
O ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES SOBRE A NATUREZA DA LUZ EM UM CURRÍCULO RECURSIVO⁺*

Geide Rosa Coelho

Doutorando em Educação da Faculdade de Educação – UFMG

Oto Borges¹

Colégio Técnico – UFMG

Belo Horizonte – MG

Resumo

Relatamos um estudo sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes no campo da óptica e física moderna (natureza da luz) em um ambiente curricular no qual os conteúdos são organizados de forma recursiva e em espiral. Investigamos: (i) a mudança no entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz, ao longo da terceira série do Ensino Médio e (ii) o patamar de entendimento dos estudantes sobre essa temática, ao final da terceira série. Para avaliar o entendimento dos estudantes, desenvolvemos um instrumento qualitativo e criamos um sistema categórico hierarquizado constituído de cinco modelos sobre a natureza da luz. O instrumento qualitativo se baseou na aplicação de uma questão de explicitação sobre a natureza da luz. O mesmo instrumento foi aplicado em duas ocasiões distintas em um intervalo de 10 meses, o que proporcionou o acesso ao entendimento dos estudantes ao iniciar e ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo. Os resultados indicam que os estudantes possuíam um alto conhecimento prévio e as experiências que eles vivenciaram nesse período.

⁺ The understanding of the students about the nature of light in recursive curriculum

^{*} *Recebido: fevereiro de 2009.
Aceito: outubro de 2009.*

¹ Apoio CNPq

do produziram efeitos significativos para o progresso nos modelos dos estudantes, mas esses efeitos não são igualmente verificados em todas as turmas que fizeram parte da nossa análise. Em relação ao patamar de entendimento dos estudantes, ao encerrar a terceira série, a maior parte deles mobiliza os modelos eletromagnético, corpuscular (com a hipótese do quantum de energia) ou dual, mas com alguns estudantes apresentando inconsistências em suas explicações.

Palavras-chave: *Ensino de Física; currículo recursivo; desenvolvimento conceitual; entendimento sobre a natureza da luz.*

Abstract

We report an inquiry on the development of students' understanding about the nature of light. The study happened in a learning environment with a recursive and spiral Physics syllabus. We investigated the change in students' understanding about the nature of light during their 3rd year in High School, and the level of understanding about this subject achieved by students at the end of this year. To assess the students' understanding, we developed an open questionnaire form and a set of hierarchical categories, consisting of five different models about the nature of light. The questionnaire was used to assess the students' understanding at the beginning and at the end of the third level of the recursive curriculum. The results showed that students have a high level of prior knowledge, and also that the Physics learning they experienced had enhanced their understanding, despite the effects are not verified in all the Physics classes. By the end of the third year, most of the students explain the nature of light using or a corpuscular electromagnetic model or a dual electromagnetic model, but some students use these models with inconsistencies in their explanations.

Keywords: *Physics teaching; recursive curriculum; conceptual development; understanding about the nature of light.*

I. Introdução

Relatamos um estudo sobre o desenvolvimento do pensamento dos estudantes no campo da óptica e física moderna (natureza da luz) em um ambiente curricular no qual os conteúdos são organizados de forma recursiva e em espiral. Detivemo-nos a dois objetivos específicos ao realizar esse estudo: (i) investigar se o terceiro nível do currículo recursivo influencia no desenvolvimento conceitual dos estudantes e (ii) identificar o patamar de entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo. Partimos do princípio de que a retomada de um conteúdo em diferentes momentos, com boas situações de aprendizagem, pode promover maior entendimento dos conceitos envolvidos em um determinado campo de conhecimento. Para avaliar o entendimento dos estudantes sobre essa temática, desenvolvemos um instrumento qualitativo e criamos um sistema categórico baseado em modelos hierárquicos para analisar as suas respostas.

O estudo desenvolvido e relatado neste artigo faz parte de uma pesquisa instrumental, na qual desenvolvemos instrumentos qualitativos para acessar o entendimento conceitual dos estudantes (COELHO, 2007). Além do instrumento utilizado neste artigo, desenvolvemos outro que gerou dois estudos (COELHO; BORGES, 2006, 2008), nos quais acessamos o entendimento dos estudantes sobre a física envolvida no funcionamento de circuito elétrico simples. Esses instrumentos qualitativos permitem obter resultados de forma rápida e simples de ambientes reais de aprendizagem e possibilitam consorciar técnicas qualitativas e quantitativas para análise dos dados.

Pensamento dos estudantes sobre a natureza da luz

Existe na literatura um número considerável de trabalhos referentes ao pensamento dos estudantes sobre as propriedades da luz e a sua relação com o processo de visão, mas são incipientes os estudos que investigam o entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz. Dentre esses estudos, destacamos os trabalhos de Smit e Finegold (1995), Paulo e Moreira (2005) e Hubber (2006).

Smit e Finegold (1995) administraram um questionário para 16 universidades da África do Sul para 196 estudantes do último ano do curso de formação de futuros professores de ciências. Os autores tinham como objetivo investigar o conhecimento desses futuros professores sobre a origem e a natureza dos modelos e sua função no desenvolvimento da disciplina. Em relação aos modelos referentes à natureza da luz, 44% dos respondentes apresentavam concepções com caracte-

rísticas de ambos os modelos: corpuscular e ondulatório. Os autores identificaram três concepções que conciliam simultaneamente características da natureza corpuscular e ondulatória da luz: (a) A luz como pacote de onda (b) Luz como onda transversal propagando como partícula (fóton) e (c) Luz consiste de fótons com trajetórias mapeadas por onda transversal.

Paulo e Moreira (2005) investigaram o entendimento de 140 estudantes do Ensino Médio sobre o conceito de dualidade onda-partícula e suas compreensões sobre o aspecto dual dos objetos ou entidades quânticas. Foram utilizadas avaliações com questões objetivas, questões abertas e mapas conceituais como instrumento para acessar o entendimento dos estudantes. Cinco categorias² foram criadas para escala de atitudes a partir das respostas dos estudantes nas questões abertas: (a) Luz como partículas; (b) Partículas com movimento ondulatório ou partículas com propriedade de onda; (c) Onda-partícula; (d) ondas com comportamento de partícula e (e) Luz como ondas. Os autores apresentaram somente resultados parciais, mas eles indicam que os estudantes captaram a noção científica da dualidade onda-partícula, já que foi a concepção mais utilizada por eles, ao responderem as questões abertas.

Hubber (2006) relata um estudo longitudinal de três anos em uma escola secundária rural no norte central de Victória, na Austrália, na qual o tema óptica foi formalmente ensinado nesses três anos. Os achados dessa pesquisa foram baseados em um estudo de caso com 6 estudantes sobre seus entendimentos sobre a natureza da luz. O autor administrou três entrevistas semi-estruturadas e dois questionários, intercalando-os em diversos momentos da sequência de ensino. Os resultados desse trabalho apontam que, no início do curso de óptica, todos os estudantes concebiam os raios como constituintes da luz (modelo realístico³) e no final do curso ainda era possível encontrar estudantes apresentando essa concepção, mas havia prevalência de modelos mentais que consorciavam simultaneamente noções da natureza corpuscular e eletromagnética da luz. O autor chama esses modelos mentais de *modelos híbridos* sendo os mais frequentes nesse estudo, o modelo que reconhece o fóton como uma entidade de natureza ondulatória e corpuscular.

² Estas categorias foram identificadas através da análise de discussões desta temática na sala de aula.

³ O modelo realístico está associado à ideia descrita por Grosslight et al (1991) sobre o nível de entendimento de modelos científicos, no caso esse modelo corresponde ao nível 1 de entendimento por apresentar o modelo como uma simples cópia da realidade.

II. O contexto da pesquisa

II.1 O currículo recursivo e espiralado

A noção de organização do currículo em espiral foi proposta pelo psicólogo Jerome Bruner, em seu livro “O processo da educação” (1968)⁴. Esse livro foi elaborado a partir das discussões ocorridas na famosa conferência de Woods Hole e como na conferência, são abordados quatro temas em seu livro: a estrutura das disciplinas, a teoria de aprendizagem, a natureza do pensar e a motivação para aprender. Nas discussões sobre a teoria da aprendizagem, o autor propõe a ideia do currículo em espiral, partindo da premissa que qualquer assunto pode ser ensinado de forma honesta a qualquer criança em desenvolvimento, respeitando o seu modo de pensar. Sobre o ensino de ciências, ele afirma:

Se considera crucial a compreensão de número, medida ou probabilidade na Busca da ciência, então a instrução nesses assuntos deverá ser iniciada tão cedo e de maneira intelectualmente mais honesta possível e consistentemente com as formas de pensar da criança, deixando que os tópicos sejam desenvolvidos várias vezes em graus posteriores (...) (p. 49).

O trecho acima capta parte da essência presente na estrutura do currículo recursivo e espiralado.

Na Instituição Federal de Ensino (IFE), na qual essa pesquisa foi realizada, os conteúdos temáticos de física foram organizados em uma estrutura sequencial de três níveis, com recursividade temática. Dessa forma, nas primeiras duas séries, os estudantes deveriam cobrir todo o conteúdo da física, como contido em um livro de Ensino Médio de volume único. No entanto, os temas estudados não foram organizados sequencialmente. Houve uma preocupação de variar os temas e postergar o ensino de conteúdo que exigiam maior competência matemática para o final da primeira série, ou mesmo para a segunda série. Na terceira série, os estudantes deveriam rever pelo menos os principais temas da física, porém com uma abordagem mais aprofundada em cada temática reestudada.

A IFE não é a única a apresentar essa estrutura curricular para a disciplina física. Desde 2006, a Secretaria Estadual de Educação de Minas Gerais (SEE/MG) passou a adotar em suas escolas essa estrutura curricular para o Ensino Médio, não somente para a física, mas para todos os domínios de conhecimento.

⁴ O livro é uma tradução do original “The Process of Education”(1960), por Lólio Lourenço de Oliveira pela Companhia Editora Nacional, em 1968.

Vaz et. al. (2003) apontam vantagens dessa estrutura curricular, como: (i) a possibilidade do estudante ter uma visão geral de toda Física logo no primeiro ano; (ii) o aumento do interesse e a motivação dos estudantes, já que vários assuntos serão trabalhados. Isso possibilita uma chance maior de ajustar o interesse dos estudantes com o conteúdo que está sendo ensinado e (iii) aumentam as chances dos estudantes de alcançarem uma aceção científica dos conceitos, uma vez que eles retomam esses conceitos em diferentes momentos de sua formação.

II.2 A organização do ambiente de aprendizagem no terceiro nível do currículo recursivo

O projeto de um ambiente de aprendizagem não pode ser uma tarefa abstrata e descolada do ambiente escolar real. Como todo projeto, o de um ambiente de aprendizagem também deve responder a certas demandas da prática, objetivos pretendidos, limitações de recursos humanos, materiais, financeiros e principalmente, limitações de tempo. O ambiente que foi projetado para o terceiro nível do currículo recursivo busca, dentre outros, atender aos seguintes propósitos: (i) favorecer o desenvolvimento das habilidades de leitura e escrita entre os estudantes; (ii) favorecer o desenvolvimento do hábito de estudo sistemático e regular; e (iii) reorganizar o currículo para torná-lo mais atraente para todos, respeitando a diversidade de interesses e de ritmos de aprendizagem dos estudantes (BORGES, COELHO e JULIO, 2005).

Esse ambiente vem sendo desenvolvido na Instituição Federal de Ensino (IFE), na qual realizamos nossa investigação. Uma das principais modificações introduzidas no ambiente foi à abordagem de ensino centrada no estudante, no qual é utilizado o máximo de recursos disponíveis. Consideramos que a abordagem centrada no estudante desempenha um papel importante no processo de ensino e aprendizagem pois, através dela, tentamos manter uma rotina de estudo persistente e tentamos convencer o estudante que o sucesso em Física depende de seu engajamento nos estudos.

Durante as aulas de Física, o tempo de exposição oral feita pelo professor era pequeno e praticamente todo tempo da aula é dedicado para leitura de textos, discussão com os colegas sobre o texto, resolução de esquemas e exercícios, realização de atividades práticas experimentais, uso de simulações, testes no final da aula. As atividades projetadas tinham o intuito de estimular a leitura e a escrita; de favorecer melhoras na interpretação e compreensão de textos científicos e de exercícios e proporcionavam oportunidades para identificar as dificuldades dos estudantes.

Todas as alterações no ambiente de ensino foram feitas sustentadas em resultados de algumas pesquisas. Um desses resultados sugere que o ensino feito pelo professor não garante a aprendizagem dos estudantes, mas que o professor pode proporcionar aos estudantes experiências com boas oportunidades de aprendizagem (MOREIRA e BORGES, 2006). O outro resultado está associado ao engajamento do estudante, que contribui de forma significativa para sua aprendizagem, segundo Campbell et al. (1994) “o fator singular mais importante a influenciar a aprendizagem é o engajamento ativo do aprendiz com o material. Obtenha isto e ensine por quaisquer métodos que retenham este engajamento”.

Como parte do esforço de desenvolver o terceiro nível do currículo, buscou-se não apenas redesenhar o ambiente de ensino, mas também coletar dados, em situações ecologicamente válidas, para informar sobre o progresso dos estudantes e sobre os efeitos desse ambiente. A análise desse tipo de dado nos permite não apenas atuar redirecionando nossa ação mais imediata, mas também nos permite acumular evidências sobre as vantagens, ou desvantagens, da adoção de um currículo recursivo e em espiral, para organizar o curso de física no nível médio. No presente trabalho, apresentamos a análise de dados coletados para acessar o entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz.

III. Delineamento metodológico

III.1 Sujeitos da pesquisa

Participaram dessa pesquisa 134 estudantes da 3ª série do ano de 2005, de uma Instituição Federal de Ensino (IFE). Ela oferta, desde 1998, Ensino Médio e Ensino Médio de Nível Tecnológico (ETM), nas modalidades de eletrônica, instrumentação industrial, patologia clínica e química. Há duas formas de ingresso nesta escola: concurso público para o Curso Médio de Nível Tecnológico (ETM) ou por mera progressão do Ensino Fundamental para o Ensino Médio (EM). A última forma só é acessível aos estudantes de uma escola de educação fundamental mantida pela mesma IFE. Essa diferenciação por curso, na história da escola, se reflete em diferentes vocacionamentos em relação à física – uma pessoa é vocacionada se ela apresenta uma disposição cognitiva, afetiva que orienta o seu interesse e o seu engajamento no sentido uma atividade, nesse caso de estudar e aprender física. Além desta há uma diferenciação devido a um sistema de cotas sócio-econômicas adotado desde 1972.

Os estudantes que cursam ETM ingressam na escola sem optar pelas modalidades de cursos técnicos. O currículo da primeira série é comum a todos os

cursos e turmas. Ao final da primeira série, os estudantes de ETM optam por um dos cursos técnicos ofertados e, se necessário, são selecionados com base nos desempenhos das diversas disciplinas. A partir da segunda série, a escola adota um esquema de turmas segundo o curso, tanto nos cursos técnicos quanto no Ensino Médio. As atividades de Ensino Médio concentram-se em um dos turnos e as atividades de Ensino Técnico no outro. Os currículos para os estudantes de ETM tornam-se diferenciados a partir da segunda série, mas apenas no que diz respeito ao Ensino Técnico. O Ensino Médio continua o mesmo para todas as turmas.

No caso da disciplina física, os estudantes de todas as turmas de cada série são ensinados respeitando-se o mesmo programa de conteúdos e de atividades. Ao final da segunda série, os estudantes já teriam estudado todos os conteúdos de física usuais em programas de Ensino Médio e em um nível compatível com um livro-texto de volume único. Em atividades de sala de aula tiveram o equivalente a uma carga horária de 4 horas semanais, sendo que 1 hora em atividades práticas no laboratório. Em cada série, os estudantes são avaliados por instrumentos comuns e alguns deles aplicados na mesma ocasião.

No caso da série investigada, a presença de estudantes repetentes é residual. Assim, podemos assumir que, em geral, os estudantes entraram na escola em 2003. A série estava organizada em 6 turmas de Ensino Médio: uma para o Ensino Médio (21 estudantes), uma para os estudantes do Curso Técnico de Química (31 estudantes), uma para os estudantes do Curso Técnico de Patologia Clínica (23 estudantes), duas para os estudantes do Curso Técnico de Eletrônica (17 e 18 estudantes) que, para fins de análise, foram agrupadas em uma única turma e uma para os estudantes do Curso Técnico de Instrumentação Industrial (24 estudantes). Uma caracterização mais ampla das experiências escolares dos estudantes não pode ser dada. Entretanto, mencionamos as variáveis que nos parecem relevantes para o nosso estudo.

Dos 134 estudantes que compõem a terceira série do Ensino Médio, analisamos os dados de 106. Essa diferença entre o total de estudantes da série e os efetivamente investigados deve-se ao fato de alguns deles não participarem dos dois momentos da medida.

III.2 Instrumento de coleta de dados e a lógica de investigação

Para acessar o entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz, desenvolvemos um instrumento qualitativo. Esse tipo de instrumento permite elicitare o entendimento dos estudantes através de modelos que eles utilizam em suas explicações.

O instrumento consiste em uma tarefa envolvendo uma dissertação sobre uma situação física. Nessa dissertação, os estudantes tiveram que responder à seguinte questão:

*O ano de 2005 foi considerado o ano mundial da Física. Ele foi assim declarado pela ONU em comemoração ao centenário dos trabalhos científicos publicados por Einstein, em 1905. Dois deles estão diretamente ligados à natureza da luz. A questão da natureza da luz preocupou filósofos e físicos, como Galileu, Newton, Maxwell, Einstein e Bohr. Para verificar seu entendimento sobre o tema escreva um texto respondendo à questão: **o que é a luz?***

Testamos os estudantes da terceira série em duas ocasiões distintas, com um intervalo de 10 meses. Em cada uma dessas ocasiões, os estudantes realizaram a mesma tarefa, apresentada da mesma forma. A primeira aplicação foi feita logo no início do ano letivo, quando os estudantes não tinham contato com o conteúdo de óptica e física moderna naquele ano (como o currículo está organizado em uma espiral de três níveis, os estudantes já tiveram contato com essa temática nas séries anteriores). A segunda aplicação foi feita no final do ano letivo, quando os estudantes já tinham feito o último contato com o conteúdo, fechando, assim, o ciclo do currículo-espiral.

IV. Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada conciliando métodos qualitativos e quantitativos. Em um primeiro momento, apresentaremos a análise qualitativa utilizada para a construção do nosso sistema de categorias (que foi fundamentado em termos dos modelos hierárquicos sobre natureza da luz) e também na apresentação de respostas típicas que exemplificam cada uma das categorias. Em um segundo momento, descrevemos o tratamento quantitativo que utilizamos com o intuito de coletar evidências da evolução dos modelos dos estudantes nas duas ocasiões nas quais o instrumento foi aplicado e também para determinar o patamar de entendimento dos estudantes ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo.

IV.1 Análise qualitativa

IV.1.1 Criação do sistema categórico

Antes de iniciar a análise dos dados, realizamos um procedimento para o mascaramento dos estudantes. Cada estudante foi identificado por um código constituído por uma letra e uma sequência de três números. Esse procedimento foi importante por dois motivos principais: (i) Como éramos professores de quatro turmas que fizeram parte desse estudo, esse procedimento nos permitiu evitar qualquer viés interpretativo durante a nossa análise, mesmo considerando que as respostas dos estudantes foram analisadas no ano posterior à coleta de dados, (ii) temos o compromisso de manter a privacidade e o anonimato dos sujeitos participantes do estudo.

Uma primeira leitura das respostas dos estudantes foi realizada para elencar as suas diversas concepções sobre a natureza da luz. Uma segunda leitura foi feita para verificar a existência de novas concepções que não foram apreendidas durante a primeira leitura. Depois do levantamento das concepções dos estudantes, iniciamos o processo de construção do nosso sistema de modelos hierárquicos para categorização das respostas.

Admitimos uma hierarquia entre os modelos que compõem o nosso sistema categórico. Por isso, consideramos a evolução histórica dos modelos sobre a natureza da luz uma ferramenta importante. Consideramos como menos sofisticadas as respostas nas quais eles não recorrem a modelos em suas explicações e consideramos mais sofisticadas as respostas que os estudantes lançam mão dos modelos científicos referentes à natureza da luz, considerando o mais sofisticado o modelo que descreve o comportamento dual da luz. Apesar da categoria 3 não remeter ao processo evolutivo dos modelos sobre a luz, ela foi incluída pela necessidade de apontar para algumas inconsistências presentes nas concepções dos estudantes referentes aos modelos científicos da luz.

Outra observação importante relacionada à construção desse sistema categórico se refere à não dissociação das teorias corpuscular e ondulatória da luz, nos modelos 2 e 4 do nosso sistema categórico pois, ao longo da evolução histórica, essas duas teorias coexistiram paralelamente durante um longo período de tempo e uma separação poderia acarretar em um caráter valorativo de uma teoria em relação a outra. No modelo 1, especificamente nos submodelos 1.1 e 1.2, encontramos algumas concepções alternativas dos estudantes sobre a luz, que são

relatadas na literatura específica⁵. O sistema categórico é apresentado no quadro 1.

Quadro 1 - Modelos e submodelos sobre natureza da luz e suas características.

	Características
Modelo 1	Modelo primitivo
Modelo 1.1	Os estudantes apresentam suas ideias de uma forma pouco inteligível. Alguns não reconhecem a luz como entidade física, mas se referem a ela como uma substância ou “alguma coisa” que é emitida por uma fonte luminosa. Os estudantes fazem distinção entre as diferentes formas de manifestação da luz, como, por exemplo, “luz ambiente” e “luz elétrica”. Nesta categoria, também foram incluídas as respostas nas quais os estudantes associam a luz solar a processos vitais.
Modelo 1.2	Os estudantes, ao explicitarem suas ideias, admitem que a luz é constituída de raios ou de ondas. Nessa perspectiva, essas representações, que são utilizadas para falar da luz, são interpretadas como simples cópias da realidade. Alguns estudantes, ao se referirem à onda, associam a forma de propagação no meio a uma perturbação ondulatória produzida em uma corda.
Modelo 1.3	Os estudantes referem-se às propriedades da luz (propagação retilínea, velocidade de 300000 Km/s) ou citam alguns fenômenos (interferência, reflexão, difração, transmissão, dispersão da luz branca). Foram incluídas, nessa categoria, as respostas nas quais os estudantes focaram no processo de emissão da luz.
Modelo 2	Luz como partícula ou luz como onda
Modelo 2.1	Nesta categoria foram incluídas as respostas dos estudantes que reconhecem a luz como se fosse constituída de partículas. No entanto, esse modelo corpuscular não utiliza a hipótese dos fótons proposta por Einstein.
Modelo 2.2	Nesta categoria foram incluídas as respostas dos estudantes que definem a luz lançando mão do modelo ondulatório. Entretanto, esse modelo ondulatório não é o idealizado pela teoria eletromagnética proposto por Maxwell.
Modelo 3	Variações dos modelos eletromagnético, corpuscular ou dual da luz
Modelo 3.1	Os estudantes lançam mão dos modelos científicos (modelo ondulatório eletromagnético, o corpuscular com a hipótese do fóton ou modelo dual) para falar sobre a luz, mas as suas respostas apresentam elementos de

⁵ Ver DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHEN, A., 1996, no capítulo 2, escrito por Edith Guesne.

	erro ou se apresentam de maneira incompleta em relação às dimensões desses modelos.
Modelo 3.2	Ao expressarem o seu entendimento sobre o comportamento dual da luz, os estudantes não conseguem reconhecer a distinção entre os modelos ondulatório e corpuscular, sendo estes vistos como um só. Eles apresentam “modelos híbridos” da luz, associando simultaneamente elementos dos dois modelos.
Modelo 4	Luz como onda eletromagnética ou luz constituída por fótons
Modelo 4.1	Os estudantes lançam mão do modelo ondulatório eletromagnético idealizado por Maxwell no final do século XIX para falar da luz.
Modelo 4.2	Os estudantes lançam mão do modelo corpuscular, com a hipótese do <i>quantum</i> de energia, que foi idealizado por Einstein no início do século XX e utilizado por ele para explicar o efeito fotoelétrico.
Modelo 5	Luz apresentando um comportamento dualístico
	Os estudantes reconhecem que a luz pode se comportar de duas formas diferentes. Nessa perspectiva, eles admitem a existência de duas teorias que explicam o comportamento da luz. Comportamentos esses que, em algumas circunstâncias, é explicado pelo modelo ondulatório eletromagnético e modelo corpuscular com a hipótese do fóton.

IV.1.2 Categorização das respostas dos estudantes

Neste momento, apresentaremos alguns exemplos típicos de respostas dadas pelos estudantes, que foram categorizadas de acordo com os modelos sobre natureza da luz descritos anteriormente. Por exemplo, o estudante A 179 dá a seguinte resposta para a questão: “*A luz é necessária para a sobrevivência dos seres vivos e utilizada para muitas pesquisas. Luz são partículas em raios que dá claridade aos planetas e calor*”. Trata-se de uma resposta típica do modelo 1. O estudante não mobiliza nenhum modelo para falar sobre a luz e simplesmente associa a luz a processos vitais e sua relação com a capacidade de iluminar o ambiente e tornar as coisas observáveis. Nessa resposta também encontramos elementos do modelo do “modelo realístico” descrito por Grosslight et al. (1991) ao dizer que a luz é composta por partículas em raios.

No modelo 2, foram incluídas as respostas nas quais os estudantes reconhecem a luz como onda ou como partícula. O estudante A160, por exemplo, diz que:

A luz pode ser designada como uma onda. Ao decompor a luz, observamos que a mesma é constituída de cores, como exemplo, o violeta. As mesmas possuem energia diferente, ou seja, uma é mais energética que a outra. (A160)

Para esse estudante, a luz é explicada pelo modelo ondulatório, mas não menciona o modelo eletromagnético. Ainda nessa resposta, o estudante associa a luz ao espectro da luz branca e chama atenção para um importante fenômeno: a dispersão da luz.

As diferenças entre os modelos corpuscular e ondulatório presentes na categoria 2 e na categoria 4 estão associadas ao aspecto histórico na evolução desses modelos. Em relação ao modelo corpuscular, na categoria 4, foi introduzida a hipótese do *quantum* de energia no modelo que foi proposto no início do século XX. Da mesma forma, o modelo ondulatório proposto na categoria 4 corresponde ao modelo eletromagnético proposto por Maxwell, ao final do século XIX. Para ilustrar respostas típicas do nosso modelo 4, vejamos o que os estudantes A207 e A134 responderam:

A luz é uma liberação de energia através dos fótons, na transição de camadas dos elétrons de uma camada exterior, para uma mais interna. Sua velocidade é de 3×10^8 m/s. (A 207)

Luz é uma sucessão de variações dos campos elétricos e magnéticos, sendo que a variação de um campo elétrico gera um campo magnético variável e a variação do campo magnético gera um campo elétrico variável. A luz, porém, é classificada como ondas desse tipo (ondas eletromagnéticas) que o olho humano consegue captar. Ela se propaga no vácuo a aproximadamente 30000 Km/s e sua velocidade depende do meio onde ela está. (A134)

Na resposta do estudante A207, reconhecemos a natureza corpuscular, com a hipótese do *quantum* de energia, presente em seu argumento. Já o estudante A134 explica como é produzida uma onda eletromagnética e considera a luz um tipo de radiação que apresenta esse comportamento ondulatório.

No modelo 5, os estudantes reconhecem a existência de dois modelos cientificamente aceitos para falar sobre a luz: o modelo previsto pela teoria eletromagnética e o modelo corpuscular com a introdução do *quantum* de energia. A resposta dada pelo estudante A108 é típica desse modelo:

Pode-se dizer que a luz possui um comportamento dual, sendo que em fenômenos como interferência ou difração ela é considerada onda eletromagnética e em outros como o efeito fotoelétrico (explicado por Einstein) ela é conside-

rada como um conjunto de partículas (pacotes de energia) denominadas fótons que em contato com superfícies metálicas podem arrancar elétrons das mesmas, já que o contato entre o fóton e o elétron transmite energia do primeiro para o segundo a qual pode ser suficiente para arrancá-lo. E relação ao seu caráter ondulatório a luz, a luz pode ser considerada a parte visível do espectro eletromagnético possuindo valores de frequências específicos. (A108)

As respostas que compõem o modelo 5 são geralmente expressas nos termos do princípio da complementaridade, proposto por Bohr. Esse princípio estabelece que:

Os aspectos ondulatórios e corpusculares de uma entidade quântica são ambos necessários para uma descrição concreta. Entretanto, os dois aspectos não podem ser revelados simultaneamente num único experimento. O aspecto que se revela é determinado pela natureza do experimento que está sendo realizado (HALLIDAY et al, 1996, p. 166).

Alguns estudantes também expressam seu entendimento em termos desse princípio de complementaridade, mas, apesar disso, não foram classificadas como pertencentes ao modelo 5, isso porque, em suas respostas, encontramos elementos de erro ou se mostraram incompletas em relação ao comportamento dual da luz. Nesse caso, essas respostas foram classificadas como pertencentes ao modelo 3. A resposta dada pelo estudante A193 exemplifica bem essa afirmação:

O principal debate sobre a natureza da luz está relacionado ao seu comportamento dual, sendo classificada ora partícula, ora como onda. Pode ser considerada como partícula por conduzir em si elétrons e sofrer alterações, tais como refração e reflexão. E como onda eletromagnética por não precisar de um meio para se propagar. (A193)

Na resposta do estudante A193 encontramos elementos de erro quando ele considera a luz sendo constituído de elétrons para definir seu comportamento corpuscular.

Assim como nos trabalhos de Smit e Finegold (1995), Paulo e Moreira (2005) e Hubber (2006), nesse estudo também encontramos “modelos híbridos” da luz que, no nosso sistema categórico, pertence ao modelo 3. De acordo com esse modelo, os estudantes associam simultaneamente elementos das duas teorias científicas da luz. Encontramos, basicamente, quatro variações desse modelo: (i) A luz é constituída por fótons que possuem comportamento dual. (ii) A luz é constituída por fótons que se propagam em forma de ondas eletromagnéticas. (iii) A luz é considerada ao mesmo tempo como onda e partícula. (iv) A luz é uma onda ele-

tromagnética que mantém comportamento corpuscular ou é constituída por fótons, sendo esse último o modelo mais frequente. Vejamos algumas respostas que ilustram respectivamente essas variações dos “modelos híbridos”:

A luz é constituída de fótons, que possuem uma característica dual, ou seja, eles comportam como corpúsculo, explicada pelo efeito fotoelétrico, e como onda eletromagnética, explicado pela sua alta velocidade no vácuo. (A142)

Luz são partículas muito pequenas (fótons) que se propagam em forma de ondas eletromagnéticas transferindo energia de um ponto a outro. As ondas com comprimento de onda de aproximadamente 10^{-7} são visíveis pelo homem. Ainda existem muitos estudos em relação à luz, sendo essa apenas a mais plausível delas. (A191)

Há uma grande discussão em torno da natureza da luz, pois esta apresenta um comportamento dual. Ela possui características de partículas e ao mesmo tempo de ondas eletromagnéticas. No primeiro caso ela é considerada com um conjunto de pacotinhos de energia que, por exemplo, ao atingirem um elétron esse passa a um nível maior de energia. (A147)

A luz é ao mesmo tempo uma onda eletromagnética que é constituída de partículas, chamadas fótons. (A101)

IV.2 Análise quantitativa

Para atender aos nossos propósitos de pesquisa, organizamos os dados em tabelas e em gráficos. Dessa forma, tínhamos a possibilidade de observar a concentração de estudantes em cada um dos modelos e as movimentações desses estudantes nos dois momentos de aplicação do instrumento de pesquisa.

Utilizamos um modelamento estatístico que foi o teste de homogeneidade marginal. O teste de homogeneidade marginal⁶, uma generalização do teste McNemar para o caso multinomial, é adequado para testar a homogeneidade marginal em categorias multinominais e ordenadas (AGRESTI, 2002, capítulo 10). O teste é aplicável em situações de medidas repetidas com variáveis ordenadas, que corresponde à metodologia utilizada neste trabalho. Ele determina a razão com que a mudança nos sujeitos entre as duas ocasiões de teste interfere nas

⁶ Este teste está disponível no programa Statxact 6, que apresenta um conjunto de pacotes estatísticos com amplas possibilidades para desenvolver diversos processos analíticos, principalmente inferências não-paramétricas exatas.

diferenças ocorridas nos totais marginais na tabela de dupla entrada que, no nosso trabalho, corresponde aos estudantes que se encontram em cada modelo, nos dois momentos distintos de medida.

Os testes estatísticos partem das seguintes premissas: (i) existe um elemento responsável por causar diferenças; (ii) as diferenças encontradas podem ser causadas por mero acaso ou podem ser causadas pelas variáveis que pretendemos determinar. A partir desses pressupostos, o teste indicará, através de um valor numérico, que depende do tipo da estatística utilizada, a probabilidade das diferenças acontecerem por mero acaso. Esse valor numérico é conhecido como a significância estatística.

Para determinar se o resultado é significativo, utilizamos o seguinte raciocínio: se a probabilidade encontrada no teste for maior que o nível de significância inicialmente definido, aceitamos a hipótese nula associada ao teste. A hipótese nula reconhece a homogeneidade nos totais marginais em uma tabela de dupla entrada; dessa forma, qualquer diferença observada é explicada pelo acaso⁷. Em contrapartida, se a probabilidade no teste for menor que o seu nível de significância, as diferenças são atribuídas à variável testada. Estamos tomando como o valor crítico de significância estatística em torno de 5% ($\alpha=0,05$). Nesse estudo, estamos considerando que as diferenças entre os modelos mobilizados pelos estudantes, entre as duas ocasiões de medida, podem ser explicadas pelo possível efeito de aprendizagem, devido ao reestudo da óptica e física moderna no terceiro nível do currículo recursivo.

V. Resultados

V.1 Mudança nos modelos sobre natureza da luz

As características dos modelos e submodelos sobre natureza da luz foram descritas minuciosamente no quadro 1. Apesar de fazer a categorização fina das respostas dos estudantes levando em consideração os submodelos, decidimos por interpretar as suas respostas utilizando os cinco modelos propostos anteriormente. Se considerássemos todos os submodelos, teríamos uma tabela de contingência 10 x 10 com 100 células e muitas delas estariam vazias. Segundo Joreskog (2006),

⁷ O acaso está associado a outras variáveis, que não foram consideradas como variáveis testáveis durante o modelamento estatístico.

isso influenciaria no valor da região de cobertura⁸, que é determinada pela razão entre o número dos distintos padrões de resposta, que podem existir em toda a amostra, pelo número de todos os possíveis padrões de resposta. Uma diminuição do número de possíveis padrões de resposta pode ser feita através da redução do número de categorias que, segundo esse tratamento estatístico, aumentaria a qualidade da nossa análise.

Como descrevemos anteriormente, os dados foram organizados em uma tabela de dupla entrada. Na tabela 1, apresentamos os resultados do cruzamento entre os modelos utilizados pelos estudantes nos dois momentos de medida para toda nossa amostra. As células que apresentam os valores em negrito representam os totais marginais que determinam a concentração de estudantes em cada um dos modelos nas duas ocasiões de teste. As células sombreadas representam a quantidade de estudantes que continuaram a mobilizar os mesmos modelos nas duas ocasiões de medida. As células que se encontram acima da diagonal representam a quantidade de estudantes que mobilizaram modelos mais sofisticados na segunda ocasião de medida e as células abaixo da diagonal representam o número de estudantes que utilizaram modelos menos sofisticados em suas explicações, na segunda ocasião de medida.

Tabela 1: Modelos mobilizados pelos estudantes no primeiro momento de medida *versus* modelos mobilizados no segundo momento de medida.

Primeira aplicação	Segunda aplicação					Total
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
Modelo 1	4	3	3	5	0	15
Modelo 2	0	1	1	0	0	2
Modelo 3	1	1	32	6	15	55
Modelo 4	0	1	5	4	0	10
Modelo 5	0	0	7	2	15	24
Total	5	6	48	17	30	106

À primeira vista, temos um indício que as experiências com o conteúdo que os estudantes tiveram na terceira série foram significativas. Isso pode ser

⁸ A região de cobertura determina a qualidade da análise estatística. O aumento dessa região de cobertura possibilita uma melhor representação do conjunto de possíveis padrões de respostas e, dessa forma, aumenta-se a qualidade da análise estatística.

evidenciado a partir das diferenças nos totais marginais, nos quais ocorreu uma movimentação dos estudantes que utilizavam modelos menos sofisticados na primeira aplicação para modelos mais sofisticados na segunda aplicação. O resultado do teste de homogeneidade nos mostra que as diferenças nos totais marginais são significativas, visto que o valor da probabilidade encontrado foi $p = 0,0016$ e, portanto, menor que o valor crítico de significância de 0,05. O progresso que ocorreu nos modelos utilizados pelos estudantes pode ser melhor visualizado através do gráfico 1, que exibe um padrão da concentração dos estudantes em cada um dos modelos nos dois momentos de medida.

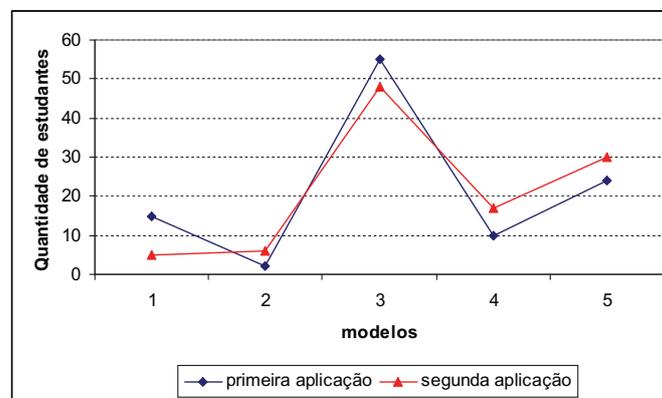


Gráfico 1 - Quantidade de estudantes concentrados em cada um dos modelos sobre natureza da luz nas duas ocasiões de medida.

No primeiro momento de medida, os estudantes têm maior representatividade no modelo 3, no qual as concepções que representam esse modelo possuem elementos dos modelos científicos com algumas inconsistências ou se apresentam de maneira incompleta em relação às dimensões dos modelos científicos. Destacamos também que, dos 14 % (15 estudantes) dos estudantes que mobilizaram o modelo primitivo no primeiro momento de medida, somente 4,7% (4 estudantes) continuaram a mobilizar esse modelo. Podemos interpretar essas informações como um fator positivo em relação ao desenvolvimento epistemológico dos estudantes, pois eles reconhecem, mesmo com algumas inconsistências, que podemos falar da luz através de modelos.

Apesar da evolução dos modelos 4 e 5, que correspondem às aceções científicas dos modelos sobre a natureza da luz, percebemos que 45% dos estudantes

(48 estudantes) continuam a mobilizar o modelo 3. Desses estudantes, a maior parte (32 estudantes) mobilizou esse modelo no primeiro momento de medida. Um indício de que, mesmo depois da instrução, os estudantes continuam a apresentar elementos de erro em relação às acepções científicas dos modelos eletromagnético, corpuscular (com a hipótese do *quantum* de energia) ou modelo dual. O modelo 5 está associado ao comportamento dualístico da luz que se apoia em pressupostos da física moderna. Para esse modelo, a maioria dos estudantes (15 estudantes) que o utilizavam no segundo momento, migrou do modelo 3, sendo que os outros estudantes que o empregavam (15 estudantes), já tinham utilizado esse modelo no primeiro momento de medida.

V.2 Analisando as mudanças nos modelos dos estudantes nas diferentes turmas

Os resultados nos mostram que houve progresso na mobilização de modelos pelos estudantes ao longo da série, um indício de que as experiências com o conteúdo naquele período foram significativas. No entanto, devemos ser cautelosos ao inferir até que ponto essas experiências estão relacionadas ao curso de Física que foi oferecido na terceira série, pois as turmas apresentaram desempenhos muito diferentes em relação aos progressos nos modelos apresentados pelos estudantes e o desempenho no curso.

Para a turma ETM de eletrônica, o teste de homogeneidade marginal indica que a turma progrediu ($p = 0,002$; $p < 0,05$). No estudo anterior (COELHO e BORGES, 2006), também encontramos uma mudança significativa nos modelos dos estudantes dessa turma. A maior parte dos estudantes progrediu em seus modelos obtendo uma maior representatividade nos modelos 4 e 5. Vale destacar também que não tivemos nenhum estudante utilizando os modelos 1 e 2, que são os modelos menos sofisticados do nosso sistema categórico. Para explicar esse progresso, devemos considerar algumas características associadas a essa turma, pois se trata da turma mais propensa para o estudo da física.

A turma de Ensino Médio (EM), apesar de ser a turma tradicionalmente a menos vocacionada para o estudo da física, também progrediu em seus modelos ($p = 0,0073$; $p < 0,05$). Dos 17 estudantes dessa turma, 10 evoluíram em seus modelos explicativos. Não percebemos nenhuma representatividade dos estudantes em um modelo específico, mas é significativa a redução do número de estudantes que utilizaram o modelo primitivo em suas explicações no segundo momento de medida e também o aumento do número de estudantes que passou a utilizar os modelos 4 e 5, ao encerrar a terceira série do Ensino Médio.

A turma ETM de patologia clínica, assim como a turma de Ensino Médio (EM) é tradicionalmente pouco predisposta para o estudo da Física. Nessa turma, os estudantes já iniciam o terceiro nível do currículo utilizando elementos dos modelos científicos, mesmo com algumas inconsistências em suas explicações. Esse argumento pode ser justificado pelo fato de termos encontrado uma parcela representativa dos estudantes utilizando o modelo 3 na primeira ocasião de medida. Não identificamos nenhum padrão evolutivo para essa turma, pois, ao realizarmos o teste de homogeneidade marginal, encontramos um valor ($p = 0,1016$; $p > 0,05$), que nos permite dizer que as pequenas diferenças observadas nos modelos dos estudantes, nas duas ocasiões de medida, são explicadas pelo acaso.

A turma ETM de instrumentação industrial é, segundo os professores, extremamente apática, pouco engajada academicamente e pouco motivada a entender ideias mais complexas e abstratas. Os estudantes que mobilizaram o modelo 1 no primeiro momento de medida continuaram a mobilizá-lo no segundo momento. O que merece destaque nessa turma é o aumento do número de estudantes que mobilizaram o modelo 3 no segundo momento de medida, em contrapartida tivemos uma redução do número de estudantes que mobilizaram o modelo 4 e 5, nessa mesma ocasião. Apesar de termos observado um possível efeito controverso nessa turma, não podemos dizer que os estudantes regrediram em seus modelos, uma vez que não encontramos uma significância estatística ($p = 0,0938$; $p > 0,05$) para as diferenças encontradas nos sujeitos entre as duas ocasiões de medida.

Para a turma ETM de química, percebemos que, ao iniciar o curso de Física, a maioria dos estudantes mobilizando os modelos 3 e 5 do nosso sistema categórico. O padrão de resposta dos estudantes sofreu poucas mudanças entre as duas ocasiões de medida e essas pequenas mudanças que ocorreram têm maior probabilidade de ter ocorrido por mero acaso, já que encontramos um valor de $p = 0,1094$ e, portanto, maior que 0,05. O ambiente de aprendizagem projetado teve pouco efeito nessa turma, o que é possível de ser explicado, já que a maior parte dos estudantes apresenta um nível ótimo relacionado ao entendimento sobre a natureza da luz, pois utilizaram o modelo 5 em suas explicações ao iniciar o curso de física no terceiro nível do currículo.

V.3 Patamar de entendimento dos estudantes ao encerrar o terceiro nível do currículo recursivo

Na tabela 2 e no gráfico 2, apresentamos a frequência dos modelos utilizados pelos estudantes no segundo momento de medida.

Pode-se notar que, mesmo depois da experiência com esse conteúdo no

terceiro nível do currículo recursivo, encontramos cerca de 45% dos estudantes apresentando concepções errôneas sobre os modelos científicos da luz, especialmente em relação ao modelo dual, no qual eles apresentam ideias híbridas presentes entre as duas teorias existentes para tratar o comportamento da luz, assim como Smit e Finegold (1995), Paulo e Moreira (2005) e Hubber (2006) encontraram em seus estudos.

Natureza da luz		
Modelo	Frequência	Porcentagem (%)
1	5	4,7
2	6	5,7
3	48	45,3
4	17	16,0
5	30	28,3
Total	106	100,0

Tabela 2 - Frequência dos modelos explicativos dos estudantes sobre a natureza da luz ao final da terceira série.

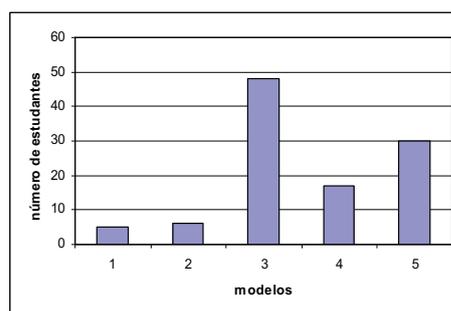


Gráfico 2 - Frequência dos modelos explicativos dos estudantes sobre a natureza da luz ao final da terceira série.

Apesar desse fato, temos uma mesma proporção de estudantes, cerca de 44% deles, que lançaram mão das teorias científicas sobre a natureza da luz, ou seja, da teoria ondulatória eletromagnética ou da teoria corpuscular com a hipótese do fóton e também do modelo dual da luz. As ideias associadas a essas teorias estão representados nos modelos 4 e 5 do nosso sistema categórico. Agora, desses 44% de estudantes que empregaram os modelos 4 e 5 em suas explicações, 28% utilizaram o modelo dual, levando em consideração o princípio da complementaridade proposto por Bohr. Portanto, reduzindo-se a uma única categoria, os modelos 4 e 5, não encontramos nenhuma representatividade do modelo 3 em relação aos modelos 4 e 5, como na primeira ocasião de medida.

VI. Conclusões e implicações

A nossa hipótese era de que, se o estudante utilizasse modelos mais sofisticados para explicar o mesmo fenômeno em um momento posterior à experiência de aprendizagem pelo qual ele foi submetido, essa mudança poderia ser explicada pelas experiências que ele vivenciou naquele período. Os resultados apresentados nessa investigação nos mostram que houve progresso nos modelos dos estudantes ao longo da série. Esse progresso poderia ser tomado como indício de aprendizagem dos estudantes em relação ao tema abordado nessa pesquisa, devido as suas experiências no ambiente projetado para o curso de física, no terceiro nível do currículo recursivo. No entanto, devemos ser cautelosos ao inferir que esse efeito evolutivo possa ser explicado por essas experiências, pois as turmas apresentaram desempenhos muito diferentes em relação aos progressos dos seus estudantes. Apesar disso, temos evidências que permitem sustentar o argumento em favor desse ambiente de aprendizagem.

A primeira evidência está associada ao desempenho da turma considerada tradicionalmente menos predisposta (a turma de Ensino Médio) para o estudo da física, na qual encontramos progressos em seus modelos explicativos. A segunda evidência diz respeito ao desempenho da turma mais vocacionada para o estudo da física, a turma ETM de eletrônica. No trabalho no qual investigamos o desenvolvimento do pensamento dos estudantes no domínio eletricidade, essa turma progrediu. Uma das possíveis explicações disto poderia ser o fato dessa turma ter maior familiaridade com os conceitos associados ao campo da eletricidade, por lidarem em seu curso técnico com circuitos elétricos em uma abordagem microscópica. Mas diferentemente, nessa investigação, na qual abarcamos os conceitos associados ao campo da óptica e da física moderna (natureza da luz), os estudantes dessa turma não lidam com esses conceitos em seu curso técnico e, por isso, consideramos que o contato mais explícito com essa temática se deu no curso de física ministrado na terceira série.

Assim como em outros estudos nos quais investigamos o entendimento dos estudantes no campo da eletricidade (COELHO; BORGES, 2006, 2008), nessa investigação também encontramos os estudantes apresentando um alto conhecimento prévio em relação à natureza da luz. O alto conhecimento prévio pode ser evidenciado levando em consideração que os estudantes, em sua maioria, iniciam o curso de física utilizando o modelo 3 em suas respostas. Os estudantes que mobilizam esse modelo reconhecem a existência de teorias científicas para falar da luz, mesmo que elas sejam entendidas de forma parcial ou que apresentem inconsistências em suas explicações. Nesse momento inicial do curso, o conhecimento

que os estudantes possuíam pode ser associado às suas experiências no campo da óptica e física moderna nas séries anteriores, ou seja, nos outros níveis do currículo recursivo.

A nossa expectativa em relação ao entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz era de que, ao final da terceira série, os estudantes utilizassem os modelos 4 ou 5 em suas respostas, já que esses modelos apresentam as acepções científicas das teorias sobre a luz. Os resultados dessa investigação corresponderam parcialmente às nossas expectativas, pois, apesar de grande parte dos estudantes estarem no nível de entendimento 4 ou 5 ao final da terceira série, encontramos a mesma proporção de estudantes mobilizando o modelo 3 em suas respostas.

Apesar da evolução dos estudantes para os modelos cientificamente apropriados para falar sobre o comportamento da luz, especificamente a progressão dos estudantes em direção ao modelo dual da luz, ainda encontramos uma parcela dos estudantes construindo “modelos híbridos”. A construção de “modelos híbridos” pelos estudantes é uma consequência da não distinção entre as diferentes ideias presentes nas duas teorias sobre a luz: a teoria eletromagnética e a teoria corpuscular com a hipótese do *quantum* de energia. Os livros-textos de física geralmente não deixam claro essa distinção, ao apresentarem o modelo dual da luz, e tampouco transmitem, de forma acurada, a história associada ao desenvolvimento dos modelos da luz.

Uma possível implicação para a sala de aula seria uma abordagem mais explícita dos dois modelos científicos, em termos do princípio da complementaridade de Bohr. Outra possibilidade seria a inclusão no programa de física de um tópico de ensino referente à natureza dos modelos científicos. Consideramos que, durante o curso, a natureza dos modelos científicos poderia ser introduzida consorciada com a temática abordada. No caso da temática abordada neste estudo, os modelos científicos deveriam ser ensinados juntamente com o tópico de óptica e física moderna (natureza da luz).

Referências Bibliográficas

AGRESTI A. **Categorical Data Analysis**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.

BORGES, O.; COELHO, G. R.; JÚLIO, J. M. Efeitos de um ambiente de aprendizagem sobre o engajamento comportamental, o engajamento cognitivo e sobre a

aprendizagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISADORES EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, V, 2005, Bauru. **Atas...**

BRUNER, J. **O Processo da Educação**. Tradução: Lólio Lourenço de Oliveira. São Paulo: Companhia editora Nacional, 1968. 97 p. Título original The Process of Education. CAMPBELL, B.; LAZONBY, J.; MILLAR, R.; NICOLSON, P.; RAMSDEN, J.; WADDINGTON, D. Science: The Salters' approach a case study of the process of large scale curriculum development. **Science Education**, v. 78, n. 5, p. 415-447, 1994.

COELHO, G. R. **A evolução dos modelos explicativos dos estudantes sobre circuitos elétricos e sobre a natureza da luz em um currículo recursivo**. 2007. 112f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

COELHO, G. R.; BORGES, O. A evolução dos modelos sobre circuitos elétricos em um currículo recursivo. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, X, 2006, Londrina. **Atas...**

COELHO, G. R.; BORGES, O. O entendimento dos estudantes do terceiro nível de um currículo recursivo sobre circuito elétrico simples. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, X, 2008, Londrina. **Atas...**

DRIVER, R.; GUESNE E.; TIBERGHEN, A. **Ideas científicas en la infancia y la adolescencia**. Madrid: Ediciones Morata, 3. ed, 1996. 311p.

GROSSLIGHT, L; UNGER, C.; JAY, E.; SMITH, C. Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 28, n. 9, p. 799-822, 1991.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. **Física**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996. v. 4.

HUBBER, P. Year students mental models of the nature of light. **Research in Science Education**. v. 36, p. 419-439, 2006.

JORESKOG, K. G. **Factor analysis of ordinal variables with full information maximum likelihood**, 2006. Disponível em: <www.ssicentral.com/lisrel/techdocs/orfml.pdf>. Acesso em: jul. 2007.

MOREIRA, A. F.; BORGES, O. Por dentro de uma sala de aula de Física. **Educação e Pesquisa**, v. 32, n. 1, p. 157-174, 2006.

PAULO, I. J. C.; MOREIRA, M. A. Um estudo sobre a captação de significados do conceito de dualidade onda-partícula por alunos do ensino médio. **Enseñanza de las Ciencias**. Disponível em:

<enciencias.uab.es/webblues/www/congres2005/material/comuni_orales/2_Proyectos_Curri/2_1/cabral_262.pdf>. Acesso em: fev. 2009.

SMIT, F. F. A.; FINEGOLD, M. Models in Physics: perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at South African Universities. **International Journal of Science Education**, v. 17, p. 621-634, 1995.

STATXACT, versão 6. **Statistical software for Exact Nonparametric Inference**. Cytel Studio (s.d).

VAZ, A.; BORGES, A. T.; TALIM, S.; BORGES, O. **INOVAR - Projeto de ensino: Reformulação Curricular do Curso de Física do COLTEC/UFMG**, 2003.