escolas estaduais do Kansas. Durante este período desenvolveu novas abordagens na psicologia clínica em situações escolares, publicando vários artigos sobre o tema.

Desconfortável com a abordagem freudiana tradicional, que enfatizava a relação de dependência do comportamento pessoal com o ego, Kelly procurava uma maneira de “libertar” o homem de seu ego, possibilitando-o reconstruir seu comportamento através de maneiras alternativas de guiar sua vida. Segundo o próprio Kelly (1963, p. 21-22, tradução livre):

“Definitivamente um homem determina a medida de sua própria liberdade e de sua própria escravidão pelo nível no qual escolhe estabelecer suas convicções. O homem que guia sua vida baseado em muitas convicções inflexíveis acerca de assuntos efêmeros faz de si mesmo a vítima das circunstâncias.”

Com a chegada da Segunda Guerra Mundial, Kelly ingressou na Marinha Norte-americana, primeiramente encarregado do programa de treinamento local para pilotos civis. Em seguida foi designado para o Bureau de Medicina e Cirurgia da Marinha, em Washington, onde permaneceu até o fim da Guerra, em 1945. Neste mesmo ano foi indicado para o cargo de professor associado da Universidade de Maryland e no ano seguinte (1946) foi nomeado professor e diretor de Psicologia Clínica na Universidade Estadual de Ohio, onde permaneceu trabalhando durante as duas décadas seguintes. Durante muitos anos canalizou suas energias para desenvolver o Programa de Graduação em Psicologia Clínica daquele estabelecimento a um nível de destaque nacional, tendo conseguido alcançar seu objetivo. Ao longo deste período, desenvolveu sua maior contribuição à Psicologia, a obra intitulada *A Psicologia dos Construtos Pessoais* que foi apresentada originalmente em dois volumes publicados em 1955, sendo posteriormente condensada num volume único – *Uma teoria de Personalidade: A Teoria dos Construtos Pessoais* (KELLY, 1963), uma das obras consultadas nesta pesquisa.

Ao longo de sua vida profissional, George Kelly exerceu o cargo de Presidente das Divisões Clínica e Consultiva do “American Psychological Association”, além de Presidente do “American Board of Examiners in Professional Psychology”. Kelly foi indicado em 1965 para a “Riklis Chair of Behavioral Science” na Universidade de Brandels, onde permaneceu até falecer em março de 1967, deixando vários trabalhos inacabados (HALL et al., 2000). Sua Teoria dos Construtos Pessoais foi reconhecida pela comunidade científica como um grande avanço no estudo da personalidade (MAHER, 1969).

2.3.2 Suposições básicas

Para introduzir sua Teoria dos Construtos Pessoais, Kelly parte de algumas suposições iniciais consideradas fundamentais para o seu correto entendimento, tais como sua visão de homem, sua postura filosófica e a noção de construtos pessoais.

Essas suposições iniciais, que serão apresentadas a seguir, são importantes porque auxiliam o leitor a familiarizar-se com a Teoria dos Construtos Pessoais, já que nessa teoria muitos dos elementos frequentemente presentes em teorias psicológicas de prestígio, como a psicanálise de Freud, a teoria Junguiana e a teoria motivacional de Murray, são descartados em detrimento de novos conceitos (CLONINGER, 1999). Segundo o próprio Kelly (1963, p.xi, tradução livre):

“Nesta nova maneira de pensar sobre Psicologia, não há aprendizagem, motivação, emoção, cognição, estímulo, resposta, ego, inconsciente, necessidade, reforço, nem direcionamento. Estes termos não foram simplesmente abandonados; o que é mais importante, os conceitos em si evaporaram. Se o leitor começar a murmurar essas palavras, pode ter certeza que perdeu a essência”.

2.3.2.1 A perspectiva de homem – metáfora do homem-cientista

O primeiro ponto discutido por George Kelly é a perspectiva a partir da qual o ser humano é estudado e analisado. Para compreender esse processo devem-se considerar duas simples noções: primeiro, que o homem pode ser mais bem entendido se for analisado à luz dos séculos, ao invés de vê-lo em momentos passageiros; além disso, que cada pessoa contempla à sua própria maneira o fluxo de eventos no qual encontra-se imersa (KELLY, 1963).

Dentro da perspectiva de análise secular do homem, Kelly fez um paralelo entre o desenvolvimento pessoal e o desenvolvimento da própria humanidade. Em sua busca por condições de vida cada vez melhores, a humanidade procura prever e controlar os eventos nos quais encontra-se envolvida, através da construção de modelos, científicos e de outras naturezas, cada vez mais detalhados, que possibilitem previsões cada vez mais coerentes dos fenômenos naturais e sociais vivenciados.

Os modelos são peças fundamentais para o desenvolvimento da Ciência, uma vez que fazem o papel de intermediários entre as colocações fundamentalmente abstratas das teorias

científicas e o campo substancialmente prático e concreto das experimentações e eventos naturais. O desenvolvimento científico em si está definitivamente ligado à evolução dos modelos científicos, ao seu refinamento e adequação à realidade natural e social (COLINVAUX, 1998). Nesse processo de construção do conhecimento científico o papel principal é desempenhado pela figura do cientista, que trabalha no sentido de aprimorar continuamente os modelos científicos com os quais realiza suas previsões e controle dos eventos naturais, procurando modificá-los, sempre que preciso para uma melhor adequação aos resultados experimentais.

Kelly propôs que, de forma análoga aos cientistas, o homem procura evoluir enquanto ser ativo mediante o desenvolvimento e refinamento da sua maneira de interpretar, modelar e prever o fluxo de acontecimentos nos quais está envolvido, através do desenvolvimento de sistemas antecipatórios. Utilizando suas próprias palavras (KELLY, 1963, p.5, tradução livre):

“Não poderia o indivíduo, cada um à sua maneira pessoal, assumir a postura de um cientista, sempre procurando prever e controlar o curso dos eventos com os quais ele encontra-se envolvido?”

Kelly usa a metáfora do homem-cientista para caracterizar essa incessante busca do homem no sentido de permanentemente reconstruir sua maneira de enxergar o mundo, comparando esse comportamento ao do cientista, que busca prever e controlar os eventos naturais. Embora a TCP tenha sido desenvolvida objetivando-se fins clínicos, essa perspectiva de homem-cientista amolda-se naturalmente aos *propósitos educacionais*. Vale destacar dois pontos que devem ser trabalhados e estimulados nos alunos: a competência em antecipar eventos e a possibilidade de reconstrução de seus sistemas antecipatórios (MINGUET, 1998).

Assim como o “bom cientista”, o aluno deve estar apto a reconhecer as limitações e os erros de seus sistemas antecipatórios frente a resultados inesperados, bem como ser capaz de reformular os sistemas que se mostraram ineficazes na predição de eventos. Segundo Morin (2003 B), um dos teóricos do pensamento complexo, a conscientização a respeito do erro e da incerteza é fundamental para a construção do conhecimento. Uma vez que toda teoria é susceptível a erros, seu caráter mutável deve ser explicitado e apresentado ao aluno. O erro e a incerteza podem, dessa maneira, favorecer a evolução e a continuidade do conhecimento, desde que sejam devidamente identificados e reconhecidos como tais.

2.3.2.2 Construtos pessoais

O homem-cientista busca, então, representar o mundo exterior da melhor forma possível, com o intuito de prever eficientemente os eventos nos quais encontra-se envolvido. Essa representação é feita através de padrões, criados com o objetivo de reproduzir os diversos aspectos do universo real, sendo estes padrões sujeitos a revisões sempre que necessário, visando a uma melhor adequação à realidade vivenciada. Esses padrões foram chamados por Kelly de **construtos**, e são os instrumentos através dos quais os indivíduos enxergam o mundo e tentam compreendê-lo da melhor maneira possível.

Segundo a visão de Kelly (1963), os construtos estão estruturados de forma dicotômica; o conceito de bom, por exemplo, está relacionado de maneira indissociável ao conceito de mau. Ainda nesse sentido, o contexto mínimo para fundamentar um construto é a comparação de três elementos; dois deles devem ser parecidos em determinado aspecto e simultaneamente serem diferentes do terceiro num mesmo modo. É possível exemplificar essa idéia da seguinte maneira: você pode julgar ouro e cobre materiais condutores elétricos, mas considerar borracha um material isolante elétrico. O construto em questão refere-se aos pólos *condutor* e *isolante*, de modo que ao dizermos que um material é condutor, estamos implicitamente afirmando que existe pelo menos um outro material condutor e no mínimo um terceiro isolante (HALL et al.,2000).

Os construtos são os elementos básicos dos sistemas de construção antecipatórios que orientam o comportamento pessoal frente às várias situações enfrentadas no cotidiano; a eficiência destes sistemas na previsão de eventos depende fundamentalmente da coerência dos diversos construtos edificados pelo indivíduo. Os construtos são testados continuamente à medida que vão sendo usados em tais previsões, sendo passíveis de mudanças conceituais ou de natureza organizacional. O caráter dinâmico dos construtos pessoais, e conseqüentemente dos sistemas antecipatórios individuais, é o que fundamenta a capacidade de aprendizagem continuada dos seres vivos. A respeito do mecanismo de ajuste dos construtos, Kelly (1963, p. 9, tradução livre) escreveu:

“Em geral, o indivíduo procura melhorar seus construtos incrementando seu repertório, alterando-os para conseguir melhores adequações, e agregando-os a construtos ou sistemas supra-ordenados.”

Em sua teoria, Kelly assume que a estrutura do sistema de construtos de qualquer indivíduo é singular, ou seja, cada pessoa constrói e organiza de maneira única seu sistema antecipatório. Neste sentido, o estudo dos construtos e da organização do sistema de construtos pessoais (a partir da matriz de repertório) compõe uma poderosa ferramenta de análise, uma vez que evidencia como este sistema foi erigido e/ou modificado.

Não obstante, esta ferramenta de análise adequa-se bem às aplicações educacionais, uma vez que pode ser utilizada pelo educador para investigar o sistema de construtos de seus alunos, dando-lhe condições de direcionar as atividades pedagógicas orientado por este diagnóstico (MINGUET, 1998). Nesta pesquisa serão analisados os sistemas de construtos dos alunos, bem como o nível de articulação destes sistemas, com relação às propriedades dos materiais.

2.3.2.3 Posição filosófica - Alternativismo construtivo

A Teoria dos Construtos Pessoais caracteriza-se por sua perspectiva otimista em relação aos possíveis rumos a serem tomados por um indivíduo ao longo de sua vida. Para Kelly, existem muitas maneiras diferentes de construir o mundo, algumas melhores que outras, em relação às eficiências antecipatórias. Contudo, ninguém alcançou ainda um grau de eficiência em termo de previsões tão acurado a ponto de prever e controlar com precisão categórica todos os fenômenos da natureza, de modo que é necessária a consciência de que trabalhamos com aproximações que podem ser constantemente melhoradas através da experiência. Segundo o próprio Kelly (1963, p.15, tradução livre):

“Essencialmente isto significa que todas nossas interpretações do universo podem ser gradualmente melhoradas cientificamente se nós formos persistentes e continuarmos aprendendo com nossos erros.”

Sob este ponto de vista, o indivíduo sempre terá alternativas múltiplas, de maneira a nunca ficar encurralado num canto sem saídas como uma presa preste a ser devorada. Sempre existirão possibilidades para as mais complicadas situações, cada uma com implicações diferentes, algumas melhores que outras, mas nenhuma absolutamente certa ou errada. Segundo a concepção “kellyana”, ninguém precisa tornar-se vítima do destino ou das circunstâncias, podendo construir caminhos alternativos em todas as situações. Nas palavras de Kelly (1963, p.15, tradução livre):

“Nós assumimos que sempre existem algumas construções alternativas disponíveis para nossa escolha ao lidarmos com o mundo. Ninguém precisa pintar a si mesmo em um canto; ninguém precisa ser encurralado completamente pelas circunstâncias; ninguém precisa ser a vítima de sua biografia. Nós chamamos esta posição filosófica de *alternativismo construtivo*.”

É muito provável que a adoção desta postura filosófica em situações de ensino-aprendizagem tenha algumas implicações na prática docente. Algumas das atitudes esperadas de um professor que se disponha a enxergar tal processo pela ótica de Kelly são considerar o aluno como sujeito ativo no processo de construção do seu conhecimento e valorizar suas características individuais neste processo. Torna-se fundamental despertar no aluno a consciência de que o caminho para a construção do conhecimento não é único e que ele tem liberdade para construir o seu próprio, valorizando sua identidade individual.

2.3.3 Teoria dos Construtos Pessoais

A Teoria dos Construtos Pessoais difere de outras teorias psicológicas célebres como a freudiana por focalizar a personalidade individual e seus processos cognitivos, considerando desnecessária a postulação de fatores motivacionais ou impulsionadores que dessem sentido aos atos do indivíduo. Para Kelly a pessoa já é naturalmente ativa e tem suas ações direcionadas pelas sucessivas tentativas de antecipar satisfatoriamente os acontecimentos dos quais participa diariamente. A proposta de Kelly era promover uma abordagem sistêmica de fatores comumente analisados de forma isolada, como fatores cognitivos, motivacionais e emocionais (CLONINGER, 1999).

No segundo capítulo de sua obra (1963, p. 46-104), Kelly desenvolveu sua Teoria dos Construtos Pessoais (TCP) baseado num postulado fundamental, que fornece o embasamento para onze corolários que abordam diversos pontos relacionados aos processos psicológicos individuais. Em cada um desses tópicos, Kelly comenta suas propostas e desenvolve suas idéias sobre a construção da personalidade do indivíduo. O postulado fundamental da TCP é transcrito a seguir (KELLY, 1963, p. 46, tradução livre):

“Os processos de uma pessoa são psicologicamente canalizados pelas maneiras a partir das quais ela antecipa eventos.”

Como em todo postulado, essa afirmação não tem a pretensão de ser incontestável ou a verdade definitiva; ela embasa uma teoria científica que busca interpretar e prever eventos

psicológicos. Como toda teoria científica, a TCP se sujeita a testar sua eficiência neste sentido, de modo que a consistência do seu postulado fundamental está relacionada diretamente à sua eficácia (KELLY, 1963). O domínio (psicológico) dos processos tratados por esta teoria também é explicitado neste postulado, domínio que abrange e contempla o objeto de estudo deste trabalho, o processo de ensino-aprendizagem de conceitos científicos, em particular algumas propriedades da matéria.

Os onze corolários propostos por Kelly (1963, p.103-104, tradução livre) são apresentados a seguir:

- “ 1.*Corolário da Construção*: Uma pessoa antecipa eventos construindo réplicas destes;
- 2.*Corolário da Individualidade*: As pessoas diferem umas das outras por suas construções de eventos;
- 3.*Corolário da Organização*: Cada pessoa desenvolve caracteristicamente, e de forma conveniente à sua antecipação de eventos, um sistema de construção envolvendo relações ordinais entre os construtos;
- 4.*Corolário da Dicotomia*: O sistema de construção de uma pessoa é composto de um número finito de construtos dicotômicos;
- 5.*Corolário da Escolha*: Uma pessoa escolhe a alternativa, em um construto dicotomizado, através da qual ela antecipa a maior possibilidade de extensão e definição de seu sistema;
- 6.*Corolário da Faixa (ou do Intervalo)*: Um construto é conveniente para a antecipação de um intervalo finito de eventos apenas;
- 7.*Corolário da Experiência*: O sistema de construção de uma pessoa varia conforme ela constrói sucessivamente as réplicas dos eventos;
- 8.*Corolário da Modulação*: A variação do sistema de construção de uma pessoa é limitada pela permeabilidade dos construtos em cujos intervalos de conveniência localizam-se as variantes;
- 9.*Corolário da Fragmentação*: Uma pessoa pode empregar sucessivamente vários subsistemas de construção que são inferencialmente incompatíveis entre si;
- 10.*Corolário da Comunalidade*: À medida que uma pessoa emprega uma construção de experiência semelhante àquela empregada por outra pessoa, seus processos psicológicos são semelhantes aos processos da outra pessoa;
- 11.*Corolário da Sociabilidade*: À medida que uma pessoa interpreta os processos de construção de outra, ela pode desempenhar um papel num processo social envolvendo a outra pessoa.”

Não serão discutidos especificamente neste trabalho todos os corolários da TCP, apenas três deles, que serão mais relevantes na análise do ensino e aprendizagem das propriedades dos materiais: os corolários da dicotomia, da faixa e da modulação.

2.3.3.1 Corolário da dicotomia

“O sistema de construção de uma pessoa é composto de um número finito de construtos dicotômicos.”

Através deste corolário, Kelly propõe que os sistemas individuais de construção são compostos em sua totalidade por construtos de natureza dicotômica ou bipolar. Segundo Kelly (1963, p105, tradução livre):

“Um construto é uma maneira através da qual algumas coisas são interpretadas como sendo semelhantes e ainda assim diferentes de outras.”

O pensamento dicotômico foi bastante útil ao desenvolvimento científico nos últimos séculos, sendo utilizado com sucesso em muitos casos com o objetivo de caracterizar sistemas variados. Kelly (1963) cita como exemplo a classificação de cargas elétricas em positivas e negativas e dos genes em recessivos e dominantes, com o intuito de melhor compreender o comportamento da natureza. É importante ressaltar que a estrutura dicotômica não está no cerne dos sistemas estudados, sendo apenas uma ferramenta utilizada pelo homem para melhor estudar e compreender estes sistemas.

Outra consideração pertinente é frisar que a suposição de que as atitudes e processos de um indivíduo baseiam-se em construtos caracteristicamente dicotômicos não exclui a possibilidade do mesmo trabalhar com escalas tão graduadas quanto necessárias entre os dois pólos relativos ao construto. Kelly (1963) lista alguns tipos de escalas, como as hierárquicas, aditivas, abstraídas, de acumulação, entre outras.

Podemos citar como exemplo uma escala acumulativa aplicada num teste sobre condutividade elétrica, onde alguns materiais seriam testados em vinte situações distintas; determinado material que apresentasse comportamento tipicamente condutor em dezenove situações teria uma graduação diferente de outro material que se comportasse como condutor em apenas duas situações. Desta forma, embora os construtos sejam baseados em aspectos dicotômicos, os sistemas antecipatórios de construção individuais apresentam uma estrutura complexa

formada por uma rede de interconexões entre variados subsistemas em diferentes níveis de organização.

2.3.3.2 Corolário da faixa (ou do intervalo)

“Um construto é conveniente para a antecipação de um intervalo finito de eventos apenas.”

De maneira similar às teorias científicas e sistemas de representação em geral, os construtos não têm aplicabilidade irrestrita, apresentam um intervalo de conveniência e um foco de conveniência. O intervalo de conveniência de um construto refere-se ao conjunto ou classe de objetos sobre os quais é pertinente a classificação segundo aquele construto, enquanto que o foco faz menção ao grupo dentro do intervalo de conveniência para o qual o construto é mais relevante (HALL et al.,2000).

Por exemplo, o construto *condutividade elétrica*, que foi citado anteriormente e que compreende os pólos “condutor” e “isolante”, tem um intervalo de conveniência muito amplo uma vez que trata de uma propriedade de materiais. Não obstante, alguns objetos de estudo situam-se fora deste intervalo; não faz sentido falarmos em imagens condutoras e imagens isolantes, ou ainda em pensamentos condutores e pensamentos isolantes. Estes objetos estão, a princípio, fora do intervalo de conveniência deste construto.

Dentro de um certo intervalo de conveniência, há aqueles objetos para os quais o construto é mais relevante, que formam o foco de conveniência do construto. Para o construto acima citado estes seriam os elementos cujos comportamentos elétricos sejam relevantes para o papel desempenhado por estes, como materiais destinados à confecção de dispositivos elétricos, células nervosas, materiais utilizados em equipamentos de segurança, entre tantos outros.

2.3.3.3 Corolário da modulação

“A variação do sistema de construção de uma pessoa é limitada pela permeabilidade dos construtos em cujos intervalos de conveniência localizam-se as variantes.”

O processo de aprendizagem de um indivíduo compreende mudanças estruturais em seu sistema de construção, mudanças que envolvem sub-sistemas em vários níveis de organização

e subordinação. Essa reestruturação delinea um problema de recursividade (um dos operadores cognitivos do pensamento complexo), no qual não é possível estabelecer uma relação de causa e efeito, de produtor e produzido, ou de determinante e seguidor (MORIN, 2003). A interpretação dos eventos vivenciados pela pessoa leva à reestruturação dos subsistemas, contudo esta interpretação é realizada segundo a estrutura destes mesmos subsistemas. O indivíduo exerce, desta forma, simultaneamente os papéis de condutor e limitador de suas ações, inclusive em situações de aprendizagem. Utilizando as palavras de Kelly (1963, p. 78, tradução livre):

“Em seu papel de identificá-lo (o sistema de construtos) com seu sistema supraordenador, a pessoa é livre para subordinar mudanças que ela intencione realizar. Em seu papel como seguidora de seus próprios princípios fundamentais, ela tem sua vida governada por eles.”

Desta forma, qualquer nova perspectiva acerca de um evento vivenciado numa situação de aprendizagem é construída seguindo os padrões estruturais do sistema de construções do indivíduo. Em outras palavras, a aprendizagem não é determinada apenas pelo estímulo recebido pelo indivíduo, sendo limitada basicamente pela estrutura dos construtos do indivíduo que está interpretando o estímulo (KELLY, 1963).

Para tratar dos aspectos dinâmicos dos construtos pessoais Kelly lança mão do construto permeabilidade vs. impermeabilidade, visando caracterizá-los quanto aos seus comportamentos frente a novas experiências. Um construto permeável seria aquele capaz de resistir ao confronto com situações novas e inesperadas, não no sentido de ser “rigidamente intransigente frente a repetidas falhas sistemáticas na antecipação de eventos” (KELLY, 1963, p. 80, tradução livre), mas no sentido de conseguir incorporar novos elementos à sua rede de construtos subordinados, evitando assim impactos maiores à sua estrutura. Um construto permeável tende a ser duradouro, já que é aberto a mudanças em sua estrutura subordinada que venham adequá-la aos novos eventos vivenciados.

Em contra-partida, um construto impermeável torna-se susceptível a grandes estragos em sua estrutura subordinada. Devido à sua inflexibilidade frente a situações que gerem conflitos de antecipação, os abalos sofridos podem comprometer sua estabilidade enquanto elemento do sistema de construção do indivíduo.

Neste corolário, Kelly frisa a importância da permeabilidade dos construtos supra-ordenados para uma possível reestruturação dos seus respectivos sistemas subordinados em situações de aprendizagem. Ao utilizar o termo ‘variantes’, Kelly refere-se aos construtos que sofrem as modificações necessárias para a adequação ao novo panorama vivenciado, devendo ser subordinados a um construto ou sistema de construtos permeável o suficiente para suportar as mudanças necessárias ao processo de aprendizagem.

Nesta pesquisa, será investigada a permeabilidade de alguns construtos supra-ordenadores dos sistemas de construção dos alunos, tendo em vista que o processo de aprendizagem encontra neste fator um grande limitador. Uma abordagem didática que atuasse no sentido de incrementar a permeabilidade de um construto supra-ordenador relevante no processo de ensino-aprendizagem trabalhado estaria contribuindo de maneira decisiva para um melhor resultado do mesmo.

2.3.3.4 O corolário da experiência

“O sistema de construção de uma pessoa varia conforme ela constrói sucessivamente as réplicas dos eventos”

Através deste corolário Kelly (1963) propõe que as mudanças no sistema de construção de um indivíduo são operadas a partir de situações que envolvam experiência. Kelly descreve a experiência como 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 possam ser promovidas, então, mudanças conceituais, 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 - ao observar a repetição de alguns aspectos em eventos similares, o indivíduo pode os abstrair e utilizá-los para prever acontecimentos.

Os aspectos comuns abstraídos em eventos similares são denominados, na Teoria de Kelly, *temas recorrentes*. Estes também estão implicitamente enfatizados no corolário da experiência. De acordo com Kelly (1963, p. 74, 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 predizer e tornar seu mundo mais gerenciável. O homem gradualmente descobriu que ele poderia vislumbrar o futuro através da experiência do passado”.

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

Para compreender essa procura pelos temas recorrentes, à luz da Teoria dos Construtos Pessoais, é importante destacar que o processo de alteração do sistema de construtos de um indivíduo é auto-regulado (corolário da modulação), caracterizando essa busca como um processo continuamente realimentado. Assim, torna-se necessária uma metodologia de observação que abarque a experiência como um processo, e não como um evento instantâneo.

Visando contemplar o caráter não-pontual deste processo de reconstrução do sistema de construtos, Kelly define como unidade básica de experiência um ciclo que compreende cinco fases (LANDFIELD & LEITNER, 1980). Um Ciclo da Experiência completo é composto pelas fases de *antecipação, investimento, encontro, confirmação ou desconfirmação e revisão construtiva*.

É apresentada a seguir, na figura 01, uma representação gráfica do Ciclo da Experiência de Kelly, envolvendo suas cinco fases. A primeira fase, *antecipação*, compreende a previsão dos eventos a serem vivenciados pelo indivíduo, de forma que ele realmente procure enxergar o que está por acontecer. Nessa fase, o indivíduo constrói as primeiras réplicas dos processos que foram apresentados, buscando um prognóstico inicial dos eventos subseqüentes, de acordo com seu sistema de construção (KELLY, 1970).

Após o primeiro contato com o objeto do conhecimento, o indivíduo passa à segunda fase do ciclo, o *investimento*. Nessa etapa o indivíduo deve procurar mergulhar na situação de modo a envolver-se a fundo com os eventos a serem vivenciados. Dessa forma, seus esforços serão canalizados de maneira mais eficiente para o processo de aprendizagem que se desenrola.

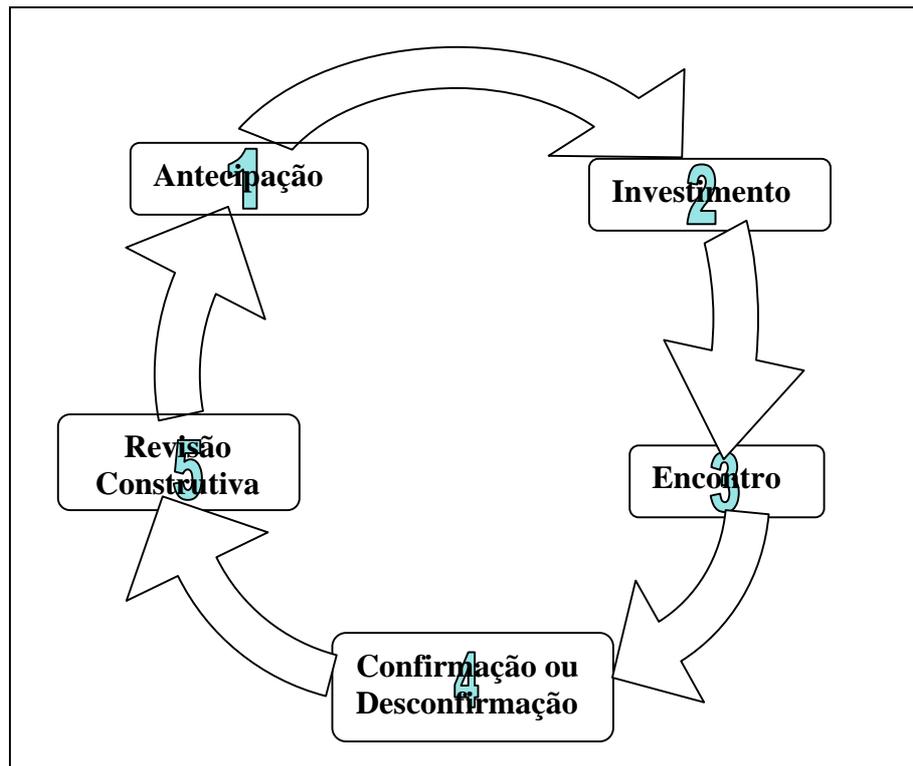


Figura 01: Fases que compõem o Ciclo da Experiência de Kelly

O *encontro* compreende a interação estabelecida entre “o indivíduo” e “os eventos vivenciados”, constituindo a terceira etapa do Ciclo da Experiência de Kelly. Os produtos desta interação têm a profunda capacidade de transformar o indivíduo e sua forma de construir estes eventos (KELLY, 1977).

A partir do que foi experimentado na fase do encontro, o indivíduo deve ser capaz de confirmar ou refutar seus prognósticos sobre os eventos vivenciados. Nesta quarta fase, que é chamada de *confirmação ou desconfirmação*, podem ser criadas novas construções sobre os eventos em questão ou podem ser reforçadas as construções antigas.

Ao atingir a quinta fase, chamada de *revisão construtiva*, o indivíduo conclui o Ciclo da Experiência, contemplando a unidade básica de aprendizagem definida por Kelly. Nesta fase o indivíduo reconhece as mudanças operadas em seu sistema de construção e toma consciência do crescimento cognitivo que foi promovido por este momento de experiência e aprendizagem.

Entretanto, segundo Bastos (1998), para ocorrer a 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.

Assim, as situações de aprendizagem devem ser delineadas de modo a proporcionar aos alunos as condições necessárias a essa análise crítica e processual dos eventos vivenciados. Como parte da metodologia deste trabalho em particular, foi planejada uma intervenção didática que contemplasse esses aspectos em suas atividades. Como detalhado no próximo capítulo, as atividades da intervenção foram concebidas a partir da idéia dos temas recorrentes, procurando inserir os alunos em Ciclos de Experiência. Acredita-se que uma intervenção orientada neste sentido viabilize uma maior eficiência na aprendizagem dos conceitos trabalhados.

2.3.4 O Teste da Matriz de Repertório ou “Rep-teste”

Kelly desenvolveu essa técnica para investigar os sistemas antecipatórios de seus pacientes, explorando seus construtos e suas relações com diversos elementos. Embora tenha sido desenvolvida tendo em vista aplicações clínicas, estudos mostram que esse teste pode ser utilizado para diagnosticar alterações nos sistemas antecipatórios decorrentes de experiências educacionais (MINGUET, 1998).

Neste trabalho, o Rep-teste será utilizado com o objetivo de investigar os sistemas antecipatórios dos alunos. Serão explorados os construtos utilizados para fazer referência a diferentes materiais, a partir de suas propriedades macroscópicas e de seus aspectos estruturais, além do nível de articulação estabelecida entre esses construtos.

A versão do teste da matriz de repertório que será utilizada na pesquisa permite o uso de ferramentas estatísticas e foi proposta por Bannister e Mair (1968 *apud* MINGUET, 1998). No teste a ser aplicado serão apresentados ao aluno oito tipos diferentes de materiais: ferro, alumínio, silício, madeira, vidro, acrílico, plástico e cerâmica. O pesquisador escolhe então 03 (três) desses materiais e pede ao aluno que cite uma propriedade ou característica que seja comum a dois desses materiais e que os diferencie do terceiro. São estabelecidos, dessa forma, dois pólos dicotômicos (pólos **A** e **B**) relacionados a um construto.

O pesquisador pede então que o aluno situe todos os materiais numa escala de aproximação em relação aos pólos definidos anteriormente; essa escala é numerada de 1 (um) a 5 (cinco), sendo a pontuação 1 referente ao pólo que representou a semelhança entre dois dos materiais escolhidos pelo pesquisador (pólo **A**) e a pontuação 5 ao pólo que representou a distinção do terceiro material em relação aos outros dois (pólo **B**). O procedimento é repetido diversas vezes para várias tríades de materiais até que se tenha um número razoável de construtos.

A seguir está apresentada a Tabela 03, uma matriz de repertório montada a título de exemplo pelo pesquisador, com materiais diferentes daqueles que serão usados nos testes. Nesta matriz, os materiais escolhidos em cada rodada estão representados por um círculo. Durante a aplicação do Rep-teste, o aluno não terá acesso à matriz, ele apenas manipulará os blocos dos materiais envolvidos no teste; o preenchimento da matriz é feito pelo pesquisador.

Tabela 03 - Matriz de repertório aplicada ao estudo das propriedades dos materiais.

Pólo A (01)	Alumínio	Tijolo	Ferro	Vidro	Louça	Madeira	P.E.T.	Acrílico	Pólo B (05)
isolante elétrico	(5)	(1)	5	1	3	(1)	1	1	condutor elétrico
transparente	5	5	(5)	(1)	5	5	2	(1)	opaco
liso	2	5	(1)	(1)	2	(4)	3	3	áspero
frágil	5	(1)	5	2	1	(5)	4	(2)	dúctil
rígido	1	1	1	(2)	1	3	(5)	(2)	flexível
baixo ponto de fusão	3	(5)	3	2	4	5	(1)	(2)	alto ponto de fusão
pesado	4	(4)	1	(2)	(2)	2	5	(3)	leve
amorfo	(5)	2	5	(1)	3	1	(1)	2	cristalino
isolante térmico	(5)	1	5	(3)	(3)	1	4	3	condutor térmico
condutor sonoro	1	(5)	1	(2)	3	(2)	5	4	isolante sonoro
brilhoso	(2)	5	1	(1)	3	(5)	4	(1)	sem brilho
diamagnético	(1)	3	(5)	1	1	2	(1)	1	magnético
ligações não metálicas	5	(3)	(5)	2	2	1	1	(2)	ligações metálicas
não dilata	(5)	2	5	(4)	3	(1)	1	2	dilata
não poroso	1	5	1	1	1	(2)	(1)	(1)	poroso
não oxida	(4)	(2)	(5)	1	1	3	4	4	oxida

A grade montada a partir desse teste permite a aplicação de grande variedade de testes de correlação entre os elementos envolvidos (propriedades, características, pólos). A partir de análises estatísticas serão exploradas e analisadas tais relações, com o intuito de inferir acerca do sistema antecipatório dos alunos, monitorando quaisquer alterações que possam vir a ser causadas pela intervenção didática. A metodologia para a análise quantitativa da matriz de repertório será detalhada no próximo capítulo.

3. METODOLOGIA

O intuito deste capítulo é apresentar como o trabalho de pesquisa foi estruturado de modo que os objetivos definidos inicialmente pudessem ser alcançados. Para tanto se pretende apresentar detalhadamente todas as etapas realizadas, tanto pelo pesquisador como pelos alunos que participaram da intervenção.

O universo de pesquisa foi composto pelos alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) que estavam no sétimo período, cursando a disciplina *Metodologia do Ensino de Física* durante o primeiro semestre de 2005. A turma participou integralmente de todas as etapas da intervenção desenvolvidas em sala, contudo, 05 (cinco) alunos foram escolhidos para participar também de encontros individuais nos quais aplicou-se uma ferramenta para coleta de dados conforme será apresentado em mais detalhes a seguir. Este número reduzido deve-se ao tempo necessário para coletar, analisar e discutir os dados provenientes de tais encontros.

A escolha do universo de pesquisa justifica-se pelo fato de que muitos desses indivíduos estarão atuando como professores do ensino médio em um curto período, podendo atuar como elementos difusores da proposta deste trabalho, orientada pelos PCN. Caso este trabalho fosse desenvolvido com uma turma de ensino médio, seu efeito estaria restrito àquela turma.

Além disso, os alunos escolhidos são egressos do ensino médio a poucos anos, tendo tido uma educação básica fundamentada numa visão predominantemente linear e reducionista dos fenômenos naturais e pelo fato de já terem contato com o assunto a ser abordado, anteriormente. Dessa forma espera-se que eles tenham algum conhecimento acerca das propriedades da matéria embora se acredite que suas concepções prévias tenham sido construídas numa ótica bastante restrita.

Também contribuiu para a escolha da amostra a disposição para cooperação por parte dos responsáveis diretamente envolvidos no processo (professora da disciplina, Coordenador do Curso de Física e alunos) fato que criou condições favoráveis ao desenvolvimento desta pesquisa.

Essa foi desenvolvida numa perspectiva predominantemente qualitativa, embora ferramentas de análise estatística tenham sido usadas em determinados momentos na análise dos dados. Esta característica da pesquisa deve-se ao número reduzido de alunos que participaram de todas as etapas da intervenção, incluindo os encontros individuais realizados extraclasse. Uma vez que esta pesquisa lida com aspectos relacionados à aprendizagem das propriedades dos materiais e tem como um dos objetivos específicos investigar o nível de percepção dos alunos sobre a relação entre propriedades macroscópicas, materiais e suas estruturas, faz-se necessária uma abordagem que contemple seu caráter complexo. Esta situação encaixa-se em uma das citadas por Oliveira (2003, p.58):

“Situações em que se manifesta a importância de uma abordagem qualitativa para efeito de compreender aspectos psicológicos, cujos dados não podem ser coletados de modo completo por outros métodos, devido à complexidade que envolve a pesquisa”.

Visando uma melhor análise dos vários aspectos envolvidos na situação estudada, foram utilizados diferentes instrumentos de coleta de dados. Sendo o principal a aplicação da técnica da matriz de repertório (descrita anteriormente), que foi aplicada com 05 (cinco) alunos da turma, em horários extraclasse. Essa técnica permite uma análise qualitativa e quantitativa dos dados coletados, fomentando discussões profundas sobre os sistemas de construção dos alunos entrevistados e suas possíveis alterações. O procedimento detalhado da análise das matrizes de repertório será apresentado em seção posterior.

Um outro instrumento utilizado para complementar o processo de coleta de dados foi um questionário diagnóstico, aplicado à turma no primeiro dia da intervenção, com o intuito de mapear as concepções prévias dos alunos da turma a respeito do tema escolhido. A partir da análise dessa diagnose foram planejados os momentos seguintes da intervenção didática.

Conforme já comentado, nas próximas seções serão apresentadas, em detalhes, as várias etapas da intervenção, os experimentos, a seqüência de aulas e os procedimentos de coleta e análise de dados, incluindo o questionário diagnóstico, a técnica da matriz de repertório e as gravações dos grupos de discussão.

3.1 INTERVENÇÃO DIDÁTICA

A intervenção didática foi estruturada em 2 (duas) etapas distintas: a primeira etapa (A) consistiu numa diagnose dos conhecimentos prévios dos alunos com relação às propriedades macroscópicas de modo a fornecer os subsídios necessários para o planejamento da etapa subsequente (B) que por sua vez consistiu na utilização do Ciclo da Experiência de Kelly.

Esse, conforme já discutido anteriormente, é constituído por cinco fases: antecipação, investimento, encontro, confirmação e revisão construtiva. A seguir serão detalhadas as atividades desenvolvidas nas etapas A e B da intervenção. Um fluxograma da intervenção didática é apresentado em seguida, representando graficamente a seqüência dessas atividades.

3.1.1 Etapa A (Diagnose)

Esta etapa inicial durou aproximadamente 30 minutos e teve como objetivo apresentar o tema do trabalho a ser desenvolvido com a turma, “*O Estudo das Propriedades da Matéria a partir de seus Aspectos Estruturais*”, bem como obter um primeiro panorama acerca dos conhecimentos prévios dos alunos em relação a este assunto. Para tanto, foi aplicado à turma um questionário composto por 3 perguntas, apresentadas a seguir, na Tabela 4, às quais os alunos puderam responder de forma dissertativa.

Tabela 4 - 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?

Ainda nesta etapa inicial foram escolhidos, seguindo os critérios de interesse e disponibilidade de horário, 5 (cinco) alunos da turma, para participar da primeira fase da etapa B (antecipação), que consistiu em entrevistas individuais nas quais foi aplicada a

técnica da matriz de repertório. A escolha destes alunos contou com a colaboração da professora responsável pela turma.

As respostas dos alunos foram analisadas logo após este momento, com o objetivo de ultimar o planejamento de como seria a seqüência de abordagem das propriedades na etapa B da intervenção. Cada uma das propriedades seria abordada ao longo das fases de investimento, encontro e confirmação do Ciclo da Experiência, contudo faltava definir qual seria a ordem das propriedades a ser adotada para a turma em questão.

Com o intuito de analisar o grau de articulação que os alunos conseguiam estabelecer entre as propriedades elétricas, térmicas e óticas e os aspectos estruturais relevantes em seu estudo, as respostas referentes a cada questão foram classificadas em 3 (três) categorias, apresentadas a seguir, na Tabela 5.

Tabela 5 – Categorização das Respostas ao Questionário Diagnóstico

A	Citaram os materiais corretamente e relacionaram a propriedade em questão com aspectos estruturais pertinentes.
B	Apenas citaram os materiais, sem estabelecer nenhuma relação entre a propriedade em questão e algum aspecto estrutural.
C	Responderam de forma evasiva ou inadequada.

O resultado desta análise está representado graficamente na figura 2, apresentada adiante. Nessa figura encontram-se 03 (três) gráficos, cada um referente a uma questão do questionário. Foi possível diferenciar a performance dos alunos na primeira questão (que abordava uma propriedade elétrica) em relação às outras duas questões (relacionadas às propriedades térmicas e óticas), como será discutido a seguir.

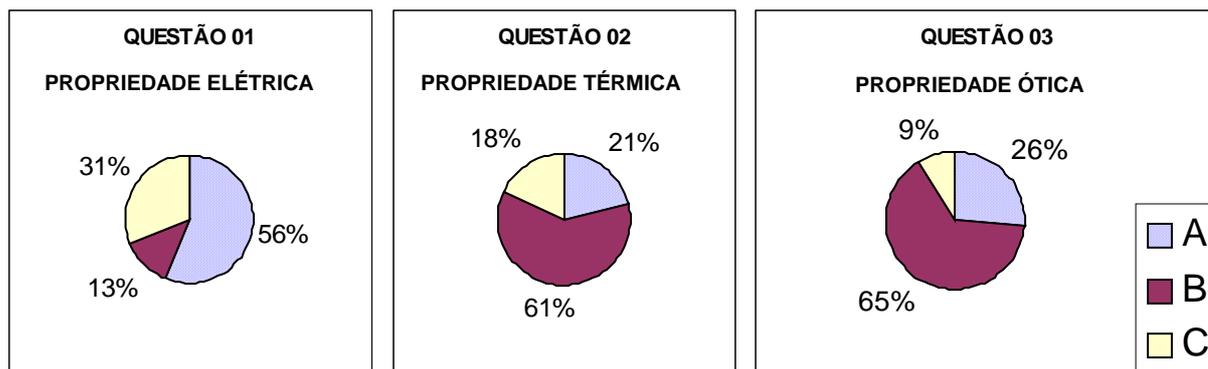


Figura 02: Resultado da análise do questionário diagnóstico

Como pode ser observado na figura 2, 56% dos alunos conseguiram estabelecer uma relação pertinente entre a condutividade elétrica e os aspectos estruturais relevantes, enquanto apenas 21% conseguiram fazer o mesmo em relação à condutividade térmica e 26% o conseguiram em relação à transparência. Esse resultado indica que os alunos provavelmente tinham um maior grau de entendimento em relação à primeira das propriedades citadas.

O percentual de alunos que apenas citaram os materiais, sem estabelecer nenhuma relação entre os aspectos estruturais relevantes e a propriedades em questão, foi de 13% na primeira questão, subindo para 61% na segunda e para 65% na terceira questão. Este fato vem reforçar a indicação de que os alunos têm maior dificuldade em lidar com as propriedades térmicas e óticas

Ainda analisando a figura 2, foi possível perceber que 31% dos alunos responderam de forma evasiva ou inadequada à primeira questão. Este percentual caiu para 18% na segunda questão e caiu para 9% na terceira questão. O alto percentual na primeira questão foi devido a um grande número de alunos ter citado de forma equivocada alguns materiais eletrolíticos (cloreto de sódio, a maioria) como materiais bons condutores elétricos.

Em linhas gerais, os resultados deste questionário mostram que os alunos conseguem relacionar a condutividade elétrica aos aspectos estruturais de forma mais eficiente que as propriedades condutividade térmica e transparência. Estes resultados provavelmente 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 óticas com os seus respectivos aspectos estruturais.

A partir deste panorama definido na etapa A foi decidido que as propriedades seriam abordadas na seguinte seqüência: primeiro as propriedades elétricas, depois as propriedades térmicas e por fim as propriedades óticas. A escolha de começar pelas propriedades elétricas justifica-se pelo fato de que o esperado era uma melhora gradativa no desempenho dos alunos ao longo dos encontros, em relação às atividades propostas nas aulas. Caso as propriedades elétricas fossem abordadas ao final da intervenção, poderia haver uma falsa melhora, o que prejudicaria o resultado deste trabalho de pesquisa.

Desta forma, era esperado que os alunos conseguissem melhorar seu desempenho ao longo destas três abordagens, conseguindo estabelecer mais e melhores relações entre as propriedades abordadas e os aspectos estruturais relevantes em seu estudo. Durante a análise dos resultados, contudo, foram levados em conta dois pontos importantes.

O primeiro deles, que já foi comentado anteriormente, diz respeito à opção de trabalhar inicialmente as propriedades elétricas; o fato de trabalhar logo na primeira abordagem com a propriedade sobre a qual os alunos têm maior domínio pode comprometer ou limitar a melhora dos alunos nas demais abordagens.

O segundo ponto, não menos importante, diz respeito à abordagem das propriedades térmicas; dentre as três abordagens, essa é a única que foi planejada para tratar duas propriedades distintas. Apesar da consciência de que esta distinção poderia dificultar o rendimento dos alunos optou-se por mantê-la, uma vez que um dos objetivos deste trabalho é discutir o caráter complexo do tema estudado, destacando as relações existentes entre as propriedades e os aspectos estruturais dos materiais em estudo, bem como as relações entre as diversas propriedades.

A consciência de que estes dois pontos estabelecem dificuldades para a concretização das mudanças pretendidas nos sistemas de construção dos alunos participantes foi fundamental para uma análise mais coerente dos dados obtidos ao longo da intervenção.

3.1.2 Etapa B (Ciclo da Experiência)

3.1.2.1 Fase 01

A fase 01 corresponde à fase *antecipação* do Ciclo da Experiência e tem como principal objetivo fazer com que o aluno tenha um primeiro contato com o objeto de estudo. Nesta ocasião, o aluno toma conhecimento do evento a ser vivenciado e constrói alguma réplica deste evento a partir da estrutura do seu sistema de construção.

As atividades realizadas nessa fase ocorreram em forma de cinco entrevistas individuais, realizadas em horário extraclasse, com os cinco alunos escolhidos na etapa A. Cada entrevista teve a duração aproximada de 60 minutos, tempo necessário para a aplicação da técnica da matriz de repertório. As matrizes construídas nestas entrevistas foram analisadas estatisticamente de acordo com a metodologia descrita ao final deste capítulo, sendo estes resultados apresentados e comentados posteriormente.

3.1.2.2 Fases 02, 03 e 04

As fases 02, 03 e 04 correspondem respectivamente às fases de *investimento*, *encontro* e *confirmação* do Ciclo da Experiência. Conforme comentado na fundamentação teórica, cada fase representa um momento da situação de experiência a ser administrada pelo aluno.

Visando contemplar as propriedades elétricas, térmicas e óticas, foram planejadas três abordagens, cada uma dessas abordagens envolvendo as três fases. Em um intervalo de 15 (quinze) dias, cada abordagem foi administrada durante o horário de uma aula. Tiveram duração média de 80 minutos e contaram com a participação de toda a turma. Conforme comentado anteriormente, foram abordadas primeiramente as propriedades elétricas dos materiais, seguidas pelas propriedades térmicas e pelas óticas. Apesar de tratarem três propriedades físicas diferentes, todas as abordagens foram estruturadas no mesmo formato. A idéia foi contemplar as fases do *investimento*, *encontro* e *confirmação* no estudo de cada classe de propriedades.

Assim, a abordagem de cada uma delas foi iniciada com a preparação e a realização de um experimento demonstrativo seguida por uma análise dos seus resultados pelos alunos, em

grupos de cinco ou seis integrantes. A preparação e a realização do experimento pelos alunos consistiu na fase de *investimento*, na qual se busca o engajamento dos mesmos no processo a ser vivenciado.

A análise dos resultados pelos grupos consistiu na fase de *encontro*. Nessa fase os alunos procuraram responder aos questionamentos feitos pelo pesquisador sobre quais seriam os aspectos estruturais, dos materiais testados no experimento, mais relevantes na determinação do comportamento ou propriedades em questão. Os grupos tiveram cerca de 20 minutos em cada uma das abordagens para discussão e logo após chegarem a um consenso, suas conclusões foram gravadas.

Para contemplar a fase de *confirmação* do Ciclo da Experiência, após os consensos dos grupos, o pesquisador conduziu uma discussão envolvendo toda a turma, na qual os alunos tiveram oportunidade de sociabilizar suas conclusões. Em todas as três abordagens, uma exposição em PowerPoint orientou a discussão, ao longo da qual o pesquisador destacou os aspectos relevantes citados de forma coerente pelos grupos e esclareceu todos os pontos colocados de forma equivocada ou incompleta pelos alunos. Também foram levantados aspectos não considerados pelos alunos, mas de relevância para o tema.

A intervenção didática aqui apresentada foi planejada a partir de uma variação do Ciclo da Experiência originalmente proposto por Kelly, no qual cada fase é vivenciada uma única vez até ser completado o ciclo. Como pode ser observada na figura 3, a alteração proposta em relação ao ciclo original foi a inserção de um sub-ciclo envolvendo as fases *investimento* (*fase 02*), *encontro* (*fase 03*) e *confirmação* (*fase 04*).

Deste modo, após vivenciar a fase 01 do ciclo (aplicação do rep-teste), o aluno entra no sub-ciclo fase 02 – fase 03 – fase 04, o qual é vivenciado três vezes (a cada sub-ciclo é trabalhada uma classe de propriedades diferente). Somente depois de trabalhadas as três classes de propriedades (elétricas, térmicas e óticas) o aluno passa à fase 05 (que será descrita a seguir).

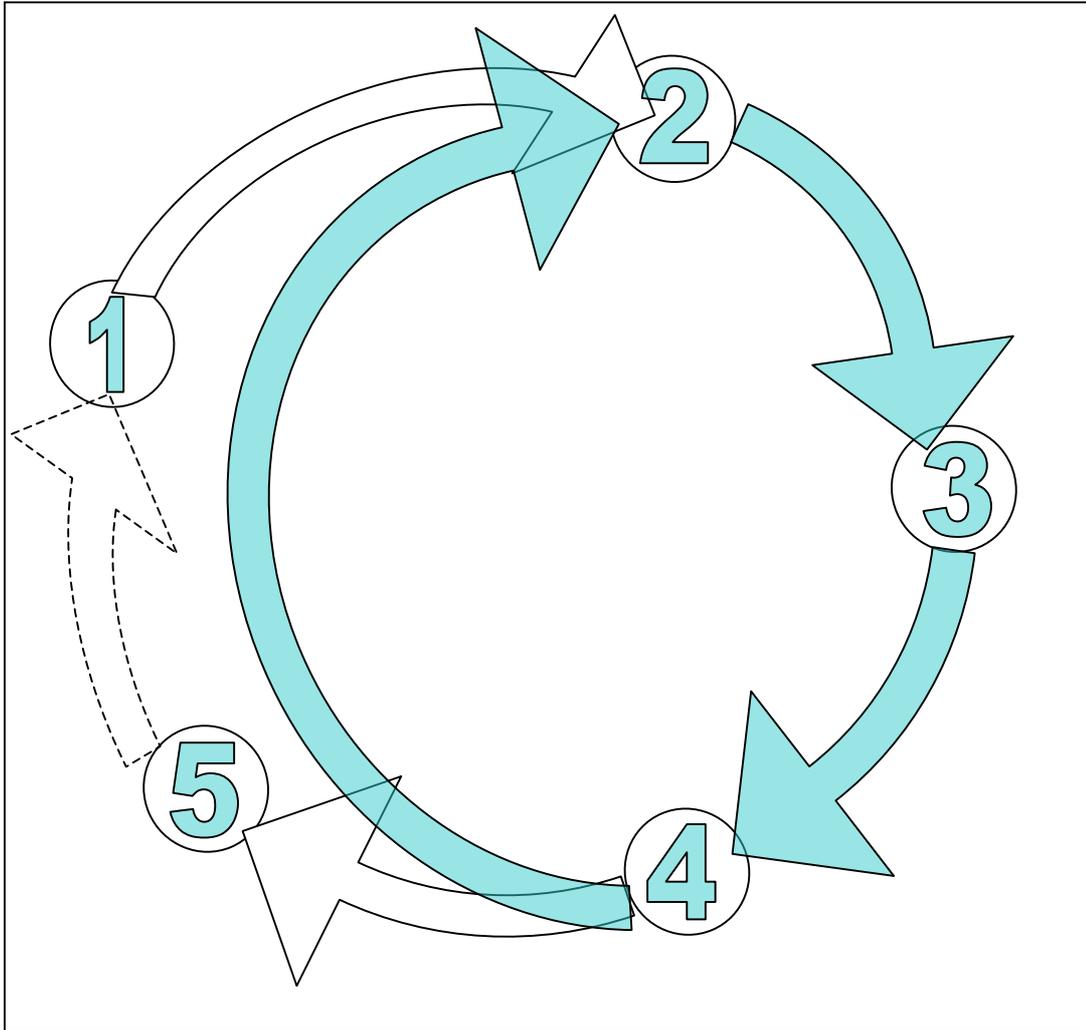


Figura 03: Fluxograma do Ciclo da Experiência de Kelly adaptado para este trabalho de pesquisa. Ao longo da intervenção didática as fases 2, 3 e 4 foram vivenciadas três vezes cada uma para só então completar o ciclo.

A estruturação das três abordagens a partir dos mesmos procedimentos aplicados a diferentes propriedades teve como objetivo facilitar a percepção dos alunos sobre os aspectos comuns entre elas 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 na medida em que tentam extrair destas situações aspectos em comum, chamados de temas recorrentes, que os auxiliem na construção de réplicas dos eventos vivenciados (KELLY, 1963). Neste caso, o aspecto comum três abordagens refere-se às características estruturais dos materiais (tipo de ligação, estrutura eletrônica e arranjos atômicos) que estão fortemente relacionadas com as diferentes propriedades tratadas.

3.1.2.3 Fase 05

A fase 05 consistiu na fase da *revisão construtiva*, na qual o indivíduo toma conhecimento das mudanças cognitivas operadas por ocasião da conclusão de um Ciclo da Experiência. Nesta fase, novamente ao longo de cinco entrevistas individuais, a técnica da matriz de repertório foi aplicada com os cinco alunos escolhidos anteriormente.

O objetivo foi investigar mais uma vez o sistema de construção dos alunos, verificando possíveis alterações nestes sistemas, ocorridos após a intervenção didática. Através da análise das novas matrizes de repertório construídas pelos alunos, procurou-se averiguar se houve ampliação de alguns construtos dos seus sistemas de construção, a inclusão de novos construtos ou ainda uma maior articulação entre os diversos construtos relacionados às propriedades dos materiais.

Uma vez apresentadas todas as atividades planejadas com o objetivo de contemplar o Ciclo da Experiência de Kelly, faz-se necessário entender a intervenção didática em sua totalidade. Visando facilitar o entendimento das fases do Ciclo da Experiência, bem como sua subsequente repetição para a abordagem das propriedades elétricas, térmicas e ópticas, tem-se na figura 4 um resumo esquemático das atividades realizadas ao longo de toda a intervenção.

Nessa figura as fases do Ciclo da Experiência estão indicadas por números (1, 2, 3, 4 e 5), posicionados na atividade correspondente. É possível observar que a etapa **A**, planejada como etapa diagnóstica, não está inserida no ciclo principal.

A etapa **B**, por sua vez, encerra todas as fases do ciclo, iniciando pela fase 01, que corresponde à aplicação dos rep-testes. Passando às três abordagens sequenciais (cada uma para determinada classe de propriedades), é possível perceber que cada uma encerra as fases 02, 03 e 04, compondo o sub-ciclo comentado anteriormente. Por fim, a fase 05, relativa à aplicação dos rep-testes após a intervenção, fecha a estrutura do Ciclo da Experiência.

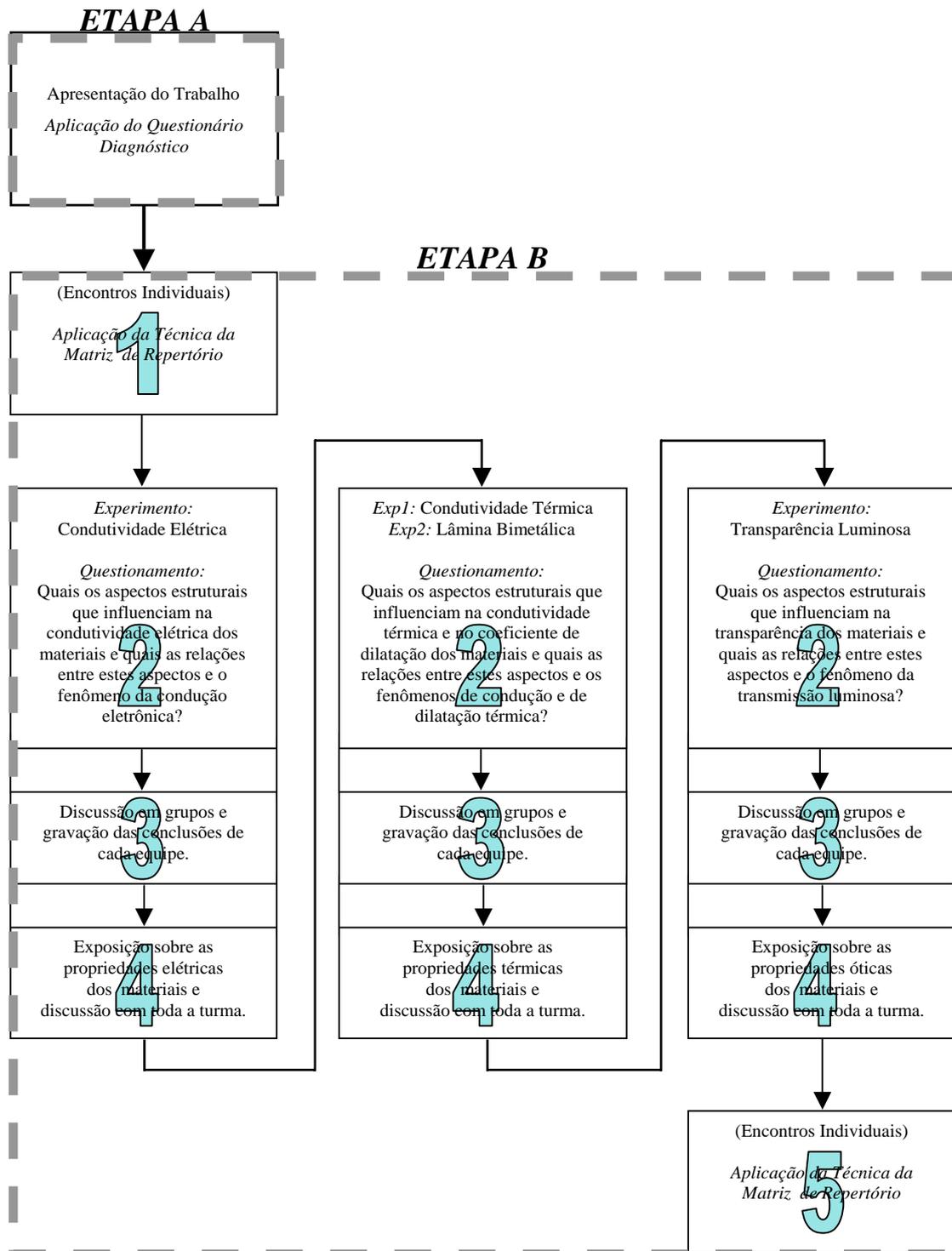


Figura 04: Fluxograma que resume as atividades desenvolvidas ao longo da intervenção didática. Os números referem-se às cinco fases do Ciclo da Experiência contemplados em cada procedimento: *Antecipação* (fase 1), *Investimento* (fase 2), *Encontro* (fase 3), *Confirmação ou Desconfirmação* (fase 4) e *Revisão Construtiva* (fase 5).

3.2 EXPERIMENTOS DIDÁTICOS

Na intervenção didática, durante a repetição das fases 2, 3 e 4 do Ciclo da Experiência foram utilizados 04 (quatro) experimentos simples, envolvendo propriedades elétricas, térmicas, e ópticas, que são descritos a seguir. A partir do que foi discutido na fundamentação teórica, procurou-se estabelecer quais os aspectos estruturais relevantes à análise de cada experimento, buscando relacioná-los à propriedade em questão.

Devido à sua natureza, os experimentos escolhidos para a intervenção envolvem diretamente os aspectos macroscópicos relacionados às propriedades estudadas. Não obstante, sua análise e discussão durante as etapas já mencionadas foram conduzidas no sentido de listar e discutir os aspectos estruturais relevantes ao estudo das propriedades abordadas. Visando embasar o estudo das propriedades dos materiais, a análise destes aspectos estruturais demanda o emprego de modelos microscópicos, os quais foram trabalhados durante as discussões mediadas pelo pesquisador.

A análise destes experimentos foi apenas qualitativa, uma vez o principal objetivo da sua utilização foi provocar as discussões a respeito da relação entre propriedades e aspectos estruturais.

3.2.1 Condutividade elétrica em diferentes materiais e sua relação com a temperatura

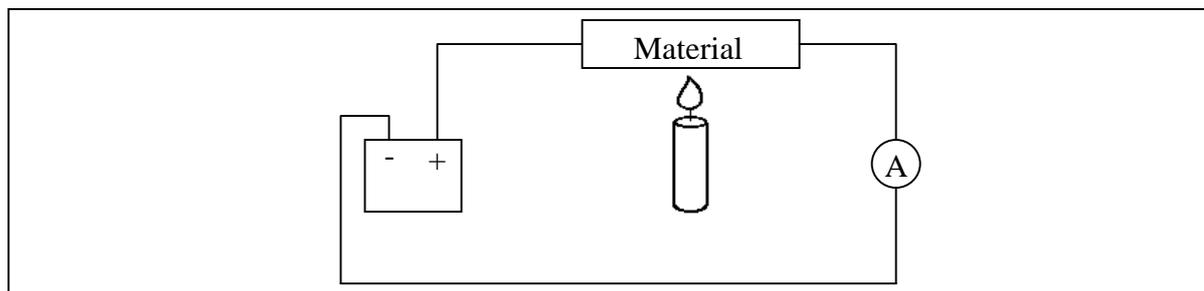


Fig.05: Circuito para estudo das condutividades elétricas de diversos materiais.

A figura 5 mostra um esquema desta montagem experimental, no qual amostras de diferentes materiais são incorporadas a um circuito elétrico simples, composto por uma bateria, fios de ligação e um amperímetro digital. A amostra é posta de tal forma a ser percorrida por uma corrente elétrica, que será medida pelo amperímetro.

Num primeiro momento, as medidas das intensidades de corrente elétrica para os diversos materiais são usadas para comparar qualitativamente as diferentes condutividades elétricas envolvidas, uma vez que estas são grandezas diretamente proporcionais. Para discutir a condutividade elétrica nos diversos materiais é recomendado fazer referência aos tipos de ligações químicas presentes no material, à teoria das bandas e aos tipos de arranjos atômicos, uma vez que estes são os fatores que determinam a condutividade elétrica em materiais sólidos (MILLMAN & HALKIAS, 1981).

Em seguida é possível discutir ainda o que ocorre com as condutividades elétricas dos materiais quando as amostras são aquecidas. O efeito de um aumento de temperatura na condutividade elétrica de um material está relacionado à sua estrutura. Nos metais, possuidores de elétrons livres, um aumento de sua temperatura em geral diminui sua condutividade elétrica: o aumento na vibração da estrutura cristalina dificulta o deslocamento dos elétrons livres. Nos materiais isolantes e semicondutores, o aumento de temperatura resulta numa maior energia disponível para promover os elétrons da banda de valência à banda de condução, o que causa um aumento em sua condutividade elétrica (CALLISTER, 2002). Estes aspectos estruturais são relevantes e devem ser discutidos com os alunos.

3.2.2 Lâmina Bimetálica

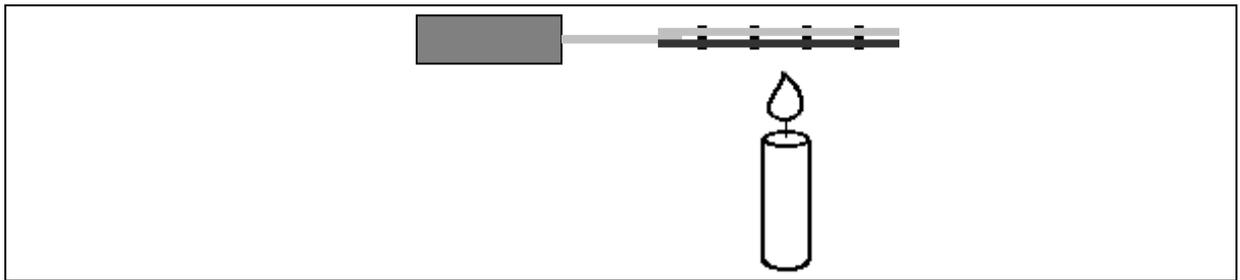


Fig.06: Esquema representativo da lâmina bimetálica, utilizada para estudar a dilatação de diferentes materiais.

O experimento consiste em aquecer uma lâmina bimetálica (bronze e alumínio) similar à mostrada na figura 6, percebendo a curvatura decorrente da dilatação desigual dos dois metais. A partir deste experimento simples é possível discutir a dilatação em diferentes materiais, mostrando que mesmo que estes possuam características estruturais semelhantes (dois sólidos cristalinos, formados por ligações metálicas, neste caso), apresentam comportamentos distintos. Estas peculiaridades no comportamento dos diferentes materiais devem ser relacionadas aos aspectos estruturais relevantes.

O coeficiente de expansão térmica dos materiais está relacionado à curva de energia potencial das ligações químicas entre seus átomos; o acréscimo da temperatura promove um aumento da amplitude das vibrações térmicas. Devido à assimetria da curva de energia potencial, o aumento da amplitude de oscilação térmica é acompanhado por um deslocamento da distância interatômica média, (CALLISTER, 2002). A energia potencial das ligações e o arranjo atômico são aspectos estruturais relevantes à expansão térmica e podem ser abordados numa discussão acerca desta propriedade.

Questões de ordem prática como a utilização do concreto armado em engenharia civil e a dilatação de placas de concreto em calçadas podem ser igualmente incorporadas a esta discussão. É sempre importante estender a discussão em sala de aula a situações presentes no cotidiano dos alunos, contribuindo para que eles possam aumentar a faixa de conveniência dos construtos envolvidos nestes debates.

3.2.3 Condutividade térmica em diferentes materiais

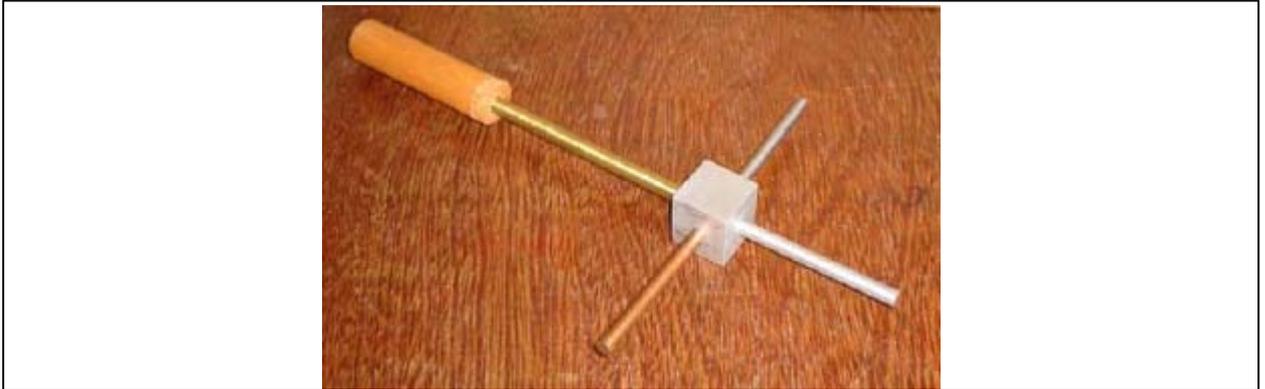


Fig.07: Aparato experimental para estudo das condutividades térmicas. Fonte: Scienco – Kit para experimentos

Neste experimento, tachinhas metálicas são coladas com cera quente nas extremidades de três hastes de diferentes materiais (bronze, alumínio e aço). As hastes estão conectadas a um bloco central como pode ser verificado na figura 7. Quando este bloco central é aquecido, observa-se que as tachinhas não se desprendem simultaneamente, por causa das diferentes condutividades térmicas apresentadas pelos metais. As hastes metálicas serão substituídas por hastes de materiais diversos, como cerâmicos ou vidro.

Mais uma vez a justificativa para tal fenômeno encontra embasamento no estudo estrutural destes materiais. Materiais que apresentam arranjos atômicos cristalinos e elétrons livres são usualmente ótimos condutores térmicos, de modo que a ausência destas características faz com que o material apresente uma baixa condutividade térmica (CALLISTER, 2002).

3.2.4 Refração da luz – Índices de refração de diferentes materiais

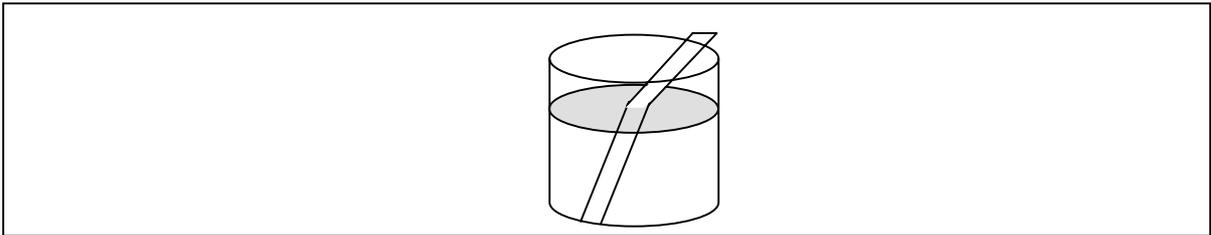


Fig.08: Experimento utilizado para discutir a propagação da luz em diferentes meios

Neste experimento, o mergulho de um objeto em água causa a ilusão de que ele está “quebrado”. Este efeito é causado pela diferença entre os índices de refração da água e do ar. As discussões a respeito da velocidade da luz nos diferentes materiais e da questão da transparência dos corpos devem orientadas de forma a envolver a distribuição eletrônica dos átomos constituintes do material, bem como seus arranjos espaciais, aspectos estruturais dos materiais envolvidos.

Outra possibilidade é trabalhar com um objeto que tenha índice de refração parecido com o do líquido no qual ele é mergulhado (por exemplo, vidro e tetracloroetileno). Neste exemplo, mergulhando um bastão de vidro em um recipiente contendo tetracloroetileno, o bastão tornar-se-á quase indistinguível do líquido, fato justificado pela proximidade entre seus índices de refração (RAMALHO et al., 2003).

A discussão criada a partir deste experimento pode ser direcionada para a transparência de alguns materiais, em oposição à opacidade de outros. Comparando blocos de diferentes materiais, alguns opacos e outros transparentes, é possível argüir acerca da relação entre os aspectos estruturais e esta propriedade ótica.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS

Como mencionando anteriormente, foram coletadas informações através de três instrumentos: o questionário diagnóstico aplicado na etapa A, e o teste da matriz de repertório e as gravações dos consensos dos grupos durante as discussões em sala, aplicados na etapa B da intervenção didática. O fluxograma apresentado na figura 9 explicita as fases do Ciclo da experiência (etapa B) nas quais esses instrumentos foram aplicados, bem como seu objetivo em cada momento.

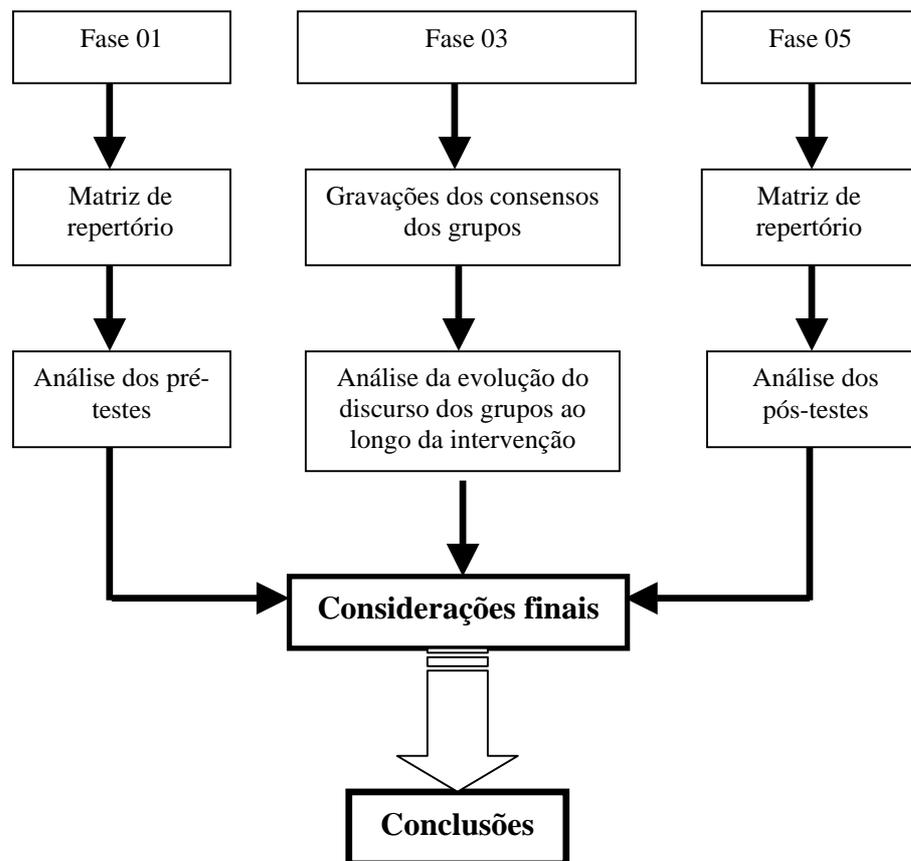


Fig.09: Fluxograma que apresenta as fases da coleta e análise de dados

Nesta seção serão ainda apresentadas as metodologias adotadas para a análise destes dois instrumentos de coleta de dados: as gravações dos grupos e a Técnica da Matriz de Repertório. A partir da análise das informações coletadas, foram feitas as considerações finais sobre o processo de aprendizagem das propriedades da matéria e o papel da intervenção didática nas mudanças ocorridas nos sistemas de construção dos alunos participantes deste processo.

3.3.1 Gravações dos Consensos

Os consensos dos grupos formados durante as três abordagens da intervenção (uma para cada classe de propriedades) 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, bem como a validade das terminologias utilizadas, foram pontos observados nas respostas dos grupos.

A análise destes consensos foi orientada de forma a monitorar a evolução das posturas adotadas pelos grupos ao longo das três abordagens e verificar possíveis alterações na maneira como as propriedades eram relacionadas aos aspectos estruturais relevantes em seu estudo. O fato destas três abordagens terem sido concebidas baseadas em um mesmo roteiro possibilitou uma análise mais integrada dos consensos obtidos nestes três momentos, e conseqüentemente um diagnóstico mais preciso acerca da evolução das posturas adotadas pelos grupos.

3.3.2 Matrizes de Repertório

Nesta pesquisa a análise dos testes de matriz de repertório constitui a principal fonte de informações sobre a estrutura cognitiva dos alunos em relação às propriedades da matéria e as eventuais alterações que tenham ocorrido nestas estruturas altamente complexas.

A análise qualitativa destes testes buscou identificar os construtos explicitados a partir dos pólos construídos pelo aluno, o grau de diferenciação usado para classificar os materiais em cada construto, assim como a faixa de conveniência de cada construto. Foram analisados também os pólos utilizados para construir as dicotomias referentes a cada construto, bem como os termos utilizados pelos alunos durante o processo.

A análise quantitativa foi feita a partir do cálculo de fatores de correlação entre os construtos propostos por cada aluno. Tal análise teve como objetivo inferir até que ponto cada aluno conseguiu articular tais elementos para fazer referência aos materiais. Para efetuar este cálculo considerou-se a escala numerada de 01 (um) a 05 (cinco), utilizada pelo aluno para classificar cada material em relação aos pólos definidos para cada construto. Foi necessário,

entretanto, levar em conta quais os pólos de cada construto e sua disposição na matriz. Foram trabalhadas, desta forma, duas situações distintas no cálculo de correlação.

Um primeiro caso é aquele em que os pólos **A** definidos para os dois construtos estão diretamente relacionados. Desta forma, quanto menor a diferença entre as pontuações dadas para um mesmo material, maior o percentual de coincidência entre os dois construtos em questão. Em nível de exemplo, podemos considerar a matriz ilustrada na Tabela 6, construída a partir de 04 (quatro) materiais diferentes e sobre para quais foram propostos 03 (três) construtos.

Tabela 6: Exemplo de matriz de repertório

		Elementos					Pólo B (05)
		Pólo A (01)	Alumínio (A)	Tijolo (B)	Ferro (C)	Madeira (D)	
Construtos	C ₁	isolante elétrico	4	(1)	(5)	(3)	condutor elétrico
	C ₂	isolante térmico	(5)	(1)	5	(1)	condutor térmico
	C ₃	ligações metálicas	(1)	(5)	(1)	4	ligações não metálicas

Tais construtos podem ser tratados como *condutividade elétrica* (C₁), *condutividade térmica* (C₂) e *caráter metálico das ligações químicas* (C₃). Para calcular a correlação entre os construtos C₁ e C₂, deve-se observar que os dois pólos definidos como **A** (isolante elétrico e isolante térmico) estão diretamente relacionados, do mesmo modo que os pólos definidos como **B** (condutor elétrico e condutor térmico).

Desta forma, quanto menor a diferença entre as pontuações dadas para dois materiais diferentes, maior será o percentual de coincidência entre estes dois construtos (RODRIGUES, 2005). Na Tabela 7 estão listados os valores de percentuais de coincidência adotados, em função da diferença entre as pontuações atribuídas para um mesmo material.

Tabela 7: Percentuais de Coincidência para cálculo da correlação.

Diferença entre as pontuações dadas para determinado material	0	1	2	3	4
Percentual de coincidência para este material	100 %	75 %	50 %	25 %	0 %

Esta relação pode ser matematicamente expressa pela equação representada a seguir, onde **D** é o módulo da diferença entre as duas pontuações e **F** é o fator de coincidência correspondente ($0 \leq F \leq 1$) (RODRIGUES, 2005).

$$F = 1 - 0,25.D$$

Para efetuar o cálculo do fator de correlação entre os dois construtos citados anteriormente (C_1 e C_2) na matriz exemplo, as pontuações correspondentes são transferidas para uma planilha Excel, onde serão calculadas as diferenças entre as pontuações dadas para cada material e os respectivos fatores de coincidência, através da relação apresentada ($F=1-0,25.D$). O fator de correlação será adotado como sendo a média aritmética dos fatores de coincidência calculados desta forma (RODRIGUES, 2005). A Tabela 8 ilustra o procedimento do cálculo do fator de correlação entre os dois construtos usados como primeiro exemplo.

Tabela 8: Cálculo do fator de correlação entre C_1 e C_2 da matriz exemplo.

		Elementos			
		(A)	(B)	(C)	(D)
Pontuações	C_1	4	1	5	3
	C_2	5	1	5	1
Diferenças (D)		1	0	0	2
Fatores de Coincidência (F)		0,75	1,00	1,00	0,50
Fator de Correlação entre C_1 e C_2 (Média dos valores de F)		0,8125 (81,25%)			

Como pode ser visto ainda na Tabela 8, os construtos condutividade elétrica (C_1) e condutividade térmica (C_2) foram bem articulados na matriz de repertório exemplo, apresentando um fator de correlação de 81,25%. Isto seria um indício de que o aluno exemplo apresentaria em sua estrutura cognitiva um nível razoável de articulação entre estes dois construtos, percebendo que em geral os corpos que são bons condutores elétricos também conduzem calor com certa facilidade.

Voltando à Tabela 6, é possível ainda calcular o fator de correlação entre os construtos C_1 e C_3 . Neste segundo caso, entretanto, o procedimento adotado para o cálculo dos fatores de coincidência deverá levar em conta que o pólo **B** do construto C_1 (condutor elétrico) está diretamente relacionado com o pólo **A** do construto C_3 (ligações metálicas). Desta forma, quanto maior for a diferença entre as pontuações originalmente dadas para um certo material, maior será o fator de coincidência entre estes dois construtos para o material em questão.

Com o intuito de manter o procedimento apresentado para o cálculo dos fatores de coincidência (e conseqüentemente do fator de correlação) entre dois construtos, é possível permutar os pólos de um dos construtos. Nesta permuta, as pontuações dadas a cada material serão substituídas por seus valores complementares (em relação à pontuação cinco) como mostrado na Tabela 9, apresentada a seguir.

Tabela 9: Modificação das pontuações para cada material por ocasião da permuta entre os pólos de determinado construto .

Pontuação original	1	2	3	4	5
Pontuação complementar	5	4	3	2	1

Desta forma, para o cálculo do fator de correlação entre C_1 e C_3 , os pólos deste último construto serão permutados com o intuito de que os pólos **A** de cada construto fiquem diretamente relacionados. Após a permuta dos pólos de C_3 , o procedimento é similar ao realizado anteriormente; transportam-se os dados para o Excel, calculam-se os percentuais de coincidência pela expressão $F = 1 - 0,25.D$ e por fim o fator de correlação, pela média aritmética destes percentuais.

A Tabela 10 exemplifica o procedimento para cálculo do fator de correlação entre estes construtos na matriz exemplo. Nesta tabela, as pontuações referentes ao construto C_3 , que teve seus pólos permutados, são referidas por $\overline{C_3}$.

Tabela 10: Cálculo do fator de correlação entre C_1 e C_3 da matriz exemplo.

		Elementos			
		(A)	(B)	(C)	(D)
Pontuações	C_1	4	1	5	3
	$\overline{C_3}$	5	1	5	2
Diferenças (D)		1	0	0	1
Fatores de Coincidência (F)		0,75	1,00	1,00	0,75
Fator de Correlação entre C_1 e C_2 (Média dos valores de F)		0,875 (87,5%)			

Após o cálculo dos fatores de correlação entre os construtos propostos pelos alunos em suas matrizes, foram selecionados aqueles mais significativos. Sobre este procedimento, serão fornecidos mais detalhes na próxima seção.

3.4 CATEGORIZAÇÃO DOS DADOS DAS MATRIZES DE REPERTÓRIO

Como mencionado anteriormente, cinco alunos foram escolhidos na etapa A para participar dos momentos da intervenção reservadas à construção das matrizes de repertório, nas fases 1 e 5 do Ciclo da Experiência. Desta forma tem-se um total de dez matrizes de repertório para serem analisadas, duas para cada aluno. As matrizes construídas pelos cinco alunos que participaram destas fases encontram-se nos apêndices A, B, C, D, e E .

Após uma primeira leitura das dez matrizes de repertório construídas, compilou-se uma lista, representada na Tabela 11, na qual têm-se todos os construtos propostos pelos alunos ao longo da construção das matrizes. É possível perceber que cada construto está representado por uma letra diferente do alfabeto, visando facilitar a organização e a articulação entre as análises dos resultados dos cinco alunos. Assim, em todas as análises realizadas os construtos foram representados pela mesma letra tal como designado nesta tabela.

Tabela 11: Lista dos Construtos levantados pelos alunos nos testes da Matriz de Repertório			
PROPRIEDADES / CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS		ASPECTOS ESTRUTURAIS	
A	condutividade elétrica	U	superposição das bandas de energia
B	condutividade térmica	V	composição simples/composta
C	transparência	V1	presença de alumínio na composição
D	ponto de fusão	W	caráter orgânico
E	densidade	W1	caráter polimérico da estrutura
F	propensão à oxidação	X	caráter metálico das ligações
G	rigidez	Y	arranjo dos átomos
H	brilho	Z	grau de porosidade
H1	tonalidade claro/escuro		
I	poder de corte		
J	grau de aspereza	OUTROS	
K	maleabilidade		
L	permeabilidade	Q	valor comercial
M	ductibilidade	S	utilização em circuitos elétricos
N	propriedades magnéticas	T	utilização na construção de janelas
O	grau de dilatação		
P	durabilidade		
R	propensão à combustão		

Ainda com relação à lista de construtos apresentados na Tabela 11 é importante observar que eles foram reunidos em três categorias, “*Propriedades/Características Macroscópicas*”, “*Aspectos estruturais*” e “*Outros*”. Esta distinção foi necessária porque na análise dos

resultados pretende-se analisar as relações que os alunos estabelecem entre as propriedades e entre estas e os aspectos estruturais. Desta forma, essa divisão foi feita com o intuito de facilitar a análise dos resultados, como será comentado em detalhes mais adiante.

Entre os construtos listados na tabela 11, alguns apareceram com maior frequência nas matrizes de repertório dos alunos. Dentre todas as propriedades citadas nas matrizes, as três primeiras citadas com maior frequência foram: *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C). Já entre os aspectos estruturais citados mais frequentemente, destacaram-se os três últimos da lista: *caráter metálico das ligações* (X), *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z).

A maior frequência relativa destes seis construtos se justifica pelo fato deles terem sido o foco dos trabalhos desenvolvidos nas fases 2, 3 e 4 do Ciclo da Experiência durante a intervenção didática, por isso dentre as muitas combinações possíveis entre os construtos para o cálculo das correlações, priorizou-se aquelas que envolvessem os construtos A, B, C, X, Y e Z. Em cada matriz de repertório, foram calculados pelo menos os fatores de correlação entre as propriedades A, B e C (AB, AC e BC), e os fatores de correlação entre cada uma destas propriedades e os aspectos estruturais X, Y e Z (AX, AY, AZ, BX, BY, BZ, CX, CY e CZ).

Uma observação importante é a de que no cálculo de alguns fatores de correlação foram selecionados apenas determinados materiais. No cálculo do fator de correlação entre os construtos *condutividade elétrica* (A) e *transparência* (C), por exemplo, foram suprimidos os materiais madeira e cerâmica. Esta exclusão é justificada pelo fato de que a opacidade desses dois deve-se ao grau de heterogeneidade e porosidade de sua estrutura interna, enquanto que os demais materiais têm sua transparência ou opacidade diretamente relacionada à sua condutividade elétrica. Na tabela 12, apresentada a seguir, estão listados os materiais suprimidos no cálculo dos fatores de correlação citados no parágrafo anterior. Em cada caso, foram suprimidos os materiais que não relacionavam de forma direta os construtos em questão.

Tabela 12: Relação de materiais suprimidos no cálculo dos fatores de correlação entre os construtos mais freqüentes

<i>CORRELAÇÃO</i>	<i>MATERIAIS SUPRIMIDOS</i>
AB	-
AC	Madeira e Cerâmica
BC	Madeira e Cerâmica
AX	-
BX	-
CX	Madeira e Cerâmica
AY	-
BY	-
CY	Madeira e Cerâmica
AZ	Vidro, Acrílico e Plástico
BZ	Vidro, Acrílico e Plástico
CZ	Ferro, Alumínio e Silício

A análise dos fatores de correlação entre os primeiros construtos (principalmente AB, AC e BC) teve como objetivo investigar o grau de articulação que os alunos conseguiram estabelecer entre as diferentes propriedades dos materiais. Através do grau de correlação pode-se perceber, por exemplo, se os alunos entendem que os materiais que são bons condutores elétricos também conduzem calor de forma eficiente.

A análise dessas relações entre as propriedades, contudo, não seria suficiente para inferir sobre o grau de articulação que os alunos conseguem estabelecer entre as origens comuns destas propriedades, nem sobre quais seriam essas origens. Para tanto se calculou as correlações entre as propriedades citadas e os aspectos estruturais mais freqüentemente levantados por cada aluno em sua matriz de repertório (com ênfase nas correlações AX, AY, AZ, BX, BY, BZ, CX, CY e CZ, como citado anteriormente). A análise dessas correlações foi crucial para este trabalho de pesquisa, uma vez que um dos principais objetivos deste trabalho consistia em investigar o grau de articulação entre as propriedades macroscópicas e os aspectos estruturais.

No próximo capítulo são analisadas detalhadamente as matrizes de repertório dos cinco alunos, de acordo com o que foi levantado nesta discussão. São analisadas as correlações mais pertinentes à averiguação da evolução de cada aluno em relação ao trabalho desenvolvido durante a intervenção. A partir desta análise, são discutidas as alterações no sistema de construção dos alunos, bem como o grau destas mudanças.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os dados coletados através dos instrumentos descritos na metodologia. Inicialmente foram analisados os consensos produzidos pelos grupos na repetição das fases 2, 3 e 4 (mais especificamente na fase 3 que corresponde ao encontro) do Ciclo da Experiência durante a intervenção didática. Conforme explanação do item 3.3.1, essas gravações foram analisadas tendo em vista a evolução dos discursos dos grupos, no sentido de relacionar as diversas propriedades abordadas aos aspectos estruturais relevantes em seu estudo.

Em seguida serão apresentados os resultados da análise das matrizes de repertório construídas pelos cinco alunos que participaram das fases 1 e 5 do ciclo durante a intervenção didática. Seguindo a metodologia descrita no item 3.3.2, essas matrizes foram analisadas no sentido de investigar os sistemas de construção dos alunos, verificando possíveis alterações.

4.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS GRUPOS

As transcrições dos consensos de cada grupo são apresentadas de forma resumida nos quadros I, II e III dessa 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 I, apresentado a seguir, encontram-se as respostas dos três grupos com relação aos questionamentos sobre a condutividade elétrica dos materiais. Essas respostas foram gravadas durante a aplicação das fases 2, 3, e 4 do Ciclo da Experiência. É importante destacar que os aspectos estruturais esperados como relevantes para a compreensão da propriedade em questão, eram: *i*) tipo de ligação química (numa abordagem sobre a distribuição eletrônica e bandas de energia) e *ii*) arranjo atômico.

De modo geral percebeu-se que os três grupos explicitaram o aspecto estrutural, ligação química, e estabeleceram de maneira coerente uma 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 a este parâmetro estrutural e a confusão feita, por este grupo, entre íons e elétrons livres.

QUADRO I – Respostas dos grupos ao questionamento sobre propriedades elétricas

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.

Convém ressaltar que na seqüência proposta, 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. Nessa discussão, que permeou uma aula expositiva ministrada pelo próprio pesquisador 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.

Quatro dias após a abordagem da condutividade elétrica dos materiais, a turma reuniu-se novamente, desta vez para discutir sobre as propriedades térmicas e estabelecer quais seriam os aspectos estruturais relevantes para sua compreensão. Para tanto o sub-ciclo (fases 2, 3 e 4) foi repetido tal como esquematizado na figura 4 (pg. 77). O quadro II 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.

QUADRO II – Respostas dos grupos ao questionamento sobre propriedades térmicas

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.

Após uma análise geral do quadro II percebeu-se que os grupos tiveram mais dificuldade 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-o equivocadamente 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.

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 envolvendo 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 momento, que consistiu numa nova repetição das fases 2, 3 e 4 do Ciclo da Experiência, foi abordada a transparência luminosa dos materiais seguindo o mesmo roteiro de trabalho dos outros momentos. As respostas dos grupos a este questionamento estão reproduzidas a seguir, no quadro III. Faz-se necessário, mais uma vez, explicitar que os aspectos estruturais esperados como relevantes para a compreensão da propriedade em questão eram: *i*) tipo de ligação química (novamente numa abordagem sobre a distribuição eletrônica) e *ii*) o arranjo atômico.

QUADRO III – Respostas dos grupos ao questionamento sobre propriedades óticas

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.

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.

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 coerentemente 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).

Analisando as gravações produzidas pelos grupos ao longo das três aplicações das fases 2, 3 e 4 do Ciclo da Experiência, é possível destacar alguns pontos importantes. Por exemplo, percebeu-se uma melhora gradativa na coerência e pertinência das relações construídas entre propriedades e aspectos estruturais, em especial no último bloco de gravações que correspondeu a segunda repetição das fases.

È importante destacar a situação específica das entrevistas gravadas inicialmente, sobre a propriedade condutividade elétrica. Como já havia sido detectado no questionário diagnóstico e comentado na metodologia, dentre todas as propriedades abordadas, era esta que os alunos conseguiam relacionar de forma mais eficiente aos aspectos estruturais relevantes em seu estudo. Deste modo, já era esperado que as entrevistas gravadas nas etapas subsequentes transparecessem esta dificuldade e possivelmente não apontassem o mesmo nível de pertinência e coerência nas relações levantadas entre propriedades e aspectos estruturais.

Em relação às entrevistas gravadas na primeira repetição das fases 2, 3 e 4 do ciclo, ainda houve uma dificuldade adicional, o fato de terem sido abordadas duas propriedades, a

condutividade térmica e a dilatação térmica, simultaneamente. Embora esta dificuldade já houvesse sido considerada, decidiu-se manter os dois experimentos, uma vez que um dos objetivos deste trabalho de pesquisa é investigar o grau de articulação que os alunos conseguem estabelecer entre as propriedades e os aspectos estruturais relevantes, bem como entre as diferentes propriedades, neste caso dilatação e condutividade térmica. Tendo em vista este ponto específico, foi possível observar que os alunos cometeram alguns equívocos, confundindo as origens estruturais das duas propriedades. Apesar disso, os alunos conseguiram estabelecer algumas relações válidas entre as propriedades térmicas e os aspectos estruturais relevantes.

Ao analisar as entrevistas gravadas na segunda repetição do ciclo, é possível perceber uma evolução no sentido de consensos mais pertinentes e mais de acordo com o conhecimento científico. Apesar de ainda terem sido cometidos equívocos e deslizes, os consensos apresentaram um maior grau de coerência e pertinência.

Assim, numa análise geral é possível dizer que a repetição sucessiva das fases 2, 3 e 4, nas quais foram abordadas as diferentes propriedades de interesse, mostrou-se 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.

Ao se comparar as entrevistas dos três grupos no primeiro, segundo e terceiro momentos, observa-se 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.

4.2 ANÁLISE DAS MATRIZES DE REPERTÓRIO

4.2.1 Análise do aluno A1

Apresentação dos resultados

Durante a análise das matrizes de repertório do Aluno A1, encontradas no Apêndice A, alguns pontos importantes foram observados e são apresentados em detalhe neste tópico. Inicialmente buscou-se identificar quais os construtos levantados pelo aluno na fase 1 do ciclo, de modo a compará-los com os construtos levantados na fase 5, que foi o último momento da intervenção didática. As fases 1 e 5 podem ser consideradas como etapas de pré e pós-teste. Os construtos levantados nesses momentos são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Construtos listados pelo Aluno A1 nos dois Rep-testes realizados			
PRÉ-TESTE		PÓS-TESTE	
<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>		<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>	
A	condutividade elétrica	A	condutividade elétrica
B	condutividade térmica	B	condutividade térmica
C	transparência	C	transparência
D	ponto de fusão	D	ponto de fusão
E	densidade	E	densidade
F	propensão à oxidação	G	rigidez
G	rigidez	O	grau de dilatação
H	brilho		
I	cortantes		
J	grau de aspereza		
<i>ASPECTOS ESTRUTURAIIS</i>		<i>ASPECTOS ESTRUTURAIIS</i>	
Y	arranjo dos átomos	U	superposição das bandas de energia
Z	grau de porosidade	X	caráter metálico das ligações
		Y	arranjo dos átomos
		Z	grau de porosidade

Analisando esta tabela, percebe-se que no pré-teste o aluno A1 citou 12 construtos no total, sendo 10 desses relacionados a propriedades ou características dos materiais e apenas 2 deles relacionados a aspectos estruturais. Já no pós-teste esta proporção está sensivelmente alterada: de um total de 11 construtos, 7 são relacionados a propriedades dos materiais, enquanto 4

deles relacionam-se a aspectos estruturais, como, por exemplo, superposição das bandas de energia e caráter metálico das ligações químicas.

Dando seqüência à análise das matrizes de repertório do aluno A1, têm-se os valores obtidos para os fatores de correlação entre alguns dos construtos citados pelo aluno. Como comentado anteriormente, foram priorizadas as correlações entre os construtos A, B, C, X, Y e Z, que correspondem respectivamente à *condutividade elétrica*, *condutividade térmica*, *transparência*, *caráter metálico das ligações*, *arranjo dos átomos* e *grau de porosidade*, por serem os mais freqüentemente citados pelos cinco alunos. O gráfico da figura 10 apresenta os fatores de correlação calculados entre os construtos A, B, C, X, Y e Z tanto para a matriz que corresponde ao pré-teste como para a que corresponde ao pós-teste.

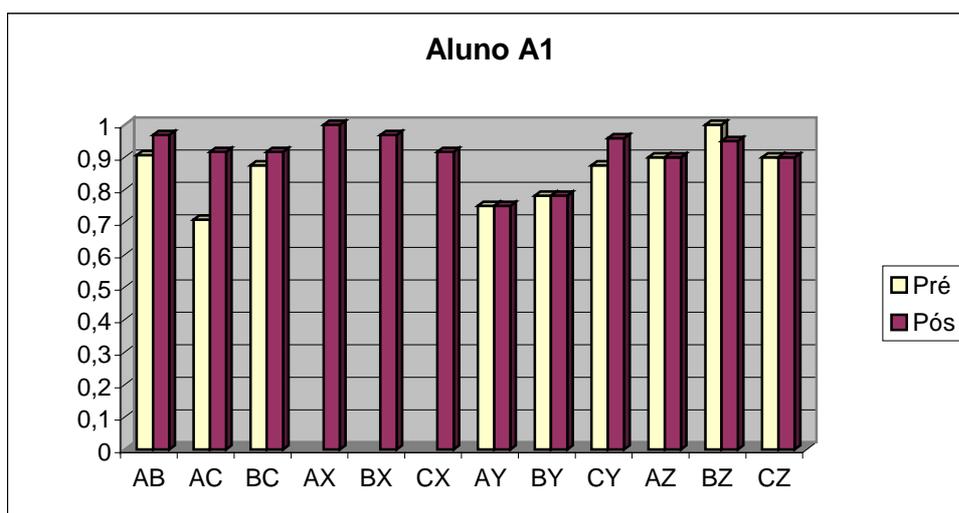


Fig.10: Gráfico comparativo de correlações do aluno A1

Mediante a análise da figura 10 é possível dizer que os valores de correlação são de médios a altos, no pré-teste o menor valor de correlação é de 71% (para a dupla AC – *condutividade elétrica/transparência*), enquanto que no pós-teste o valor mínimo é de 75% (para a correlação AY - *condutividade elétrica/arranjo dos átomos*).

Comparando os conjuntos dos valores calculados nas duas situações (pré e pós-teste), percebe-se um ganho geral significativo, uma vez que dos 12 fatores de correlação apresentados na figura 10, 4 deles aumentam (AB, AC, BC e CY), 4 mantêm seus valores (AY, BY, AZ e CZ) e 3 novas correlações são citadas (AX, BX e CX). Apenas 1 fator tem seu valor reduzido (BZ): caiu de 100% para 95%.

Os valores dos fatores de correlação apresentados na figura 10 são listados detalhadamente a seguir, com o intuito de embasar a discussão posterior sobre as alterações ocorridas no sistema de construções do aluno A1. Primeiramente são citadas as correlações envolvendo os aspectos estruturais, para então serem listadas as correlações entre as propriedades dos materiais.

Em relação aos fatores de correlação calculados combinando-se os aspectos estruturais *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z) às propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), não são observadas mudanças significativas. Os fatores de correlação AY, BY, AZ e CZ permanecem inalterados (com valores respectivamente iguais a 75%, 78%, 90% e 90%), enquanto o fator de correlação CY sofre um aumento de 87% para 96% e o fator BZ sofre uma queda de 100% para 95%.

O aspecto estrutural *caráter metálico das ligações* (X) não havia sido citado no pré-teste. No pós-teste, o aluno A1 consegue correlacionar este construto de modo satisfatório às propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), atingindo respectivamente os valores 100%, 97% e 92% para as correlações AX, BX e CX.

Ainda analisando os construtos relacionados a aspectos estruturais, o aluno A1 foi o único dos cinco entrevistados a citar o construto *superposição das bandas de energia* (U), fazendo-o no seu pós-teste. A figura 11 traz os fatores de correlação entre este construto e os construtos *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), mostrando que essas correlações atingem valores altos (respectivamente 97%, 94% e 88%).

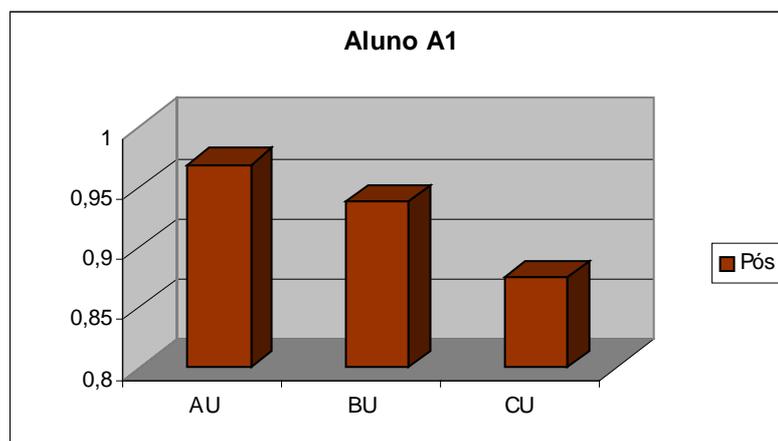


Fig.11: Gráfico complementar de correlações do aluno A1

Voltando à figura 10 para comentar especificamente as correlações entre as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), observa-se que todos os três fatores de correlação entre estas propriedades (AB, AC e BC) apresentam aumentos em relação aos valores obtidos no pré-teste. O fator de correlação AB passa de 91% para 97%, o fator AC aumenta de 71% para 92%, enquanto que o fator BC sobe de 87% para 92%.

Discussão dos resultados

O primeiro ponto importante a ser discutido é a alteração ocorrida com respeito à natureza dos construtos levantados pelo aluno. Como citado no tópico anterior, observa-se que a proporção de construtos referentes a aspectos estruturais em relação àqueles referentes a propriedades aumenta quando comparados os dois testes. Essa alteração constitui o primeiro indício de que os encontros realizados durante a intervenção resultaram em mudanças significativas no sistema de construção do aluno A1, uma vez que ele passa a considerar como relevantes na comparação dos diferentes materiais alguns aspectos estruturais antes desconhecidos ou não considerados.

Analisando o conjunto dos valores obtidos para os fatores de correlação, percebe-se que a média das correlações é bem elevada, com a maior parte desses fatores situada acima dos 80%, já no pré-teste. Esses valores são um forte indicativo de que o sistema de construção desse aluno já se encontrava bem estruturado em relação às propriedades dos materiais e às suas relações com os aspectos estruturais, ponto que provavelmente constituiu um fator positivo no processo de alteração do seu sistema de construção, quando interpretado à luz da Teoria dos Construtos Pessoais (KELLY, 1963). Segundo Kelly, as mudanças no sistema cognitivo de um indivíduo constituem um processo recursivo, já que os estímulos recebidos do ambiente são interpretados seguindo os padrões estabelecidos pelo próprio sistema, limitando dessa forma as possíveis alterações cognitivas. Assim, comparando os dois testes num âmbito geral, o aluno A1 consegue aumentar de forma significativa os valores dos fatores de correlação entre os construtos citados, levantando inclusive novos construtos relacionados a aspectos estruturais. Ao preencher as matrizes, ele consegue estabelecer implicitamente conexões coerentes entre todos os construtos listados, mostrando que esses construtos encontram-se bem articulados em seu sistema cognitivo.

A análise específica dos fatores de correlação envolvendo os aspectos estruturais revela alguns pontos interessantes. O construto *caráter metálico das ligações* (X), que não havia sido citado no pré-teste, é responsável pelos maiores fatores de correlação do pós-teste, chegando a atingir o valor de 100% para a dupla AX (*condutividade elétrica / caráter metálico das ligações*). Esses altos valores de correlação indicam que o aluno conseguiu articular de forma eficiente esse aspecto estrutural a propriedades macroscópicas a ele relacionadas, atingindo um dos objetivos da intervenção didática descrita neste trabalho de pesquisa.

Outro aspecto estrutural que não havia sido citado no pré-teste foi o construto *superposição das bandas de energia* (U). Nesse caso, os valores de correlação obtidos no pós-teste também são elevados, como apresentado anteriormente. O fato de o aluno ter sido bem sucedido em relacionar esse aspecto estrutural às propriedades, em especial às propriedades térmica e ótica, fortalece a idéia de que a intervenção foi eficiente no sentido de explicitar as relações existentes entre propriedades elétricas, térmicas e óticas e os aspectos estruturais relevantes.

Com respeito às correlações obtidas entre os aspectos estruturais que já haviam sido citados no pré-teste, *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z), e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), não são percebidas grandes mudanças, como já citado. Isso indica a dificuldade encontrada pelo aluno em tecer novas relações entre esses dois aspectos estruturais e as propriedades elétricas, térmicas e óticas.

Embora o aluno não tenha listado no pré-teste o construto *caráter metálico das ligações* (X), ele o associa de forma mais coerente às três propriedades do que os construtos *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z). O melhor desempenho do aluno em estabelecer relações entre o aspecto X e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C) provavelmente deve-se ao fato de que este aspecto (X) é mais freqüentemente discutido pelos professores de Química e/ou Física do que os aspectos Y e Z, embora geralmente associado de forma direta e exclusiva à propriedade *condutividade elétrica* (A).

Na análise das correlações entre as propriedades de *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), percebe-se que todos os fatores aumentam no mínimo 5

pontos percentuais. Essa melhora nos fatores de correlação entre as propriedades é um reflexo das mudanças cognitivas operadas no sistema de construção do aluno, uma vez que as diversas conexões erigidas pelo aluno entre propriedades (A, B e C) e aspectos estruturais relevantes (U, X, Y e Z) provavelmente contribuíram para que as relações entre as propriedades A, B e C fossem fortalecidas em seu sistema de construção.

Fazendo mais uma referência à Teoria dos Construtos Pessoais, é muito provável que a intervenção didática tenha ampliado a permeabilidade de alguns construtos importantes para o melhor entendimento das propriedades dos materiais. Segundo Kelly (1963), um construto permeável seria aquele capaz de adequar-se a mudanças realizadas no sistema de construção do indivíduo, sobrevivendo a novas situações por ele vivenciadas. Alguns aspectos estruturais, como o *caráter metálico das ligações* e o *grau de superposição das bandas de energia*, freqüentemente (e equivocadamente) são relacionados apenas a determinada propriedade do material (como a condutividade elétrica, neste exemplo!). Ao perceber que esses construtos estão diretamente relacionados a outras propriedades, como a condutividade térmica e a transparência, o aluno estaria contribuindo para aumentar a permeabilidade desses construtos.

Segundo o corolário da modulação (KELLY, 1963), discutido na fundamentação teórica, as possíveis mudanças cognitivas nos sistemas de construção dos indivíduos estão limitadas pela (im)permeabilidade dos construtos envolvidos nestas alterações. Desta forma, o aumento da permeabilidade dos construtos relacionados aos aspectos estruturais dos materiais (U, X, Y e Z) provavelmente possibilitou uma alteração significativa no sistema cognitivo do aluno A1, proporcionando maiores correlações entre os construtos A, B e C.

4.2.2 Análise do Aluno A2

Apresentação dos resultados

As duas matrizes de repertório construídas pelo Aluno A2 encontram-se no Apêndice B e foram analisadas exaustivamente à luz da Teoria dos Construtos Pessoais e do Pensamento Complexo. Os aspectos mais relevantes dessas matrizes são apresentados neste tópico, fomentando a discussão desenvolvida no tópico seguinte.

A identificação dos construtos levantados pelo aluno A2 em cada um dos testes pode ser encontrada na Tabela 14, apresentada a seguir. Analisando esta tabela, é possível perceber que no pré-teste o aluno cita um total de 12 construtos: 11 deles relacionados a propriedades ou características dos materiais, enquanto apenas 1 destes construtos faz referência a algum aspecto estrutural dos materiais utilizados no teste. No pós-teste verifica-se uma alteração nesta proporção: de um total de 11 construtos citados, 8 relacionam-se a propriedades e aspectos estruturais enquanto 3 estão relacionados a aspectos estruturais.

Tabela 14: Construtos listados pelo Aluno A2 nos dois Rep-testes realizados			
PRÉ-TESTE		PÓS-TESTE	
<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>		<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>	
A	condutividade elétrica	A	condutividade elétrica
B	condutividade térmica	B	condutividade térmica
C	transparência	C	transparência
D	ponto de fusão	D	ponto de fusão
E	densidade	E	densidade
K	maleabilidade	F	propensão à oxidação
L	permeabilidade	H	brilho
M	ductibilidade	M	ductibilidade
N	propriedades magnéticas		
P	durabilidade		
Q	valor comercial		
<i>ASPECTOS ESTRUTURAIIS</i>		<i>ASPECTOS ESTRUTURAIIS</i>	
X	caráter metálico das ligações	X	caráter metálico das ligações
		Y	arranjo dos átomos
		Z	grau de porosidade

Vale ressaltar que os 3 aspectos estruturais levantados pelo aluno em seu pós-teste foram trabalhados durante a intervenção didática: *caráter metálico das ligações*, *arranjo dos átomos* e *grau de porosidade*.

Prosseguindo com a análise dos Rep-testes do aluno A2, foram calculadas algumas correlações dentre os construtos citados. Obedecendo ao critério estabelecido anteriormente de maior frequência, foram calculados os fatores de correlação entre os construtos *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B), *transparência* (C), *caráter metálico das ligações* (X), *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z). No gráfico apresentado na figura 12 podem ser encontrados os fatores de correlação calculados a partir dos construtos A, B, C, X, Y e Z, tanto para a matriz referente ao pré-teste como para a matriz do pós-teste.

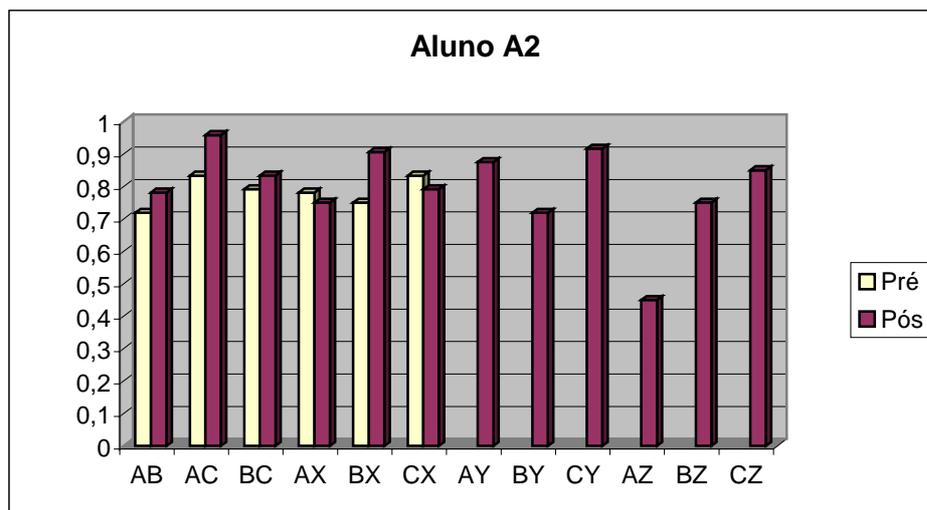


Fig.12: Gráfico comparativo de correlações do aluno A2

Numa análise geral, os valores de correlação obtidos nos dois testes são de médios a altos. No pré-teste o menor fator de correlação obtido é de 71% (para a dupla AB – *condutividade elétrica/condutividade térmica*). No pós-teste o menor valor obtido é de 45% (para a combinação AZ - *condutividade elétrica/grau de porosidade*), sendo o único fator de correlação calculado a ficar situado abaixo dos 70 %.

Comparando quantitativamente os fatores calculados nos dois momentos (pré-teste e pós-teste), é possível perceber um ganho geral. Dentre os 12 fatores de correlação apresentados na figura 12, apenas 2 (AX e CX) têm seus valores reduzidos no pós-teste, enquanto que 4 deles

(AB, AC, BC e BX) aumentam e 6 novas correlações são mencionadas (AY, BY, CY, AZ, BZ e CZ).

Com o objetivo de embasar a discussão acerca das alterações ocorridas no sistema de construção do Aluno A2, são detalhados a seguir os valores dos fatores de correlação apresentados na figura 12. Inicialmente são listados os fatores de correlação envolvendo os aspectos estruturais, e posteriormente os fatores de correlação entre as propriedades dos materiais.

Em relação aos fatores de correlação calculados a partir da combinação entre o aspecto estrutural *caráter metálico das ligações* (X) e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C) - AX, BX e CX -, há duas quedas e um aumento, como pode ser verificado na figura 12. O fator AX cai de 78% para 75%, enquanto o fator BX sobe de 75% para 91% e o fator CX cai de 83% para 79%.

O aspecto estrutural *arranjo dos átomos* (Y) não havia sido citado no pré-teste. No pós-teste, o aluno A2 consegue correlacionar bem este construto às propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), atingindo respectivamente os valores 88%, 72% e 92% para as correlações AY, BY e CY.

O aspecto estrutural *grau de porosidade* (Z) também não havia sido listado na primeira matriz de repertório. Os fatores de correlação obtidos no pós-teste envolvendo este construto e as propriedades atingem os valores de 45%, 75% e 85%, respectivamente para as combinações AZ, BZ e CZ.

Ainda referindo-se à figura 12, o último ponto importante a destacar são as correlações entre as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C). Observa-se que todos os três fatores de correlação entre estas propriedades (AB, AC e BC) apresentam aumentos em relação aos valores obtidos no pré-teste. O fator de correlação AB aumenta de 72% para 78%, o fator AC sobe de 83% para 96%, enquanto que o fator BC aumenta de 79% para 83%.

Vale ressaltar que os fatores BX e AC apresentam os maiores aumentos dentre todos os fatores calculados para o aluno A2, subindo respectivamente 16 e 13 pontos percentuais em relação aos valores obtidos no pré-teste.

Discussão dos resultados

Seguindo a linha de análise desenvolvida anteriormente, a primeira observação pertinente sobre as alterações processadas no sistema de construção deste aluno é referente à natureza dos construtos citados em cada um dos testes. Assim como havia ocorrido com o Aluno A1, observa-se uma ampliação na proporção de construtos relacionados a aspectos estruturais em relação àqueles relacionados a propriedades dos materiais, de forma que no pós-teste o aluno cita alguns aspectos estruturais, relevantes ao estudo das propriedades dos materiais, que não haviam sido citados no primeiro momento. Esta alteração é o primeiro indicativo que os encontros realizados durante a intervenção foram eficientes no sentido de estimular mudanças significativas no sistema de construção do aluno A2.

A análise geral dos valores calculados para os fatores de correlação mostra que a média destes valores é superior a 78% em ambos os testes. Os valores obtidos no pré-teste indicam que o sistema de construção deste aluno já estava articulado de forma razoavelmente coerente em relação às propriedades dos materiais, o que, segundo o Corolário da Modulação da Teoria dos Construtos Pessoais (KELLY, 1963), possivelmente contribuiu de forma positiva no processo de alteração de seu sistema cognitivo, uma vez que as modificações operadas no sistema de construção de um indivíduo não dependem apenas dos estímulos recebidos, mas também do próprio sistema de construção, num processo recursivo. Um dos objetivos da intervenção didática era aumentar a permeabilidade dos construtos referentes aos aspectos estruturais relacionados às propriedades elétricas, térmicas e óticas em questão. O fato do aluno A2 ter citado dois novos aspectos estruturais, *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z) mostra que a intervenção didática foi bem sucedida neste ponto.

A análise dos fatores de correlação envolvendo os aspectos estruturais revela alguns pontos interessantes. O construto *caráter metálico das ligações* (X), que já havia sido citado no pré-teste, é novamente levantado no pós-teste. A variação dos fatores de correlação entre este aspecto estrutural e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C) foi detalhada no tópico anterior, revelando que os fatores AX e CX apresentam quedas de 3% e 4%, respectivamente. Estas alterações não são tão expressivas

quando comparadas com o fator BX, que apresenta um aumento de 16 pontos percentuais, indicando que o foco de conveniência deste construto provavelmente foi ampliado de forma significativa.

No estudo das propriedades dos materiais, como comentado anteriormente, o *caráter metálico das ligações* não é frequentemente associado às propriedades térmicas e óticas dos materiais, limitando sua relevância no estudo destas propriedades. O aumento significativo do fator BX (*condutividade térmica / caráter metálico das ligações*) sugere que a permeabilidade do construto referente a este aspecto estrutural foi sensivelmente ampliada, atingindo um dos objetivos da intervenção didática.

Os construtos *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z), que não haviam sido citados pelo aluno A2 no pré-teste, são citados no pós-teste, resultando em fatores de correlação relativos às propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C) bastante razoáveis.

Como apresentado no tópico anterior, os fatores AY, BY e CY atingem valores de médios a altos, indicando que o aspecto estrutural *arranjo dos átomos* (Y) foi bem relacionado às propriedades em questão. Este fato indica que a intervenção didática foi bem sucedida no sentido de aumentar a faixa de conveniência deste construto, explicitando sua relevância no estudo das propriedades elétricas, térmicas e óticas dos materiais.

Os fatores AZ, BZ e CZ, calculados a partir do construto *grau de porosidade* (Z), atingem valores médios no pós-teste, exceto pelo fator AZ, que atingiu 45%, valor considerado baixo quando comparado com os demais fatores. É possível que este resultado esteja diretamente relacionado ao fato de que a *condutividade elétrica* (A) depende fundamentalmente dos construtos *caráter metálico das ligações* (X) e *arranjo dos átomos* (Y) e em menor escala do construto *grau de porosidade* (Z). Esta relação provavelmente foi construída pelo aluno e produziu reflexos no teste da matriz de repertório.

De modo geral, há um ganho real com respeito aos fatores de correlação envolvendo os aspectos estruturais e as propriedades estudadas. Em relação a este ganho, a menção de aspectos estruturais que não haviam sido citados no pré-teste é muito significativa. À luz do Pensamento Complexo e da Teoria dos Construtos Pessoais, isto significa que provavelmente

o aluno A2 alterou o seu sistema de construção em relação à emergência das propriedades dos materiais, no sentido de perceber de forma mais apropriada que as propriedades elétricas, térmicas e óticas são definidas a partir das conexões estabelecidas entre os átomos que formam os materiais. Esta mudança no sistema cognitivo do aluno é um forte indício que um dos objetivos específicos deste trabalho de pesquisa, explicitar as relações existentes entre propriedades macroscópicas e aspectos estruturais dos materiais, foi atingido de forma satisfatória.

Na análise dos fatores de correlação entre as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), percebe-se que todos os fatores (AB, AC e BC) aumentam pelo menos 4 pontos percentuais. Assim como ocorrido com o aluno A1, a melhora nos fatores de correlação entre as propriedades provavelmente é um reflexo das mudanças ocorridas no sistema de construção do aluno A2. As discussões conduzidas durante a intervenção didática provavelmente contribuíram para que o aluno construísse novas relações entre propriedades (A, B e C) e aspectos estruturais relevantes (X, Y e Z), o que se refletiu no fortalecimento das relações entre as propriedades A, B e C em seu sistema de construção.

4.2.3 Análise do Aluno A3

Apresentação dos resultados

A análise das matrizes de repertório construídas pelo aluno A3 segue o modelo das análises anteriores. As matrizes do pré-teste e do pós-teste, que podem ser encontradas no Apêndice C, têm seus aspectos mais relevantes relatados neste tópico e posteriormente comentados à luz do Pensamento Complexo e da Teoria dos Construtos Pessoais.

A Tabela 15 traz a lista dos construtos levantados pelo aluno A3 nos dois testes. É possível perceber que no pré-teste o aluno cita um total de 12 construtos, sendo 10 deles referentes a propriedades macroscópicas ou características dos materiais, enquanto 2 deles são relacionados a aspectos estruturais. No pós-teste são citados 10 construtos, dos quais 7 relacionados a propriedades e características macroscópicas e 3 relativos a aspectos estruturais. Assim como ocorreu com os alunos A1 e A2, os aspectos estruturais citados no pós-teste foram trabalhados na intervenção didática: *caráter metálico das ligações, arranjo dos átomos e grau de porosidade*.

Tabela 15: Construtos listados pelo Aluno A3 nos dois Rep-testes realizados			
PRÉ-TESTE		PÓS-TESTE	
<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>		<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>	
A	condutividade elétrica	A	condutividade elétrica
B	condutividade térmica	B	condutividade térmica
C	transparência	C	transparência
D	ponto de fusão	E	densidade
E	densidade	F	propensão à oxidação
F	propensão à oxidação	M	ductibilidade
G	rigidez	O	grau de dilatação
M	ductibilidade		
N	propriedades magnéticas		
O	grau de dilatação		
<i>ASPECTOS ESTRUTURAIS</i>		<i>ASPECTOS ESTRUTURAIS</i>	
X	caráter metálico das ligações	X	caráter metálico das ligações
Z	grau de porosidade	Y	arranjo dos átomos
		Z	grau de porosidade

Fundamentando a análise das matrizes de repertório do aluno A3, foram calculados os fatores de correlação entre alguns dos construtos citados pelo aluno. Assim como já havia sido sinalizado, foram priorizadas as correlações entre os construtos *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B), *transparência* (C), *caráter metálico das ligações* (X), *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z). No gráfico apresentado na figura 13 têm-se os fatores de correlação calculados entre estes construtos, tanto para a matriz que corresponde ao pré-teste como para a que corresponde ao pós-teste.

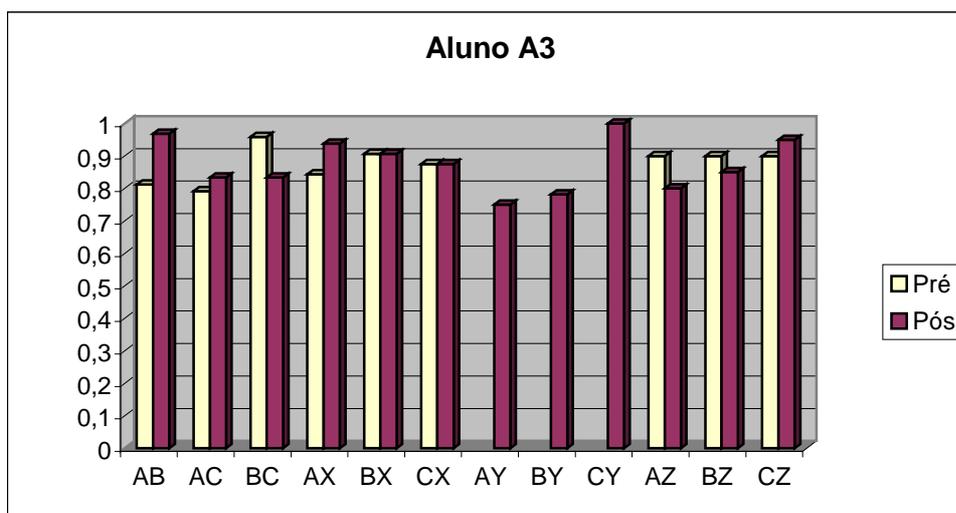


Fig.13: Gráfico comparativo de correlações do aluno A3

Em uma análise geral da figura 13, percebe-se que os valores de correlação obtidos para os Rep-testes do aluno A3 são em geral altos. No pré-teste o valor mínimo de correlação é de 79% (para a dupla AC – *condutividade elétrica/transparência*), enquanto que no pós-teste o menor valor é de 75% (para a correlação AY - *condutividade elétrica/arranjo dos átomos*).

Em relação à evolução dos valores obtidos para os fatores de correlação, é possível dizer que há um ganho geral quando comparados os dois testes. Dentre os 9 fatores de correlação calculados para o pré-teste, 4 aumentam no pós-teste (AB, AC, AX e CZ), 2 permanecem com os mesmos valores (BX e CX) e 3 baixam (BC, AZ e BZ). No pós-teste, o aluno A3 ainda contempla 3 novos fatores de correlação (AY, BY e CY).

Seguindo a seqüência desenvolvida nas discussões anteriores, são listados a seguir e de forma detalhada os valores dos fatores de correlação obtidos nos dois testes, já apresentados graficamente na figura 13. No próximo tópico estas alterações serão discutidas no sentido de

indicar quais as possíveis alterações ocorridas no sistema de construção do aluno A3, à luz do pensamento Complexo e da Teoria dos Construtos Pessoais.

Com relação aos fatores de correlação envolvendo o aspecto estrutural *caráter metálico das ligações* (X) e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B), *transparência* (C), observa-se um aumento significativo no fator AX, que passa de 84% para 94%. Os fatores BX e CX não sofrem modificações, permanecendo em 91% e 88%, respectivamente.

O aspecto estrutural *arranjo dos átomos* (Y), que não havia sido citado no pré-teste, é correlacionado de forma satisfatória aos construtos referentes às propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C). Os fatores AY, BY e CY obtêm valores respectivamente iguais a 75%, 78% e 100% no pós-teste.

Analisando os fatores de correlação entre o aspecto estrutural *grau de porosidade* (Z) e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C) - AZ, BZ e CZ -, é possível ainda na figura 13 perceber que há duas quedas e um aumento. Os fatores AZ e BZ passam de 90% e 90% para 80% e 85%, respectivamente. O fator CZ sobe de 90% para 95%.

Ainda em relação à figura 13, o último ponto a ser destacado refere-se às correlações entre as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C) - AB, AC e BC. Destes três fatores, dois aumentam (AB e AC) e um tem seu valor reduzido (BC), como pode ser verificado na figura 13. Os fatores AB e AC aumentam de 81% e 79% para 97% e 83%, respectivamente. Já o fator BC diminui de 96% para 83%.

Vale destacar que dentre os fatores de correlação observados presentes em ambos os testes, aquele que sofre maior aumento é o fator AB, obtendo um acréscimo de 16 pontos percentuais em relação ao valor obtido no pré-teste.

Discussão dos resultados

Novamente esta discussão inicia-se com a análise da natureza dos construtos levantados pelo aluno nos dois testes aplicados. Como foi citado no tópico anterior, observa-se uma alteração na proporção de construtos referentes a aspectos estruturais em relação àqueles referentes a propriedades. O aluno A3 cita no pós-teste um aspecto estrutural que não havia sido levantado em seu pré-teste, o *arranjo dos átomos* (Y). Os demais construtos citados pelo aluno no pós-teste já haviam sido levantados em seu pré-teste. A presença de um novo construto referente a um aspecto estrutural indica mais uma vez que provavelmente a intervenção didática foi eficiente no sentido de destacar a relevância dos aspectos estruturais no estudo das propriedades da matéria.

Como destacado no tópico anterior, os valores obtidos para os fatores de correlação são considerados médios e altos, uma vez que já no pré-teste a grande maioria dos fatores atinge valores maiores que 80%, resultado que se repete no pós-teste. Este fato indica que os construtos citados já estavam bem articulados na estrutura cognitiva do aluno A3 por ocasião da aplicação do pré-teste. Segundo o corolário da modulação (KELLY, 1963), esta boa articulação prévia provavelmente atuou como um fator favorável à apropriação de novos construtos e à constituição de novas conexões entre os construtos já citados pelo aluno.

Analisando especificamente os fatores relacionados ao aspecto estrutural *caráter metálico das ligações* (X), percebe-se que há um ganho em relação ao fator AX (*condutividade elétrica / caráter metálico das ligações*), enquanto os fatores BX e CX permanecem com os valores obtidos no pré-teste. Comparando os valores destes 3 fatores (AX, BX e CX), é possível perceber que o fator AX havia alcançado um valor menor que os outros dois (BX e CX) no pré-teste (84%), enquanto que no pós-teste essa situação é revertida, passando o fator AX a ter o maior valor entre os três (94%). Este fato indica que após a intervenção didática provavelmente o aluno A3 passou a considerar este aspecto estrutural como sendo mais relevante ao estudo da propriedade *condutividade elétrica* (A).

O aspecto estrutural *arranjo dos átomos* (Y) não havia sido levantado no pré-teste. No pós-teste está bem correlacionado às propriedades elétricas, térmicas e óticas dos materiais, sendo inclusive responsável pelo maior valor de correlação obtido pelo aluno A3 (100% para a correlação CY – *transparência / arranjo dos átomos*). O sucesso do aluno A3 em relacionar este novo aspecto estrutural às propriedades em estudo embasa ainda mais a opinião de que a

intervenção foi eficiente na tarefa de explicitar as relações existentes entre propriedades elétricas, térmicas e óticas e os aspectos estruturais relevantes.

O aspecto estrutural *grau de porosidade* (Z), que já havia sido citado pelo aluno A3 em seu pré-teste, é novamente listado no pós-teste. Analisando os fatores de correlação entre este aspecto estrutural e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), percebe-se que os três fatores – AZ, BZ e CZ – haviam atingido valores iguais no pré-teste, enquanto que no pós-teste estes fatores alcançam valores distintos. O fator AZ obtém o menor valor no pós-teste, seguido pelo fator BZ, enquanto o fator CZ atinge o maior valor entre os três. Este fato é um indicativo de que após a intervenção didática o aluno A3 passou a considerar o *grau de porosidade* (Z) da estrutura do material como sendo mais relevante ao estudo das propriedades óticas dos materiais.

À luz da Teoria dos Construtos Pessoais, a intervenção didática provavelmente foi eficiente no sentido de trabalhar o foco de conveniência do construto *grau de porosidade* (Z). O intervalo (ou faixa) de conveniência de um construto está relacionado ao conjunto de elementos sobre os quais é pertinente a classificação segundo aquele construto, enquanto que o foco de conveniência refere-se ao grupo dentro do intervalo de conveniência para o qual o construto é mais relevante (HALL et al., 2000). Antes da intervenção didática, o construto *grau de porosidade* (Z) havia sido igualmente correlacionado às três propriedades destacadas, mostrando que a faixa de conveniência deste construto já envolvia o estudo das diversas propriedades dos materiais, mas seu foco de conveniência não estava bem definido. A partir dos valores obtidos para os fatores de correlação no pós-teste, é plausível propor que após a intervenção didática o foco de conveniência deste aspecto estrutural convergiu para a propriedade *transparência* (C).

A análise das correlações entre as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C) mostra que, dentre os três fatores calculados (AB, AC e BC), dois deles aumentaram após a intervenção didática (AB e AC), o que pode ser considerado um resultado positivo. Possivelmente o aumento destas correlações esteve relacionado ao fato do aluno A3 ter estabelecido novas conexões cognitivas envolvendo estas propriedades e aspectos estruturais relevantes, o que provavelmente contribuiu para conscientizá-lo de que as propriedades macroscópicas emergem a partir das relações estabelecidas entre os elementos

que constituem o material. A consciência desta relação provavelmente contribuiu para uma melhor correlação entre as propriedades.

Tecer conexões entre os diversos elementos componentes de um sistema é fundamental quando se tem como objetivo estudar o sistema numa perspectiva complexa. Uma proposta de ensino orientada pelo Pensamento Complexo deve estimular nos alunos a capacidade de passar “da parte para o todo, do todo para a parte, do molecular para o molar, do molar ao molecular” (MORIN et al., 2003, p.57). Desta forma, o propósito da intervenção didática foi de trabalhar com os alunos as relações entre propriedades macroscópicas e aspectos estruturais relevantes, discutindo e construindo novas conexões entre estes elementos.

Um procedimento desta natureza tende a ampliar a faixa de conveniência dos construtos envolvidos, de forma a melhorar a compreensão sistêmica do objeto de estudo, as propriedades dos materiais neste caso. De acordo com a hipótese deste trabalho de pesquisa, o sucesso em relacionar os aspectos estruturais estudados às propriedades de diferentes naturezas (elétricas, térmicas e óticas), levaria o aluno a avançar no sentido de melhor compreender as relações entre as propriedades dos materiais.

4.2.4 Análise do Aluno A4

Apresentação dos resultados

Neste tópico são listados os dados obtidos a partir da análise das matrizes de repertório construídas pelo aluno A4, que podem ser encontradas no Apêndice D. Estes dados são analisados e serão discutidos no próximo tópico, à luz da fundamentação teórica que norteia este trabalho de pesquisa.

Seguindo a seqüência desenvolvida anteriormente, o primeiro passo desta análise consiste em listar os construtos levantados pelo aluno A4, em ambos os testes. A Tabela 16 traz a relação destes construtos, devidamente agrupados. No pré-teste são citados no total 12 construtos, sendo 9 deles relacionados a propriedades ou características macroscópicas dos materiais, e 3 relativos a aspectos estruturais destes materiais. No pós-teste são citados 10 construtos no total, dos quais 7 relacionados a propriedades ou características e 3 relativos a aspectos estruturais. Vale ressaltar a natureza de alguns destes construtos, citados exclusivamente por este aluno, como *utilização na fabricação de janelas* ou *caráter orgânico dos materiais*.

Tabela 16: Construtos listados pelo Aluno A4 nos dois Rep-testes realizados			
PRÉ-TESTE		PÓS-TESTE	
<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>		<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>	
A	condutividade elétrica	A	condutividade elétrica
B	condutividade térmica	B	condutividade térmica
C	transparência	C	transparência
F	propensão à oxidação	F	propensão à oxidação
H	brilho	G	rigidez
H1	tonalidade claro/escuro	H	brilho
R	propensão à combustão	R	propensão à combustão
S	utilização em circuitos elétricos		
T	utilização na construção de janelas		
<i>ASPECTOS ESTRUTURAIS</i>		<i>ASPECTOS ESTRUTURAIS</i>	
X	caráter metálico das ligações	X	caráter metálico das ligações
W	caráter orgânico	W	caráter orgânico
V	composição simples/composta	W1	caráter polimérico da estrutura

Continuando a análise das matrizes de repertório do aluno A4, foram calculados os valores dos fatores de correlação entre as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B), *transparência* (C), bem como entre cada uma destas propriedades e os aspectos estruturais *caráter metálico das ligações* (X), *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z). No gráfico apresentado na figura 14 têm-se os fatores de correlação calculados entre os construtos A, B, C, X, Y e Z tanto para a matriz que corresponde ao pré-teste como para a que corresponde ao pós-teste.

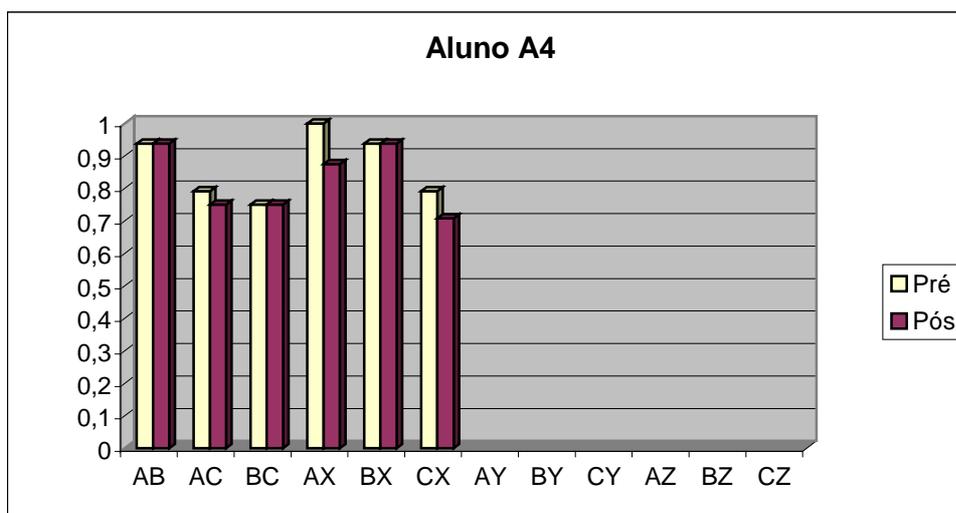


Fig.14: Gráfico comparativo de correlações do aluno A4

É possível perceber que o aluno A4 não cita os construtos *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z) em nenhum dos dois testes, sendo o único dos cinco alunos entrevistados nesta condição.

Em relação aos fatores de correlação presentes nos dois testes, pode-se dizer que os valores são de médios a altos. No pré-teste o menor valor de correlação é de 75% (para a dupla BC – *condutividade térmica / transparência*), enquanto que no pós-teste o valor mínimo é de 71% (para a correlação CX - *transparência / caráter metálico das ligações*).

Quando comparados os valores dos seis fatores de correlação presentes na figura 14, percebe-se que 3 deles mantêm seus valores (AB, BC e BX), enquanto 3 sofrem quedas em relação ao pré-teste (AC, AX e CX).

Os fatores de correlação envolvendo o construto *caráter metálico das ligações* (X) e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C)

sofrem duas quedas. Os valores dos fatores AX e CX passam respectivamente de 100% e 79% (no pré-teste) para 88% e 71% (no pós-teste). Já o fator BX permanece inalterado com o valor de 94%.

Em relação aos fatores de correlação entre as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), há apenas uma mudança. O valor do fator AC cai de 79% (valor obtido no pré-teste) para 75% (no pós-teste). Os fatores AB e BC mantêm no pós-teste os valores respectivos de 94% e 75%, obtidos no pré-teste.

Discussão dos resultados

Analisando a relação dos construtos levantados pelo aluno A4, percebe-se que no pós-teste há uma queda na proporção dos construtos relativos a aspectos estruturais. Esta situação não foi verificada nos três primeiros alunos analisados, nos quais ocorreu sempre um aumento nesta proporção.

É possível perceber ainda que dos 10 construtos citados no pós-teste, 8 já o haviam sido no pré-teste. Isto transparece uma grande resistência às mudanças no sistema de construção deste aluno, indicando que a intervenção didática provavelmente não foi eficiente no sentido de ampliar a compreensão deste aluno acerca das propriedades dos materiais.

Outro aspecto importante é a natureza prática de dois construtos levantados pelo aluno A4, *utilização em circuitos elétricos* (S) e *utilização na construção de janelas* (T). Durante a aplicação do Rep-teste na fase 1 da intervenção (pré-teste), o pesquisador investigou a origem do interesse dispensado a estes aspectos de ordem prática, descobrindo que o aluno já havia trabalhado durante vários anos em uma comunidade na qual realizava trabalhos artesanais de diversas naturezas.

Além disso, excetuando o aspecto estrutural *caráter polimérico da estrutura* (W1), discutido na intervenção, o aluno A4 não manifesta no segundo teste da matriz de repertório nenhuma mudança em seu sistema de construção relativa ao uso de aspectos estruturais no estudo dos diferentes materiais.

Suspeita-se que essa experiência com atividades artesanais tenha dificultado de alguma forma a construção de réplicas dos eventos do Ciclo da Experiência arquitetado na intervenção

didática. Ao permanecer com sua atenção voltada para os aspectos práticos dos materiais, possivelmente o aluno tenha encontrado dificuldade em construir réplicas dos modelos utilizados para descrever os aspectos estruturais dos materiais relevantes para a discussão que envolve as propriedades. E essa dificuldade provavelmente reflete-se nos fatores de correlação calculados para as matrizes de repertório construídas pelo aluno.

4.2.5 Análise do Aluno A5

Apresentação dos resultados

Seguindo o roteiro adotado para os demais alunos, os resultados da análise das matrizes de repertório são relatados em detalhes neste primeiro tópico. As matrizes do pré-teste e do pós-teste do Aluno A5 podem ser encontradas no Apêndice E, e seus aspectos mais relevantes são comentados à luz do Pensamento Complexo e da Teoria dos Construtos Pessoais no tópico seguinte.

A Tabela 17 traz uma lista dos construtos citados pelo aluno A5 nos dois testes realizados. Analisando esta tabela, percebe-se que no pré-teste o aluno cita 12 construtos no total, sendo 8 desses relacionados a propriedades ou características dos materiais e 4 deles relacionados a aspectos estruturais. No pós-teste são citados no total 9 construtos, dos quais 7 deles relacionados a propriedades dos materiais, e 2 deles relacionados a aspectos estruturais.

Tabela 17: Construtos listados pelo Aluno A5 nos dois Rep-testes realizados			
PRÉ-TESTE		PÓS-TESTE	
<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>		<i>PROPRIEDADES/CARACTERÍSTICAS</i>	
A	condutividade elétrica	A	condutividade elétrica
B	condutividade térmica	B	condutividade térmica
C	transparência	C	transparência
D	ponto de fusão	D	ponto de fusão
E	densidade	E	densidade
H	brilho	M	ductibilidade
M	ductibilidade	N	propriedades magnéticas
N	propriedades magnéticas		
<i>ASPECTOS ESTRUTURAIIS</i>		<i>ASPECTOS ESTRUTURAIIS</i>	
X	caráter metálico das ligações	X	caráter metálico das ligações
Z	grau de porosidade	Y	arranjo dos átomos
V	composição simples/composta		
V1	presença de alumínio na composição		

Continuando a análise das matrizes de repertório do aluno A5, e seguindo a metodologia já utilizada anteriormente, foram calculados os fatores de correlação entre os construtos *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B), *transparência* (C), bem como os fatores de correlação entre cada um destes e os construtos *caráter metálico das ligações* (X), *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z). No gráfico apresentado a seguir, na figura 15, é possível observar a evolução dos fatores de correlação calculados para o aluno A5, comparando o valor obtido para cada fator de correlação no pré-teste com o respectivo valor obtido no pós-teste.

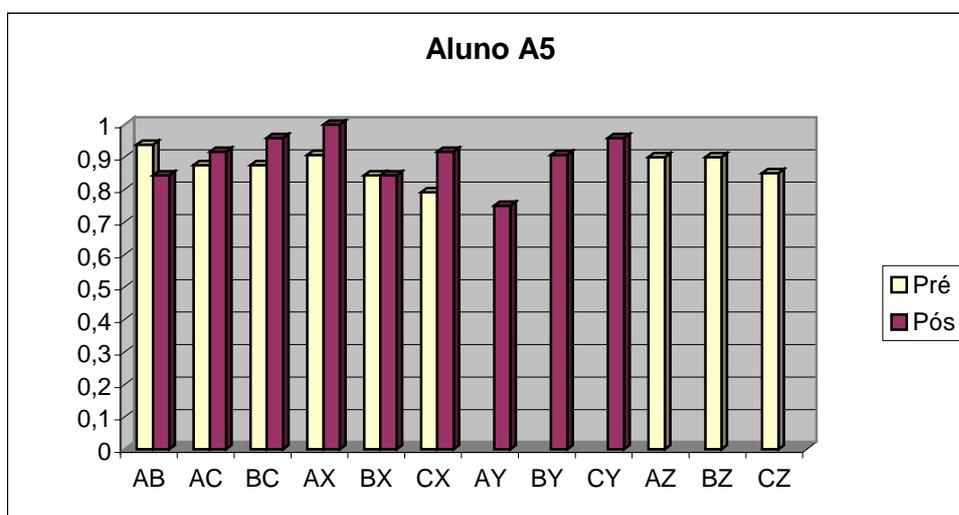


Fig.15: Gráfico comparativo de correlações do aluno A5

Em relação aos fatores de correlação presentes nos dois testes, pode-se dizer que os valores obtidos para o aluno A5 atingem valores médios e altos. No pré-teste o menor valor de correlação obtido é 79% (para a dupla CX – *transparência* / *caráter metálico das ligações*), enquanto que no pós-teste o valor mínimo é de 75% (para a correlação AY – *condutividade elétrica* / *arranjo dos átomos*). Vale ressaltar que todos os demais fatores de correlação calculados atingem valores superiores a 80%, em ambos os testes.

Comparando os valores dos fatores de correlação nos dois testes quanto à sua evolução, percebe-se que, dos nove fatores presentes no pré-teste, 4 deles aumentam (AC, BC, AX e CX), 1 mantém o valor original (BX), 1 tem seu valor reduzido (AB) e 3 não são citados no pós-teste (AZ, BZ e CZ). No pós-teste surgem 3 fatores de correlação (AY, BY e CY) que não haviam sido levantados no pré-teste.

A seguir são detalhados os valores destes fatores de correlação calculados entres os construtos levantados pelo aluno A5, a começar pelos fatores que envolvem os aspectos estruturais. Em relação aos fatores de correlação entre o aspecto estrutural *caráter metálico das ligações* (X) e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), podem ser observados dois aumentos. O fator AX aumenta de 91% para 100%, enquanto o fator CX aumenta de 79% para 92%. O fator BX permanece inalterado, com o valor de 84% em ambos os testes.

O construto *arranjo dos átomos* (Y) não havia sido citado no pré-teste, como pode ser observado ainda na figura 15. No pós-teste, o aluno A5 construiu uma matriz de repertório na qual consegue correlacionar este aspecto estrutural de modo satisfatório às propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), atingindo respectivamente os valores 75%, 91% e 96% para as correlações AY, BY e CY.

Ainda referindo-se à figura 15, o aspecto estrutural *grau de porosidade* (Z) é citado pelo aluno A5 apenas no pré-teste, sendo articulado de forma satisfatória às propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C). Nesta ocasião os fatores de correlação AZ, BZ e CZ atingem os valores respectivos de 90%, 90% e 85%.

Em relação aos fatores de correlação entre as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), há uma queda e dois aumentos. O fator AB cai de 94% para 84%. Já os fatores AC e BC, que haviam atingido o mesmo valor de 88% no pré-teste, alcançam no pós-teste os valores de 92% e 96%, respectivamente.

Vale ressaltar que dentre os fatores de correlação presentes em ambos os testes, aquele que sofre maior aumento é o fator CX, obtendo um acréscimo de 13 pontos percentuais em relação ao valor obtido no pré-teste.

Discussão dos resultados

Analisando a natureza dos construtos levantados pelo aluno A5, é possível perceber que no pós-teste há uma queda na proporção dos construtos referentes a aspectos estruturais, embora esta queda não seja tão significativa quanto aquela do aluno A4. Ao identificar os construtos individualmente, percebe-se que o aluno A5 chega a citar no pós-teste um novo aspecto estrutural, o *arranjo dos átomos* (Y), que não havia sido levantado anteriormente. Este fato

indica que a intervenção didática conseguiu de alguma forma alterar seu sistema de construção no sentido de considerar novos aspectos estruturais no estudo das propriedades dos materiais envolvidos.

Mais uma vez a média dos valores obtidos para os fatores de correlação pode ser considerada alta. Em cada um dos testes, apenas um dos fatores calculados situa-se abaixo da marca dos 80%. No pré-teste, o menor valor é atingido pelo fator CX (*transparência / caráter metálico das ligações*), que obtém o valor de 79%, enquanto no pós-teste o valor mínimo é o do fator AY (*condutividade elétrica / arranjo dos átomos*), que atinge 75%. Este fato indica que o aluno A5 provavelmente já tinha uma estrutura cognitiva bem articulada no sentido de relacionar as propriedades dos materiais entre si e aos aspectos estruturais citados. Segundo o corolário da modulação da Teoria dos Construtos Pessoais (KELLY, 1963), isso seria um aspecto favorável à efetivação das mudanças cognitivas propostas pela intervenção didática, uma vez que a alteração do sistema de construção de um indivíduo seria limitado pela sua própria estrutura.

Analisando especificamente os fatores de correlação envolvendo o aspecto estrutural *caráter metálico das ligações* (X) e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), é possível perceber um ganho significativo no pós-teste. Enquanto o fator BX mantém o valor obtido no pré-teste, os fatores AX e CX apresentam aumentos de 9 pontos e 13 pontos percentuais, respectivamente.

É importante destacar que após a intervenção didática o fator AX atinge a marca dos cem pontos percentuais, mostrando que o aluno consegue correlacionar a *condutividade elétrica* (A) ao *caráter metálico das ligações* (X) de forma muito eficiente.

Não obstante, o aumento significativo de 13 pontos do fator CX também é de grande relevância, tendo em vista que um dos principais objetivos da intervenção didática era destacar a relevância dos aspectos estruturais no estudo das propriedades dos materiais. Como citado anteriormente, o aspecto estrutural *caráter metálico das ligações* (X) é frequentemente (e erroneamente) associado apenas às propriedades elétricas dos materiais. O aumento expressivo de 13 pontos percentuais do fator CX (*transparência / caráter metálico das ligações*) é um forte indício de que a intervenção didática teve sucesso em ampliar o foco de conveniência desse construto dentro do sistema de construção do aluno A5.

O aspecto estrutural *arranjo dos átomos* (Y) não havia sido citado no pré-teste. No pós-teste os fatores de correlação entre este construto e as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C) atingem valores satisfatórios, como detalhado no tópico anterior. O fato deste aspecto estrutural, que não havia sido citado no pré-teste, ser listado pelo aluno A5 no pós-teste assinala para uma alteração em seu sistema de construção no sentido de destacar a relevância deste construto no estudo das propriedades da matéria, atingindo um dos objetivos da intervenção.

Ainda em relação ao aspecto estrutural *arranjo dos átomos* (Y), vale destacar também que os fatores BY e CY atingem valores bem superiores ao do fator AY. Isto indica que este construto está estruturado de forma que seu foco de conveniência engloba as propriedades *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C).

Fazendo um destaque com relação aos fatores envolvendo a propriedade *transparência* (C) e os aspectos estruturais, o aluno A5 preencheu a matriz de repertório do pós-teste de forma a estabelecer de forma implícita uma forte correlação entre esta propriedade ótica e aspectos estruturais relacionados à forma como os átomos do material se ligam quimicamente (X) e se distribuem espacialmente (Y). Isto indica fortemente que este aluno consegue perceber o caráter complexo desta propriedade, destacando seu caráter emergente das relações existentes entre as partes constituintes do sistema em estudo.

O aspecto estrutural *grau de porosidade* (Z) foi citado no pré-teste. Nesta ocasião ele é relacionado de forma satisfatória às propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C). Sua ausência no pós-teste não permite uma averiguação acerca de sua evolução dentro do sistema de construção do aluno A5, tendo sido esta uma situação atípica, haja vista que ocorreu unicamente nesta ocasião dentre todas as matrizes de repertório construídas neste trabalho de pesquisa.

Analisando os fatores de correlação entre as propriedades *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), verifica-se uma queda (AB) e dois aumentos (AC e BC), saldo que pode ser considerado como positivo. O aumento destes fatores de correlação indica que o aluno A5 consegue articular melhor estes construtos em seu sistema de construção.

À luz da Teoria dos Construtos Pessoais, o sistema de construção de um indivíduo constitui uma estrutura na qual os construtos estão organizados de forma que os elementos supra-organizadores do sistema são simultaneamente reguladores do sistema e por ele regulados (KELLY, 1963). Deste modo, uma vez que todo processo de ensino-aprendizagem encontra no próprio sistema um elemento limitador, a intervenção didática deste trabalho teve como estratégia investir em alguns construtos-chaves neste processo de mudança. As discussões envolvendo as propriedades dos materiais e seus aspectos estruturais relevantes buscaram trabalhar as relações entre estes construtos, de forma a conduzir a uma compreensão sistêmica do objeto de estudo.

A análise dos fatores de correlação do aluno A5 sugere que a intervenção didática teve sucesso em conduzi-lo a uma melhor compreensão das propriedades dos materiais, em particular da propriedade *transparência* (C), uma vez que todos os fatores de correlação do pós-teste envolvendo este construto atingem valores superiores a 90%. O sucesso do aluno A5 em relacionar esta propriedade aos aspectos estruturais relevantes provavelmente contribuiu para que os fatores de correlação envolvendo a *transparência* e as demais propriedades aumentassem.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação à análise dos discursos gravados ao longo da intervenção, pode-se dizer que houve uma melhora ao longo do processo. Apesar de terem sido tratadas inicialmente as propriedades elétricas, sobre as quais os alunos tinham melhor compreensão, eles conseguiram estabelecer relações cada vez mais válidas entre os aspectos estruturais identificados e as propriedades em questão. O fato de os alunos conseguirem estabelecer mais e melhores relações ao longo do procedimento indica que eles se conscientizaram gradativamente da relevância desses aspectos na determinação das propriedades elétricas, térmicas e óticas. Acredita-se que essa visão mais sistêmica acerca das propriedades estudadas foi decisiva no sentido de contribuir para um processo de aprendizagem melhor.

No que se refere aos resultados da análise dos sistemas de construtos dos alunos, é possível destacar que esses sistemas inicialmente já se encontravam razoavelmente bem estruturados com relação às propriedades abordadas. Grande parte dos fatores de correlação calculados nos pré-testes superou a marca dos 70%, indicando que os alunos conseguiam até certo ponto relacionar de forma coerente os construtos levantados. Como discutido anteriormente, segundo o corolário da modulação essa condição inicial dos sistemas de construtos deve ter influenciado de forma positiva no processo de aprendizagem, uma vez que a alteração do sistema de construtos de um indivíduo é modulada pela estrutura do próprio sistema.

No que concerne à intervenção didática pode-se dizer que ela foi eficaz, visto que possibilitou uma ampliação no número de construtos utilizados pelos alunos, bem como a reorganização de seus sistemas de construtos. Os alunos avançaram no sentido de perceber que os aspectos estruturais da matéria estão relacionados a diversas propriedades macroscópicas de diferentes materiais. Ao ampliar o foco de conveniência destes aspectos estruturais, a intervenção didática muito provavelmente contribuiu para uma compreensão mais integrada e coesa das propriedades em questão. Essa visão fundamenta-se no Pensamento Complexo, pressuposto teórico-filosófico deste trabalho, segundo o qual as relações entre as partes de um sistema podem vencer barreiras de natureza temporal e espacial.

Um outro aspecto importante que fica evidente ao se comparar as matrizes de repertório dos alunos é o fato de que, embora todos tenham vivenciado as mesmas atividades ao longo da intervenção, os construtos por eles levantados nos testes variam bastante, assim como as

diversas relações levantadas entre os construtos. A individualidade dos processos de mudanças dos sistemas de construtos já era apontada por Kelly (1963) e pode auxiliar o professor a repensar sua prática docente de modo a compreender as singularidades de seus alunos.

No que concerne especificamente ao Rep-teste, convém destacar que essa ferramenta mostrou-se bastante versátil. Em primeiro lugar, a análise dos dados coletados através de sua aplicação embasou análises qualitativas e quantitativas, que permitiram mapear as alterações ocorridas nos sistemas de construtos dos alunos ao longo da intervenção. Além disso, ela extrapola sua função de instrumento para coleta de dados e contribui de maneira significativa para o processo de ensino-aprendizagem, uma vez que pode ser utilizada pelo professor para diagnósticos e para o redirecionamento de sua prática pedagógica.

A técnica da matriz de repertório também pode auxiliar nos processos metacognitivos. No momento em que estão construindo a matriz de repertório, os alunos se confrontam com suas próprias dificuldades e embora haja um acompanhamento do professor, que pode eventualmente fazer algumas sugestões, muitos deles simplesmente não conseguem completá-las de maneira adequada deixando a matriz parcialmente preenchida. Durante esse processo o aluno começa a perceber suas lacunas conceituais, fato que é de grande importância para a aprendizagem, uma vez que o aluno sente a necessidade de buscar o conhecimento.

Por fim, é importante fazer algumas considerações quanto ao Ciclo da Experiência e sua relevância para a concepção deste trabalho de pesquisa. Em primeiro lugar, é importante frisar que o ciclo foi proposto originalmente por Kelly como elemento organizador dos processos cognitivos básicos a serem vivenciados por um indivíduo em uma situação de experiência de forma que essa pudesse levar a uma alteração de seu sistema de construtos. Na concepção deste trabalho de pesquisa, contudo, o Ciclo da Experiência extrapou o papel de sistematizar as cinco fases cognitivas vivenciadas pelos alunos ao longo do processo de experiência e também foi utilizado para a estruturação das atividades didáticas programadas ao longo da intervenção.

As atividades compreendiam momentos de averiguação prévia (pré-testes), montagem e realização de experimentos demonstrativos, discussões em grupos fomentadas por

questionamentos sobre as propriedades tratadas, exposições acompanhadas de discussões com toda a turma e, finalmente, momentos de nova averiguação (pós-testes). A estruturação das atividades com base nas cinco fases do ciclo mostrou-se extremamente adequada, permitindo uma abordagem que não apenas pontuava as especificidades do tema em questão, mas também procurava auxiliar os alunos em seus processos cognitivos.

A inserção do sub-ciclo teve como principal objetivo levar os alunos a perceber o caráter recorrente dos aspectos estruturais tratados na intervenção (arranjos atômicos, tipo de ligação e estrutura) dentro do estudo das propriedades elétricas, térmicas e óticas. Nesse sentido, a implementação do sub-ciclo mostrou-se válida na medida em que foi verificada efetivamente uma melhora nos discursos dos grupos, gravados ao longo das atividades que o compunham. Acredita-se que a organização dessas atividades à luz da seqüência das fases do ciclo tenha facilitado a percepção dos alunos quanto à recorrência dos aspectos estruturais no estudo das propriedades em questão, facilitando o processo de aprendizagem.

5. CONCLUSÕES

Mediante os resultados apresentados e discutidos anteriormente, pode-se concluir que a intervenção foi bastante significativa, visto que os alunos passaram a considerar alguns aspectos estruturais que determinam as propriedades elétricas, térmicas e óticas dos materiais, implicando na sua melhor compreensão.

Os sistemas de construtos iniciais dos alunos já estavam razoavelmente estruturados com relação a essas propriedades. Contudo, ao final da intervenção foram observadas algumas alterações, que se referem à ampliação do número de construtos citados, bem como melhorias nas suas articulações.

Os maiores fatores de correlação obtidos foram entre o aspecto estrutural *tipo de ligação química* e as propriedades elétricas, térmicas e óticas, enquanto que os fatores de correlação mais baixos referem-se às articulações estabelecidas entre essas mesmas propriedades e os aspectos estruturais *arranjo dos átomos* e *grau de porosidade do material*.

A falta de uma compreensão mais ampla de modelos atômicos e estruturais da matéria consistiu na principal dificuldade encontrada pelos alunos ao tentarem estabelecer relações entre as propriedades elétricas, térmicas e óticas e os aspectos estruturais arranjo de átomos e grau de porosidade.

Por fim, tem-se que a utilização da linha de pensamento complexa em conjunto com a Teoria dos Construtos Pessoais para a concepção e realização deste trabalho de pesquisa foi fundamental para que se conseguisse atingir todos os objetivos propostos inicialmente.

REFERÊNCIAS

AGUIAR Jr. O. O papel do construtivismo na pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, RS, v. 3, n. 2, ago. 1998.

BASTOS, H. F. B. N. *Changing teachers' practice: towards constructivist methodology of physics teacher*. Tese (Doutorado em Ensino de Física). University of Surrey, Inglaterra, 1992. 420f.

_____. *A Teoria do Construto Pessoal*. Recife: UFRPE – Departamento de Educação, 1998.

BRANDON, D.; KAPLAN, W.D. *Microstructural Characterization of Materials*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1999.

BRASIL. *LDB: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*, Lei nº 9394, 20 de Dezembro de 1996.

_____. 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.

_____. 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.

CAPRA, F. *O Ponto de Mutação*. 24ª ed. São Paulo: Cultrix, 2003.

_____. *A Teia da Vida*. 3ª ed. São Paulo: Cultrix, 2003, **A**.

_____. *O Tao da Física*. 22ª ed. São Paulo: Cultrix, 2004.

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. *As Faces da Física - vol. único*. 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2002.

CARVALHO, A. Construção do conhecimento e ensino de ciências In: *Em Aberto*, Brasília, ano II (55)9-16, jul/set., 1992.

CARVALHO, A. (org) *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

CHAVES, A.; SHELLARD, R. C. *Física para o Brasil: pensando o futuro*. Sociedade Brasileira de Física, p. 248, 2005.

CLONINGER, S. *Teorias da Personalidade*. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

COLINVAUX, D. (org) *Modelos e Educação em Ciências*. Rio de Janeiro: Ravil, 1998.

DESCARTES, R. *Discurso do Método*. 2ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

DRIVER, R. The Construction of Scientific Knowledge in School Classrooms In: Millar, R. (ed.) *Doing Science: Images of Science in Science Education*. London: The Falmer Press, 1989.

EISBERG, R.; RESNICK, R. *Física Quântica*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

GASPAR, A. *Física vol.2* 1ª ed. São Paulo: Ática, 2000.

GIORDAN, A.; VECCHI, G. *As Origens do Saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos*. 2ª ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

GOMES, L. A. *Organização de um Curso Introdutório de Química com base nos temas "Propriedades Específicas dos Materiais" e "Transformações Químicas"*. Monografia (Curso de Especialização em Ensino das Ciências) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 1997.

REF *Física 2: Física Térmica / Óptica*. 4 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998.

HALL, C.; LINDZEY, G.; CAMPBELL, J.B. *Teorias da Personalidade*. 4ª ed. Porto Alegre: ArtMed Editora, 2000.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física Vol.3.* 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.

_____ *Fundamentos de Física Vol.4.* 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.

KELLY, G. A. *A theory of personality: The psychology of personal constructs.* New York: W. W. Norton & Cia., 1963.

_____ A brief introduction to personal construct theory. In Bannister, D. (ed), *Perspectives in personal constructive theory.* London: Academic Press, pp.1/29, 1970.

_____ *The Psychology of Personal Constructs.* New York: Norton, 1977.

LABURÚ, C. Construção de Conhecimentos: tendências para o ensino de Ciências. *Em Aberto*, Brasília, ano 11, n. 55, jul/set, 1992.

LANDFIELD, A. W., LEITNER, L. M. The psychology of the unknown. In D. Bannister (Ed.), *New Perspectives in Personal Construct Theory.* London: Academic Press, pp. 1-20, 1980.

LIMA, M. E. C., AGUIAR JR., O. G., BRAGA, S. A. *Aprender Ciências - Um mundo de materiais.* 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2004.

MAHER, B. *Clinical Psychology and Personality: The Selected Papers of George Kelly.* New York, Wiley, 1969.

MARIOTTI, H. *As Paixões do Ego – Complexidade, Política e Solidariedade.* 2ª ed. São Paulo: Palas Athena, 2002.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Curso de física vol.2.* 5ª ed. São Paulo: Scipione, 2000.

MILLMAN, J.; HALKIAS, C. *Eletrônica vol.1- Dispositivos & Circuitos.* 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.

MINGUET, P. A. (org) *A Construção do Conhecimento na Educação*. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

MOREIRA, M. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

MORIN, E.; CIURANA, E. R.; MOTTA, R. D. *Educar na Era Planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem pelo erro e incerteza humana*. São Paulo: Cortez Editora; Brasília, DF: UNESCO, 2003.

MORIN, E. *Introdução ao Pensamento Complexo*. Lisboa: Instituto Piaget, 2003.

_____ *Ciência com Consciência*. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003 **A**.

_____ *Os Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro*. 8ª ed. São Paulo: Cortez Editora; Brasília, DF: UNESCO, 2003 **B**.

OLIVEIRA, M. *Como fazer projetos, monografias, dissertações e teses*. Recife: Edições Bagaço, 2003.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N.G.; SOARES, P.A.T. *Os fundamentos da física vol.2: termologia, óptica e ondas*. 8ª ed. São Paulo: Moderna, 2003.

RODRIGUES, G. M. *A Abordagem do Conceito de Energia Através de Experimentos de Caráter Investigativo, numa Perspectiva Integradora*. 2005. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

RUSSELL, J. B. *Química Geral*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.

TAVARES, J.; ALARCÃO, I. *Psicologia do Desenvolvimento e da Aprendizagem*. Coimbra: Livraria Almedina, 1985.

VAN VLACK, L. H. *Princípios de Ciência dos Materiais* São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1973.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/ Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, SP, v.24, n.2, p. 87-96, jun. 2002.

VILLAS BÔAS, N.; DOCA, R.H.; BISCOULA, G.J. *Tópicos de Física vol.2: termologia, ondulatória e óptica*. 16^a ed. São Paulo: Saraiva, 2001.

ZUANON, A. C. A.; 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.

APÊNDICES

APÊNDICE A – MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A1

ALUNO A1 - PRÉ-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
liso	5	(1)	1	3	(1)	1	1	(2)	áspero
transparente	5	5	5	5	(1)	(1)	2	(5)	opaco
condutor elétrico	(1)	(2)	1	(5)	2	5	5	5	isolante elétrico
condutor térmico	(1)	(1)	1	5	(3)	5	5	4	isolante térmico
amorfo	5	5	(3)	3	(1)	1	1	(1)	cristalino
rígido	(1)	(1)	2	3	2	2	(5)	1	flexível
leve	(5)	5	3	1	(3)	2	(2)	4	pesado
brilhoso	(1)	(2)	1	5	3	3	3	(4)	fosco
não-poroso	(1)	1	1	5	(1)	1	1	(4)	poroso
ponto de fusão alto	(1)	2	3	-	(2)	3	(4)	-	ponto de fusão baixo
cortantes	1	(1)	2	5	(1)	3	(4)	2	não cortante
não oxida	(5)	(1)	(1)	4	1	2	2	4	oxida

ALUNO A1 - PÓS-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
condutor elétrico	(1)	(1)	2	5	(5)	5	5	5	isolante elétrico
opaco	(1)	1	1	1	(5)	5	4	(2)	transparente
condutor térmico	(1)	(1)	2	5	5	5	5	(4)	isolante térmico
cristalino	1	(1)	2	-	(5)	5	4	(2)	amorfo
lig. metálicas	(1)	(1)	2	5	5	(5)	5	5	lig. não metálicas
não poroso	1	1	(1)	5	(1)	1	1	(4)	poroso
rígido	1	(2)	1	2	1	(2)	(4)	1	flexível
não dilata	(4)	4	4	1	3	(5)	5	(3)	dilata
leve	(5)	4	4	(1)	3	2	1	(3)	pesado
bandas de en. superpostas	1	(1)	(2)	5	(4)	5	5	5	bandas separadas
ponto de fusão alto	1	(2)	2	-	(2)	(4)	5	3	ponto de fusão baixo



- Indica a tríade escolhida pelo pesquisador em cada rodada

APÊNDICE B – MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A2

ALUNO A2 - PRÉ-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
condutor elétrico	(1)	(1)	1	3	(4)	4	5	2	isolante elétrico
leve	(1)	2	(5)	4	(5)	5	5	3	pesado
transparente	5	(5)	3	5	(1)	(2)	2	5	opaco
ponto de fusão baixo	(5)	4	(3)	2	5	(1)	1	5	ponto de fusão alto
metálico	(1)	(1)	1	5	5	5	5	(5)	não metálico
isolante térmico	5	(5)	4	(2)	(3)	3	3	1	condutor térmico
não maleável	(5)	5	5	(1)	(3)	2	2	4	maleável
permeável	5	(5)	4	(1)	5	3	3	(2)	impermeável
caro \$\$	(4)	(2)	(1)	5	4	5	5	3	barato \$\$
frágil	(3)	(5)	4	2	1	(1)	2	1	dúctil
magnético	2	(3)	(1)	5	(5)	5	5	4	diamagnético
baixa durabilidade	4	(3)	4	1	(5)	3	2	(3)	alta durabilidade

ALUNO A2 - PÓS-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
opaco	(1)	(1)	1	3	(5)	4	4	2	transparentes
isolante elétrico	5	(5)	4	3	(1)	2	2	(3)	condutor elétrico
não poroso	4	(4)	(3)	5	1	2	2	(5)	poroso
ponto de fusão alto	(1)	4	(4)	-	3	5	5	(2)	ponto de fusão baixo
lig. metálicas	(1)	(2)	3	(5)	5	5	5	5	lig. metálicas
condutor térmico	1	(2)	(3)	(5)	4	4	4	5	isolante térmico
brilhoso	(1)	2	3	5	(4)	4	4	(5)	fosco
pesado	(1)	(2)	5	4	3	(5)	5	3	leve
cristalino	1	(1)	1	4	5	5	(5)	(3)	amorfo
frágil	4	(4)	3	2	(1)	4	5	(1)	dúctil
oxida	(1)	4	(2)	5	5	(5)	5	5	não oxida

○ - Indica a tríade escolhida pelo pesquisador em cada rodada

APÊNDICE C – MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A3

ALUNO A3 - PRÉ-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
condutor elétrico	(2)	(1)	2	4	(5)	5	4	4	isolante elétrico
transparente	(5)	5	5	5	(1)	(2)	2	5	opaco
ponto de fusão baixo	(4)	4	4	3	(4)	2	1	(5)	ponto de fusão alto
metálico	(1)	1	(1)	(5)	4	5	5	4	não metálico
pesado	(1)	(2)	4	5	3	5	5	(4)	leve
frágil	5	(5)	5	(1)	3	1	1	(2)	dúctil
dilata pouco	5	(5)	5	(1)	(2)	1	1	3	dilata muito
não poroso	2	1	1	(5)	(1)	(1)	2	4	poroso
magnético	(1)	3	(2)	(5)	5	5	5	4	diamagnético
condutor térmico	(1)	1	(1)	5	4	4	4	(5)	isolante térmico
rígido	1	2	2	3	(1)	(4)	5	(1)	flexível
oxida	1	(3)	(3)	4	(5)	5	5	4	não oxida

ALUNO A3 - PÓS-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
condutor elétrico	(1)	(1)	3	4	(5)	5	5	5	isolante elétrico
condutor térmico	(1)	1	(3)	(4)	5	5	5	4	isolante térmico
opaco	1	1	1	(1)	(5)	4	4	(1)	transparente
não poroso	(1)	1	1	5	(1)	2	2	(4)	poroso
pesado	1	(1)	2	3	4	(5)	5	(3)	leve
lig. não metálicas	(5)	5	4	1	1	1	(1)	(1)	lig. metálicas
cristalino	1	(1)	1	(3)	5	4	4	(2)	amorfo
dilata	(1)	1	(3)	5	4	4	4	(5)	não dilata
frágil	5	5	5	3	(1)	4	(5)	(1)	dúctil
oxida	(1)	(4)	4	5	5	5	5	(5)	não oxida

○ - Indica a tríade escolhida pelo pesquisador em cada rodada

APÊNDICE D – MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A4

ALUNO A4 - PRÉ-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
metálico	(1)	(2)	3	5	(5)	5	5	4	não metálico
condutor elétrico	1	(2)	(3)	5	5	(5)	5	4	isolante elétrico
substância composta	(4)	5	3	2	(1)	1	1	(1)	substância simples
transparente	4	(4)	4	4	(1)	(2)	3	4	opaco
fosco	2	(5)	1	(3)	1	1	1	(4)	brilhoso
inorgânico	(1)	(1)	1	(5)	2	3	4	1	orgânico
não comburente	(1)	1	2	(3)	1	4	5	(1)	comburente
oxida	(1)	(1)	1	1	5	(4)	3	2	não oxida
usados em janela	2	(3)	5	1	(5)	4	5	(5)	não usados em janela
isolante térmico	(5)	4	(3)	1	(2)	1	1	1	condutor térmico
escuro	(2)	(5)	1	4	5	5	5	(3)	claro
usados em circuitos elétr	3	(2)	(1)	5	(5)	5	5	4	não us. circ. elétricos

ALUNO A4 - PÓS-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
condutor térmico	(2)	(1)	3	5	(5)	5	5	4	isolante térmico
isolante elétrico	(5)	4	3	1	(1)	1	1	(2)	condutor elétrico
opaco	1	1	1	(1)	(5)	4	3	(1)	transparente
lig. metálicas	1	(2)	(3)	5	(4)	5	5	5	lig. não metálicas
brilhoso	3	(2)	1	5	(4)	5	5	(5)	fosco
não oxida	(5)	4	3	(1)	1	1	1	(2)	oxida
inorgânico	(1)	(1)	1	(2)	1	4	3	1	orgânico
não comburente	2	2	(2)	(3)	(2)	4	5	2	comburente
rígido	(1)	1	1	4	1	3	(5)	(1)	flexível
não polímero	2	2	2	3	(2)	(4)	5	(2)	polímero

○ - Indica a tríade escolhida pelo pesquisador em cada rodada

APÊNDICE E – MATRIZES DE REPERTÓRIO DO ALUNO A5

ALUNO A5 - PRÉ-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
metálico	(1)	(2)	3	5	(5)	5	5	4	não metálico
transparente	(5)	5	5	5	(1)	(2)	2	5	opaco
condutor elétrico	(1)	(1)	2	(5)	5	5	5	3	isolante elétrico
c/ alumínio	5	(1)	3	(5)	5	5	5	(2)	s/ alumínio
pesado	(1)	4	(5)	4	(2)	5	5	3	leve
frágil	5	(5)	3	5	(1)	3	3	(2)	dúctil
brilhoso	4	(1)	(1)	5	5	5	5	(4)	fosco
não poroso	(1)	1	1	(5)	(1)	1	1	4	poroso
subst. Composta	5	(5)	3	(3)	(2)	2	1	3	substância simples
magnético	(1)	(2)	3	5	4	4	4	(5)	diamagnético
isolante térmico	5	5	(4)	(1)	(2)	2	1	3	cond. Térmico
pto. fusão alto	(3)	3	3	-	(2)	5	5	(1)	pto. fusão baixo

ALUNO A5 - PÓS-TESTE

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
lig. metálicas	(1)	(1)	2	5	(5)	5	5	5	lig. não metálicas
condutor elétrico	(1)	(1)	2	5	5	5	5	(5)	isolante elétrico
opaco	(1)	1	(1)	1	5	(5)	4	2	transparente
condutor térmico	1	(1)	(1)	4	5	4	4	(4)	isolante térmico
diamagnéticos	(5)	5	4	1	(1)	1	1	(1)	magnético
pto. fusão alto	4	4	(4)	-	(1)	5	5	(1)	pto. fusão baixo
cristalino	1	(1)	1	4	(5)	4	4	(1)	amorfo
leve	5	2	(1)	2	4	1	(1)	(4)	pesado
frágil	5	(5)	(1)	5	(1)	2	5	2	dúctil

○ - Indica a tríade escolhida pelo pesquisador em cada rodada

ANEXOS

ANEXO A – ARTIGO SUBMETIDO PARA ANÁLISE PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA CIÊNCIA & EDUCAÇÃO

O USO DA MATRIZ DE REPERTÓRIO PARA INVESTIGAR OS SISTEMAS DE CONSTRUTOS DE LICENCIANDOS EM FÍSICA SOBRE PROPRIEDADES DE MATERIAIS

RESUMO

As propriedades macroscópicas de materiais 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. Assim, este trabalho teve como objetivo investigar os sistemas de construtos de um grupo de licenciandos de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco de modo a identificar as principais dificuldades encontradas por eles e as eventuais modificações nos seus sistemas de construtos, ao participar de uma intervenção fundamentada na Teoria dos Construtos Pessoais. A técnica da matriz de repertório foi utilizada como ferramenta para o mapeamento dos sistemas de construtos. Os resultados indicaram que houve uma ampliação no número de construtos e um aumento nos fatores de correlação estabelecidos entre os aspectos estruturais e as propriedades elétricas, térmicas e ópticas, o que significa que os alunos adquiriram uma maior compreensão acerca dessas propriedades. Com relação às dificuldades, percebeu-se que elas estão relacionadas ao entendimento dos modelos utilizados para descrever os aspectos estruturais na matéria.

Palavras-chave: propriedades da matéria, Teoria dos Construtos Pessoais, matriz de repertório.

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 had as objective to investigate the systems of constructs of a group of licenciates in Physics of Universidade Federal Rural de Pernambuco in order to identify their main difficulties and the eventual modifications in their systems of constructs, by participating of an intervention based on the Theory of the Personal Constructs. The technique of the repertory matrix was used as tool for the mapping of the systems of constructs. The results had indicated a magnifying in the number of construtos and an increase in the correlation factors established between the structural aspects and the electric, thermal and optical properties. This means that the pupils had improved their knowledge about these properties. Concerning to the difficulties, most of them were related to the understanding of the models used to describe the structural aspects of the matter.

Keywords: matter properties, Personal Constructs Theory, repertory grid

INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios dos educadores é entender os mecanismos através dos quais efetuam-se as alterações cognitivas durante o processo de aprendizagem e, no sentido de vencer esse desafio, diversas pesquisas na área de ensino das ciências têm abordado esse tema nos últimos anos. Visando a melhor compreensão desses processos cognitivos, muitos desses trabalhos focalizam pontos fundamentais como a mudança conceitual, a hierarquização dos conceitos ou o processo de construção do conhecimento. A compreensão dos processos cognitivos adquire ainda maior importância em situações de aprendizagem que demandam abstrações freqüentes, como aquelas em que o objeto de estudo é inacessível diretamente aos nossos sentidos.

Situações de aprendizagem nas quais os alunos precisam trabalhar com o abstrato são freqüentes no ensino das ciências em geral, e em particular no ensino das propriedades da matéria, objeto de estudo deste trabalho. Os aspectos estruturais que determinam essas propriedades, assim como os fenômenos diretamente relacionados a eles, estão na escala micrométrica ou nanométrica, escapando do alcance de nossa visão, audição ou tato. 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.

Visando orientar os professores no sentido de vencer esses desafios, os PCN+ (BRASIL, 2002) apresentam uma unidade temática que recomenda o entendimento das propriedades da matéria a partir de seus aspectos estruturais, propondo o uso de modelos microscópicos para o estudo desses aspectos. Alguns pesquisadores têm publicado trabalhos desenvolvendo abordagens que contemplem as especificidades desse tema, como Lima (2004).

Dessa forma, uma prática pedagógica que procure investigar e compreender os processos cognitivos dos alunos requer uma fundamentação teórica que contemple suas especificidades. A Teoria dos Construtos Pessoais (TCP) de George Kelly atende a esses requisitos e tem fundamentado importantes trabalhos de pesquisa no âmbito educacional, como em Bastos (1992). Apesar de ter sido desenvolvida para fins clínicos, a TCP mostrou-se muito adequada aos fins educacionais, embasando um número crescente de trabalhos de pesquisa nessa área (ROCHA, 2005) (RODRIGUES, 2005) (FERREIRA, 2005).

A TEORIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS (TCP)

A TCP é uma teoria cognitiva da personalidade que foi desenvolvida por George Kelly em meados da década de 50 e que tem como pressuposto filosófico básico o alternativismo construtivo. Trata-se de uma teoria baseada em uma visão ativa da construção da realidade e do conhecimento. Dessa forma “o conhecimento é construído pelo indivíduo em função dos significados atribuídos por ele à realidade e tem relação direta com a sua maneira de percebê-la e interpretá-la” (KELLY, 1963, p. 38).

De acordo com essa perspectiva o indivíduo busca, então, representar o mundo exterior da melhor forma possível, com o intuito de prever eficientemente os eventos nos quais encontra-se envolvido. Esta representação é feita através de padrões, criados com o objetivo de reproduzir os diversos aspectos do universo real, sendo estes padrões sujeitos a revisões sempre que necessário, visando uma melhor adequação à realidade vivenciada. Estes padrões foram chamados de construtos, e são os instrumentos através dos quais os indivíduos enxergam o mundo e tentam compreendê-lo da melhor maneira possível (KELLY, 1963).

Os construtos são os elementos básicos dos sistemas antecipatórios que orientam o comportamento pessoal frente às várias situações enfrentadas no cotidiano; a eficiência destes sistemas na previsão de eventos depende fundamentalmente da coerência dos diversos construtos edificados pelo indivíduo. Os construtos são testados continuamente à medida que vão sendo usados em tais previsões, sendo passíveis de mudanças conceituais ou de natureza organizacional. O caráter dinâmico dos construtos pessoais, e conseqüentemente dos sistemas individuais de construção, é o que fundamenta a capacidade de aprendizagem continuada dos seres vivos (HALL et al., 2000).

A TCP assume que a estrutura do sistema de construtos de todo indivíduo é singular, ou seja, que cada pessoa constrói e organiza de maneira única seu sistema antecipatório, apesar de apresentar aspectos em comum com os sistemas de construtos de outros indivíduos. A importância desse aspecto foi logo percebida pelos pesquisadores da área educacional e assim, essa teoria extrapolou o âmbito da psicologia sendo atualmente cada vez mais utilizada para investigar mecanismos de ensino e aprendizagem. Por exemplo, ao investigar o sistema de construtos de seus alunos, o professor pode vir a redirecionar sua prática pedagógica, orientado por este diagnóstico (MINGUET, 1998).

Contudo, é fundamental que pesquisador ou o professor disponham de uma técnica eficiente para explorar e avaliar o sistema cognitivo do aluno. Assim torna-se possível analisar as relações que o aluno consegue estabelecer entre os diversos elementos envolvidos no processo em questão, avaliando inclusive quaisquer mudanças nesta rede de relações. Kelly também desenvolveu uma ferramenta com este intuito, o teste da matriz de repertório (ou rep-teste), e embora ele tenha desenvolvido esta técnica para investigar os sistemas de construtos de seus pacientes, ou seja, tendo em vista aplicações clínicas, estudos mostram que este teste pode ser utilizado com sucesso para diagnosticar alterações nos sistemas antecipatórios decorrentes de experiências educacionais (MINGUET, 1998).

Assim, a técnica da matriz de repertório é um instrumento de mensuração que permite avaliar os construtos das pessoas e tem como finalidade explorar as relações entre as construções do indivíduo. Através dessa técnica é possível delinear o sistema de construção do indivíduo, verificar as mudanças ou ampliações ocorridas, em decorrência da experiência, bem como as relações existentes entre os elementos e os construtos utilizados (CLONINGER, 1999).

Diante do exposto, tem-se que o objetivo desse trabalho é investigar os sistemas de construtos de licenciandos em Física, através do uso de matrizes de repertório, durante sua participação em uma intervenção que considera aspectos estruturais da matéria como determinantes das propriedades dos materiais.

METODOLOGIA

Esta pesquisa é parte de uma dissertação de mestrado defendida em fevereiro de 2006, e foi realizada com 30 alunos do sétimo período 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. Visando abordar as propriedades da matéria a partir de uma perspectiva que destacasse suas relações com os aspectos estruturais dos diferentes materiais, foi concebida uma seqüência didática, fundamentada na TCP e descrita a seguir.

Inicialmente, foi aplicado um questionário que teve como objetivo diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos em relação aos diferentes tipos de materiais, suas propriedades e os aspectos estruturais a elas relacionados. Nesse primeiro momento, foram escolhidos cinco alunos para participar de encontros individuais e com os quais foi aplicado o

teste da matriz de repertório a fim de investigar seus sistemas de construção. Após essas etapas diagnósticas, foram realizadas atividades práticas em sala, visando despertar os alunos para refletir sobre propriedades elétricas, térmicas e óticas da matéria. Essas atividades foram desenvolvidas ao longo de três encontros dentro do horário da disciplina, num intervalo de 15 dias e com participação de toda a turma.

Em cada encontro foi tratada uma classe de propriedades. Apesar dos encontros tratarem de propriedades físicas distintas manteve-se a mesma seqüência de procedimentos. A utilização do mesmo procedimento em todos os encontros foi fundamentada no conceito de temas recorrentes (KELLY, 1963) e teve como objetivo facilitar a percepção dos alunos sobre os aspectos comuns entre eles, que neste caso são as características estruturais dos materiais (tipo de ligação, estrutura atômica e arranjos atômicos) que estão profundamente relacionados com as diferentes propriedades tratadas.

Após os encontros envolvendo toda a turma, os cinco alunos escolhidos anteriormente foram submetidos mais uma vez ao teste da matriz de repertório, com o intuito de identificar possíveis alterações em seus sistemas de construção, decorrentes das experiências vivenciadas durante a intervenção. Na figura 1 observa-se um fluxograma que ilustra as atividades desenvolvidas ao longo da intervenção.



Figura 1: Fluxograma que apresenta as atividades desenvolvidas ao longo da intervenção didática

Visando um melhor entendimento do procedimento, faz-se necessária uma explanação mais detalhada sobre o teste da matriz de repertório. Para dar início à construção da matriz eram apresentados aos alunos oito blocos de diferentes materiais: ferro, alumínio, silício, vidro,

plástico, acrílico, madeira, e cerâmica. O pesquisador escolhia então 03 (três) destes materiais e pedia ao aluno que citasse uma propriedade ou característica que fosse comum a dois destes materiais e que os diferenciasse do terceiro. Desta forma eram estabelecidos os dois pólos dicotômicos (pólos A e B) relacionados a um construto.

Em seguida o pesquisador pedia que o aluno situasse todos os materiais numa escala de aproximação em relação aos pólos definidos anteriormente; esta escala foi numerada de 1 (um) a 5 (cinco), sendo a pontuação 1 referente ao pólo que representou a semelhança entre dois dos materiais escolhidos pelo pesquisador (pólo A) e a pontuação 5 ao pólo que representou a distinção do terceiro material em relação aos outros dois (pólo B). O procedimento era repetido diversas vezes para várias tríades de materiais até que se tivesse um número razoável de construtos. A figura 2 traz uma parte da grade que foi montada a partir da repetição desses procedimentos com o aluno A1, no pré-teste.

Como a partir dessa grade há possibilidade de estabelecer inúmeras correlações entre os elementos envolvidos, recorreu-se a análises estatísticas de forma a, não apenas otimizar as análises, mas garantir que elas sejam realizadas de modo sistemático para que se possa inferir com maior segurança acerca do sistema de construção dos alunos, monitorando quaisquer alterações que possam ser causadas pela intervenção didática.

Pólo A (01)	Ferro	Alumínio	Silício	Madeira	Vidro	Acrílico	Plástico	Cerâmica	Pólo B (05)
liso	5	(1)	1	3	(1)	1	1	(2)	áspero
transparente	5	5	5	5	(1)	(1)	2	(5)	opaco
condutor elétrico	(1)	(2)	1	(5)	2	5	5	5	isolante elétrico
condutor térmico	(1)	(1)	1	5	(3)	5	5	4	isolante térmico
amorfo	5	5	(3)	3	(1)	1	1	(1)	cristalino
○ indica a tríade de materiais em cada rodada									

Figura 2 – Parte da matriz de repertório construída pelo aluno 01 antes do início da intervenção didática.

As análises quantitativas das matrizes foram realizadas a partir do cálculo de fatores de correlação entre os construtos propostos. Para efetuar este cálculo considerou-se a escala numerada de 1 (um) a 5 (cinco), utilizada pelos alunos para classificar cada material em relação aos pólos definidos para cada construto.

Para exemplificar, podemos considerar uma matriz de repertório hipotética, ilustrada na figura 3. Neste exemplo têm-se 04 (quatro) materiais diferentes, para os quais foram propostos 02 (dois) construtos: condutividade elétrica (C_1) e condutividade térmica (C_2).

		Pólo A (01)	Alumínio	Cerâmica	Ferro	Madeira	Pólo B (05)
			(A)	(B)	(C)	(D)	
	C ₁	condutor elétrico	2	5	1	5	isolante elétrico
Construtos	C ₂	condutor térmico	1	4	1	5	isolante térmico

Figura 3 – Matriz exemplo.

Para calcular a correlação entre os construtos C₁ e C₂, deve-se observar que os dois pólos definidos como A (condutor elétrico e condutor térmico) estão diretamente relacionados, do mesmo modo que os pólos definidos como B (isolante elétrico e isolante térmico).

Desta forma, quanto menor a diferença entre as pontuações dadas para dois materiais diferentes, maior será o percentual de coincidência entre estes dois construtos (RODRIGUES, 2005). Na Tabela 1 estão listados os valores de percentuais de coincidência adotados, em função da diferença entre as pontuações atribuídas para um mesmo material.

Tabela 1 - Percentuais de coincidência para cálculo da correlação.

Diferença entre as pontuações dadas para determinado material	0	1	2	3	4
Percentual de coincidência para este material	100 %	75 %	50 %	25 %	0 %

Esta relação pode ser matematicamente expressa pela equação representada a seguir, onde D é o módulo da diferença entre as duas pontuações e F é o fator de coincidência correspondente ($0 \leq F \leq 1$) (RODRIGUES, 2005).

$$F = 1 - 0,25.D$$

Para efetuar o cálculo do fator de correlação entre os dois construtos citados anteriormente (C₁ e C₂) na matriz exemplo, as pontuações correspondentes são transferidas para uma planilha Excel, onde se calcula as diferenças entre as pontuações dadas para cada material e os respectivos fatores de coincidência, através da relação apresentada ($F=1-0,25.D$). O fator de correlação será adotado como sendo a média aritmética dos fatores de coincidência calculados desta forma (RODRIGUES, 2005). A Tabela 2, apresentada a seguir, ilustra o procedimento do cálculo do fator de correlação entre os dois construtos usados no exemplo.

Assim, tem-se que os construtos condutividade elétrica (C₁) e condutividade térmica (C₂) estão bem articulados na matriz de repertório exemplo, atingindo um fator de correlação de 87,5%, o que indica que o aluno apresentou em sua estrutura cognitiva um nível razoável de

articulação entre estes dois construtos, percebendo que em geral os corpos que são bons condutores elétricos também conduzem calor com certa facilidade.

Tabela 2: Cálculo do fator de correlação entre C_1 e C_2 da matriz exemplo.

		Elementos			
		(A)	(B)	(C)	(D)
Pontuações	C_1	2	5	1	5
	C_2	1	4	1	5
Diferenças (D)		1	1	0	0
Fatores de Coincidência (F)		0,75	0,75	1,00	1,00
Fator de Correlação entre C_1 e C_2 (Média dos valores de F)		0,875 (87,5%)			

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada inicialmente uma análise qualitativa de todas as matrizes, buscando identificar quais os construtos mais freqüentemente citados pelos alunos, quais os construtos citados nos pré-testes que se mantiveram nos pós-testes e quais os novos construtos citados após a intervenção. Esta primeira análise forneceu informações importantes sobre o processo de alteração dos sistemas de construção dos alunos, além de permitir escolher seis construtos para o cálculo dos fatores de correlação.

Foram selecionados aqueles mais freqüentemente citados e que estavam diretamente relacionados às propriedades elétricas, térmicas e óticas. A tabela 3 traz os seis construtos escolhidos e as letras utilizadas para representá-los. Os construtos relacionados às propriedades foram designados pelas letras iniciais do alfabeto (A, B e C), enquanto os construtos relacionados aos aspectos estruturais foram designados pelas letras finais do alfabeto (X, Y e Z).

Tabela 3: Lista dos construtos mais freqüentes nos testes da matriz de repertório

PROPRIEDADES / CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS		ASPECTOS ESTRUTURAIS	
A	condutividade elétrica	X	caráter metálico das ligações
B	condutividade térmica	Y	arranjo dos átomos
C	transparência	Z	grau de porosidade

A tabela 4, apresentada a seguir, mostra todos os fatores de correlação calculados para os construtos listados anteriormente. Foram calculados os fatores de correlação entre as

propriedades [AB, AC e BC], bem como entre os aspectos estruturais e cada uma das propriedades escolhidas [AX, BX e CX], [AY, BY e CY] e [AZ, BZ e CZ].

Tabela 4: Fatores de correlação calculados

Fatores	Aluno A1		Aluno A2		Aluno A3		Aluno A4		Aluno A5	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
AB	91%	97%	72%	78%	81%	97%	94%	94%	94%	84%
AC	71%	92%	83%	96%	79%	83%	79%	75%	88%	92%
BC	88%	92%	79%	83%	96%	83%	75%	75%	88%	96%
AX	-	100%	78%	75%	84%	94%	100%	88%	91%	100%
BX	-	97%	75%	91%	91%	91%	94%	94%	84%	84%
CX	-	92%	83%	79%	88%	88%	79%	71%	79%	92%
AY	75%	75%	-	88%	-	75%	-	-	-	75%
BY	78%	78%	-	72%	-	78%	-	-	-	91%
CY	88%	96%	-	92%	-	100%	-	-	-	96%
AZ	90%	90%	-	45%	90%	80%	-	-	90%	-
BZ	100%	95%	-	75%	90%	85%	-	-	90%	-
CZ	90%	90%	-	85%	90%	95%	-	-	85%	-

Todos os cinco alunos citaram as propriedades *condutividade elétrica (A)*, *condutividade térmica (B)* e *transparência (C)*. Os campos em branco indicam que o aluno não citou o aspecto estrutural correspondente àqueles fatores de correlação. Visando a objetividade deste trabalho, a análise dos dados coletados através da técnica da matriz de repertório será detalhada para o Aluno A1. Análises similares foram realizadas para os demais alunos, e serão incorporadas às conclusões finais.

Como é possível observar na tabela 4, a média de todas as correlações calculadas para esse aluno fica acima dos 85%, já no pré-teste. Isso indica que esse aluno possui um sistema de construtos razoavelmente estruturado em relação a essas propriedades, considerando os aspectos estruturais, o que, segundo a TCP, contribui para o processo de aprendizagem desse tema (HALL, 2000)

Ainda analisando a tabela 4, é possível perceber que o aspecto estrutural *caráter metálico das ligações (X)*, que não havia sido citado no pré-teste, surgiu no pós-teste, tendo alcançado fatores de 100%, 97% e 92% ao ser relacionado às propriedades *condutividade elétrica (A)*, *condutividade térmica (B)* e *transparência (C)*, respectivamente. Embora o aluno não tenha listado este aspecto estrutural no pré-teste, ele o associa de forma mais coerente às três propriedades do que os aspectos *arranjo dos átomos (Y)* e *grau de porosidade (Z)*. O melhor desempenho do aluno em estabelecer relações entre o aspecto *caráter metálico das ligações*

(X) e as propriedades provavelmente deve-se ao fato de que este aspecto (X) é mais freqüentemente discutido pelos professores de Química e/ou Física do que os aspectos Y e Z, mesmo que geralmente associado de forma direta e exclusiva à propriedade *condutividade elétrica* (A).

Com respeito às correlações obtidas entre os aspectos estruturais que já haviam sido citados no pré-teste, *arranjo dos átomos* (Y) e *grau de porosidade* (Z), e as três propriedades em questão, não são percebidas grandes mudanças. Os fatores de correlação calculados no pré-teste para cada uma das combinações aspecto estrutural/ propriedade permanece no mesmo patamar, mesmo após a intervenção. Isto indica que o aluno apresenta dificuldade em se apropriar dos modelos atômicos e estruturais, bem como perceber que as propriedades não podem ser consideradas como sendo intrínsecas do tipo de átomo que compõe o material, mas são resultantes da combinação de vários aspectos, entre eles os aspectos estruturais.

Na análise das correlações entre as propriedades de *condutividade elétrica* (A), *condutividade térmica* (B) e *transparência* (C), percebe-se que todos os fatores aumentam no mínimo 5 pontos percentuais. Essa melhora nos fatores de correlação entre as propriedades é um reflexo das mudanças cognitivas operadas no sistema de construção do aluno, uma vez que as diversas conexões erigidas pelo aluno entre propriedades (A, B e C) e aspectos estruturais relevantes (X, Y e Z) provavelmente contribuíram para que as relações entre as propriedades A, B e C fossem fortalecidas em seu sistema de construção.

Fazendo uma referência à Teoria dos Construtos Pessoais, é muito provável que a intervenção didática tenha ampliado a permeabilidade de alguns construtos importantes para o melhor entendimento das propriedades dos materiais. Segundo Kelly (1963), um construto permeável seria aquele capaz de adequar-se a mudanças realizadas no sistema de construção do indivíduo, sobrevivendo a novas situações por ele vivenciadas. Alguns aspectos estruturais, como o *caráter metálico das ligações*, freqüentemente (e equivocadamente) são relacionados apenas a determinada propriedade do material (como a condutividade elétrica, neste exemplo!). Ao perceber que esses construtos estão diretamente relacionados a outras propriedades, como a condutividade térmica e a transparência, o aluno estaria aumentando a permeabilidade desses construtos.

CONCLUSÕES

A análise das matrizes de repertório dos licenciandos em Física permitiu concluir que:

- Inicialmente, eles já tinham sistemas de construtos relativamente bem estruturados com relação às propriedades abordadas;
- Ampliaram seus sistemas de construtos em função da intervenção, no sentido de considerar os aspectos estruturais;
- De todas as correlações calculadas entre os aspectos estruturais e as propriedades macroscópicas, aquelas envolvendo o aspecto “*tipo de ligação química*” foram as que alcançaram os maiores valores;
- Eles apresentaram dificuldades em compreender os modelos utilizados para descrever os possíveis arranjos atômicos dos materiais estudados, bem como os modelos usados para descrever o grau de porosidade de sua estrutura.

A técnica da matriz de repertório confirmou-se como uma ferramenta versátil, permitindo um mapeamento qualitativo e quantitativo das alterações ocorridas nos sistemas de construtos dos alunos. Além disso, ela extrapola sua função de instrumento para coleta de dados, contribuindo de maneira significativa para os processos de ensino-aprendizagem:

- Pode ser utilizada pelo professor para diagnósticos e redirecionamento de sua prática pedagógica. A partir dos resultados obtidos por esse teste, é possível tomar decisões sobre as atividades a serem desenvolvidas;
- Pode ainda auxiliar o aluno em processos de metacognição, já que no momento em que estão construindo a matriz de repertório, os alunos se confrontam com suas próprias dificuldades. Durante esse processo o aluno começa a perceber suas lacunas conceituais, sentindo a necessidade de buscar o conhecimento.

REFERÊNCIAS

BASTOS, H. F. B. N. **Changing teachers' practice: towards constructivist methodology of physics teacher**. Tese (Doutorado em Ensino de Física). University of Surrey, Inglaterra, 1992. 420f.

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.

CLONINGER, S. **Teorias da Personalidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

FERREIRA, N. O. **Utilizando o Ciclo da Experiência de Kelly para investigar a Compreensão do Comportamento Dual da Luz**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

HALL, C.; LINDZEY, G.; CAMPBELL, J.B. **Teorias da Personalidade**. 4^a ed. Porto Alegre: ArtMed Editora, 2000.

KELLY, G. **A theory of personality: The psychology of personal constructs**. New York: W. W. Norton & Cia., 1963.

LIMA, M. E. C., AGUIAR JR., O. G., BRAGA, S. A. **Aprender Ciências - Um mundo de materiais**. 2^a ed. Belo Horizonte: UFMG, 2004.

MINGUET, P. A. (org) **A Construção do Conhecimento na Educação**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ROCHA, L. G. da. **A Revisão Construtiva na Concepção de Movimento Retilíneo Uniforme, da Aristotélica para a Galilaica**. 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

RODRIGUES, G. M. **A Abordagem do Conceito de Energia Através de Experimentos de Caráter Investigativo, numa Perspectiva Integradora**. 2005. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

ZUANON, A. C. A.; 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.

ANEXO B – NORMAS PARA PUBLICAÇÃO DE ARTIGOS NA REVISTA CIÊNCIA E EDUCAÇÃO

Artigos a serem submetidos à publicação devem ser encaminhados à Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências, aos cuidados do editor, via e-mail. Devem ser resultado de pesquisas originais ou trabalhos de revisão bibliográfica desenvolvidos pelo(s) autor(es) em Ensino de Ciências ou áreas afins.

O artigo deve ser entregue acompanhado de uma prova impressa e um disquete (preferencialmente em Word 6.0 e obrigatoriamente salvo em extensão .DOC e .RTF). Pedese que seja formatado com fonte Times New Roman, tamanho 12, espaçamento 1,5, com extensão média de 12 páginas (incluindo as referências bibliográficas), sem qualquer preocupação com projeto gráfico ou paginação, e as páginas devidamente numeradas. A identificação do(s) autor(es) deve ser feita no início do artigo, incluindo os seus créditos acadêmicos (observar o formato na revista). Gráficos, tabelas, mapas, ilustrações etc. devem ser entregues em arquivos separados, com claras indicações dos locais onde devem ser inseridos. Marcas, logotipos, fotos, desenhos e similares terão que ser fornecidos pelo(s) autor(es) com qualidade para reprodução gráfica (arquivos eletrônicos devem ter no mínimo 240 DPI). A responsabilidade por erros gramaticais é exclusivamente do(s) autor(es), sendo critério determinante para a publicação do material.

A bibliografia deve se restringir às obras citadas no corpo do artigo e deverá seguir rigorosamente as normas da ABNT (NBR 6023 – Agosto 2002), com especial atenção ao recurso tipográfico utilizado para destaque dos elementos (títulos) que deverá ser em negrito e as referências deverão ser alinhadas somente à margem esquerda do documento em espaço simples e separadas entre si por espaço duplo. O artigo deve ser acompanhado de resumo e abstract (e respectivos unitermos e keywords).

Fonte: <http://www.fc.unesp.br/pos/revista/normas.htm>

**ANEXO C – ARTIGO ACEITO PARA APRESENTAÇÃO NO V
ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM
CIÊNCIAS – ENPEC – REALIZADO EM NOVEMBRO DE 2005**

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

() PÔSTER OU (X) COMUNICAÇÃO ORAL

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 também 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 didática 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 mais 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 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 predizer 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.

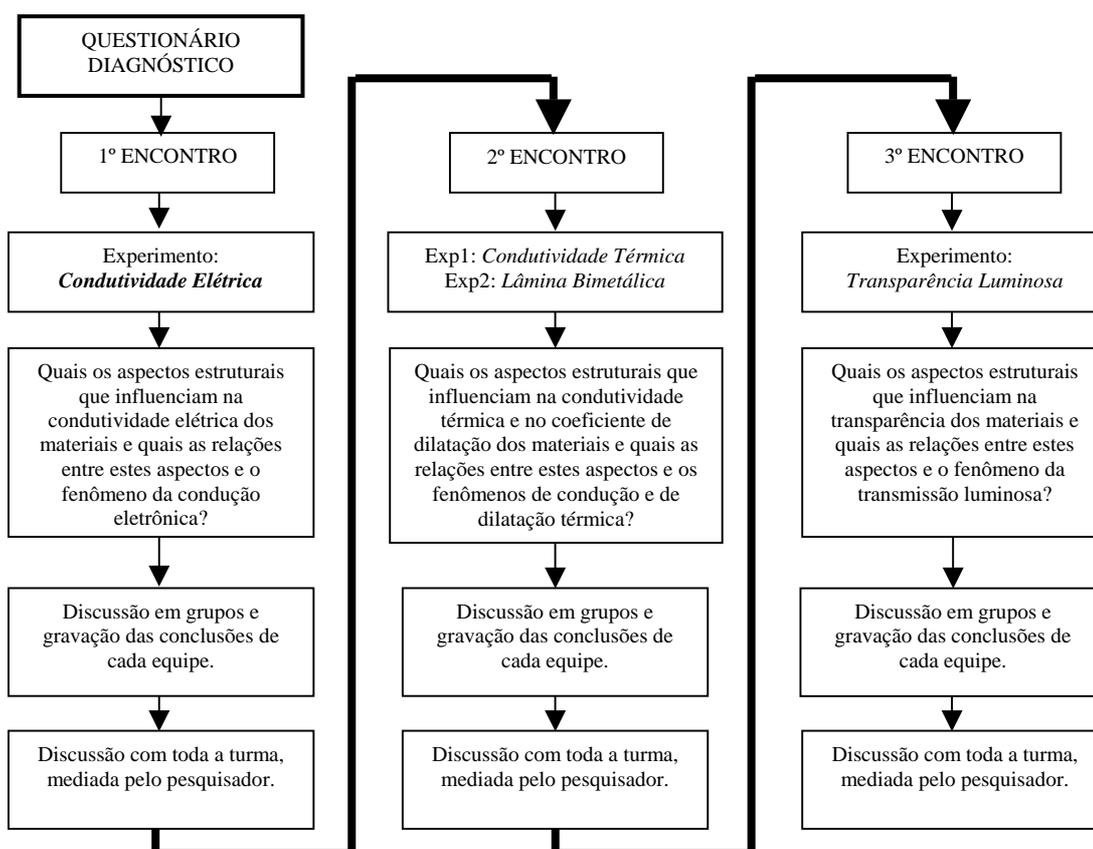


Figura 1: Fluxograma que mostra as atividades desenvolvidas ao longo dos três encontros da intervenção

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.

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 óticas 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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” (equivoco 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 atômico 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.