

Mapas conceituais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos da óptica física

(*Concept maps as instructional aid to promote meaningful learning of optical physics concepts*)

Voltaire de O. Almeida e Marco A. Moreira¹

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus do Vale, Porto Alegre, RS, Brasil
Recebido em 12/4/2007; Revisado em 16/7/2008; Aceito em 24/8/2008; Publicado em 27/2/2009

Este artigo apresenta os resultados de uma investigação que abordou as dificuldades de estudantes de graduação em física na aprendizagem de conceitos da óptica física, envolvendo concepções alternativas e a utilização de mapas conceituais como instrumento didático para facilitar a aprendizagem significativa desses conceitos.

Palavras-chave: mapas conceituais, aprendizagem significativa, óptica física, concepções alternativas.

This paper presents the results of an inquiry that approached the difficulties of physics majors in the learning of optical physics concepts, involving misconceptions and the use of concept maps as didactic instrument to facilitate the meaningful learning of these concepts.

Keywords: concept maps, meaningful learning, optical physics, misconceptions.

1. Introdução

A investigação descrita neste artigo foi realizada envolvendo estudantes de graduação em física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no segundo semestre letivo de 2005 e no primeiro de 2006. O objetivo primordial dessa pesquisa foi analisar a utilização dos mapas conceituais como instrumentos potencialmente facilitadores da aprendizagem significativa de conceitos envolvidos no estudo da óptica física. Buscou também identificar as principais dificuldades na compreensão dos efeitos relativos ao comportamento ondulatório da luz e os respectivos conceitos. Investigações anteriores [1, 2] indicam a necessidade de enfatizar o comportamento ondulatório da luz e seu caráter vetorial. Além disso, apontam diversas concepções alternativas sobre conceitos inerentes ao estudo da óptica. O estudo realizado por Wosilait [3], do Departamento de Física da Universidade de Washington, abordou as dificuldades dos estudantes em aplicar o modelo ondulatório da luz para os efeitos de interferência e difração. As concepções alternativas que foram encontradas nessa investigação sobre a difração da luz, por exemplo, referem-se a considerar esse fenômeno apenas como um efeito de borda ou não compreender corretamente a relação entre o tamanho da fenda e o comprimento de onda “ λ ” da luz incidente; se a largura da

fenda for menor do que “ λ ” a luz não pode passar pelo orifício.

Acreditamos que a participação ativa do aluno no processo ensino-aprendizagem é fundamental na aquisição de novos corpos organizados de conhecimento, na mudança conceitual e na aprendizagem significativa. Por essa razão, escolhemos a técnica do mapeamento conceitual, fundamentada pela teoria ausubeliana para a aprendizagem significativa, como instrumento didático a ser utilizado em sala de aula, abordando conceitos da óptica física.

2. Mapas conceituais e o referencial teórico

De acordo com Novak [4], mapas conceituais são ferramentas para a organização e representação do conhecimento, hierarquizando conceitos, usualmente colocados dentro de círculos, conectados por linhas e palavras (conectores) que representam as relações entre esses conceitos. Podem ser traçados para toda uma disciplina, subdisciplina ou um tópico específico [5], reunindo os conceitos relevantes para representação do conteúdo, mas devem ser introduzidos quando os alunos já tiveram contato com o material a ser aprendido. Além disso, não são auto-explicativos, necessitam ser

¹E-mail: moreira@if.ufrgs.br.

apresentados ou, no mínimo, acompanhados de um texto explicativo, pois existem diversas maneiras de expor conceitos e suas relações em um mapa conceitual. Ademais, é na explicação de um mapa de conceitos que o autor expressa a sua compreensão sobre o que está sendo apresentado, além de refletir a maneira com a qual as informações estão organizadas na sua estrutura cognitiva. Os mapas conceituais podem ser usados como instrumentos de ensino e/ou aprendizagem, assim como instrumentos de avaliação e organização/consecução curricular [6]. Contudo, em cada uma dessas aplicações, mapas conceituais sempre podem ser interpretados como instrumentos para a negociação de significados.

A técnica do mapeamento conceitual foi criada por Novak como uma forma de aplicação da teoria de aprendizagem de David Ausubel. De acordo com essa teoria, o fator mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe, ou seja, informações, conceitos, proposições já aprendidos de forma significativa. A aprendizagem significativa deve ser o objetivo de todo o ensino e ocorre quando uma nova informação se relaciona de forma não-arbitrária e não-literal [7, 8] a conhecimentos² específicos existentes na estrutura cognitiva de quem aprende, que possam servir, portanto, de ancoradouro às novas informações. Esse conhecimento prévio, já existente na estrutura cognitiva do aprendiz, Ausubel denomina de *subsunçor*. Também define duas condições para que ocorra a aprendizagem significativa: a) o material, contendo as novas informações a serem aprendidas, deve ser *potencialmente significativo*. Isso significa que esse material possa ser relacionável à estrutura cognitiva do aprendiz de maneira não-arbitrária e substantiva (não-literal); b) o aluno deve manifestar uma *pré-disposição* para aprender. Se não houver uma pré-disposição para a aprendizagem, provavelmente, o aluno apenas usará o método da memorização sem significado, o que caracteriza, de acordo com Ausubel, a *aprendizagem mecânica* (ou automática) [9]. A aprendizagem automática ocorre, portanto, quando há a simples memorização das informações, não havendo relação substantiva e não-arbitrária aos subsunçores existentes na estrutura cognitiva.

Apesar da distinção, as aprendizagens significativa e mecânica não devem ser consideradas, de acordo com Ausubel, como uma dicotomia, mas como dois extremos de um “continuum”. Em uma das extremidades está a aprendizagem significativa e, na outra, a mecânica.

Essas são algumas concepções básicas sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que, obviamente, é muito mais extensa do que foi apresentado nesse texto. Para um estudo mais abrangente, sugerimos o livro, de sua autoria, intitulado “Psicologia Educacional” [10] e a obra de Moreira [11].

²Conceitos, informações, proposições já aprendidos de forma significativa.

3. Metodologia

A investigação envolveu, inicialmente, 125 estudantes, sendo 61 graduandos em física matriculados na disciplina Física Geral e Experimental IV, e 64 em Engenharia, que formaram o grupo de comparação, matriculados na disciplina Física IV - C em 2005. O instrumento de pesquisa adotado para obter os escores de desempenho foi um questionário do tipo “papel e lápis” contendo vinte questões conceituais abordando os conceitos da óptica física, o qual já havia sido submetido ao processo de *validação* [12], que consistiu na análise crítica de quatro professores doutores em física do Instituto de Física da UFRGS e na aplicação em 118 alunos dos cursos de graduação em física e engenharia, a fim de garantir a confiabilidade dos dados obtidos com esse instrumento. O coeficiente α de Chrombach obtido foi 0,89.

No início de cada semestre letivo, os alunos dos dois grupos foram submetidos à aplicação desse questionário, sob forma de teste inicial. Com o intuito de avaliar e comparar a média dos desempenhos dos grupos experimental e de comparação, o questionário também foi aplicado no final de cada semestre, porém, com nova configuração de questões e alternativas, com o intuito de minimizar a possibilidade de vínculo entre as duas aplicações. O total de alunos respondentes ao teste final foi de 41 do grupo de comparação e 24 do grupo experimental, apesar de contar com a participação efetiva de 34 alunos do grupo experimental nos trabalhos com os mapas conceituais.

As atividades desenvolvidas com o grupo experimental, alunos do curso de física, foram realizadas durante os horários das aulas previstas no plano de ensino da disciplina. No entanto, as atividades em si, ou seja, os mapas conceituais, não estavam previstos no planejamento da disciplina. Os trabalhos consistiram em traçar mapas conceituais sobre tópicos já estudados na disciplina, referentes aos conteúdos de óptica física, para serem apresentados em sala de aula. Os mapas conceituais foram elaborados individualmente ou em grupos, cuja composição foi sugerida ser de no máximo três alunos, a fim de não comprometer a participação de todos estudantes do grupo. Foi possível recolher um total de 39 mapas conceituais envolvendo diversos conceitos estudados na óptica física. As Figs. 1 e 2 são exemplos de mapas conceituais que foram construídos pelos alunos do grupo experimental.

Para a elaboração dos mapas conceituais, apenas era sugerido aos alunos que enfocassem os conteúdos que já haviam estudado em semanas anteriores. Em uma aula seguinte, os mapas eram apresentados pelos estudantes, momento no qual as relações e os conceitos apresentados eram discutidos. Os exemplos de mapas conceituais apresentados nas Figs. 1 e 2 estão na sua forma original, ou seja, na versão entregue pelos alunos antes

das discussões. Dessa maneira, pode-se ter evidências sobre conhecimentos que os alunos foram capazes de reunir sem intervenção. Após as apresentações, os mapas podiam sofrer alguma alteração, podendo inclusive ocorrer a inserção de um ou mais conceitos. No mapa conceitual da Fig. 1, por exemplo, o aluno foi questionado sobre a inclusão e as possíveis relações para o conceito de *coerência*, já que não foi apresentado no mapa.

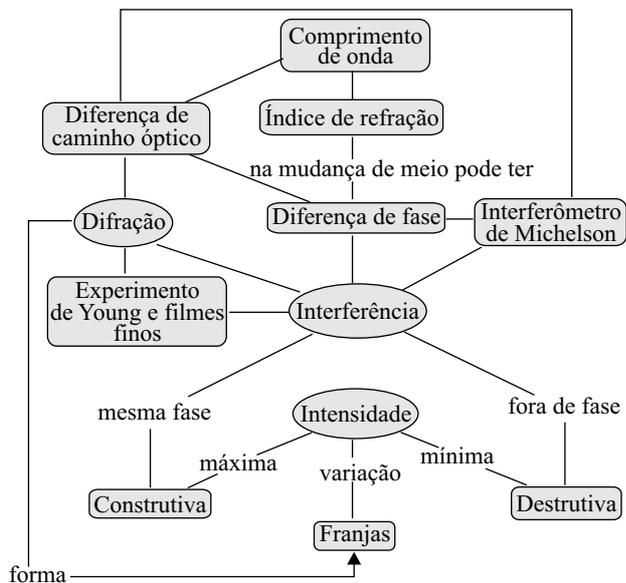
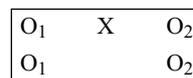


Figura 1 - Mapa conceitual elaborado por dois alunos do grupo experimental, enfocando os efeitos de difração e interferência.

4. Análise quantitativa dos dados

Tecnicamente, o delineamento foi quase-experimental do tipo grupo de controle (comparação) não equivalente. Este delineamento é o de número 10 da tipologia clássica de Campbell e Stanley [13]. Segundo estes autores, trata-se de um dos delineamentos mais difundidos na pesquisa educacional compreendendo um grupo experimental e outro de controle, dos quais ambos respondem um pré-teste e um pós-teste, porém, não possuem equivalência pré-experimental de amostragem. Ao contrário, ambos os grupos constituem entidades formadas naturalmente (como turmas de uma disciplina de graduação, por exemplo), tão similares quanto a disponibilidade o permita, ainda que não tanto que se possa prescindir do pré-teste. A designação do tratamento X a um outro grupo é aleatória e controlada pelo pesquisador.

Esquemáticamente, representa-se da seguinte maneira o delineamento 10 de Campbell e Stanley (op. cit.)



onde O₁ e O₂ são os testes inicial e final, respectivamente, e "X" o tratamento didático do grupo experimental.

A diferença entre este delineamento (quase-experimental) e um experimental é a não aleatoriedade na formação dos grupos.

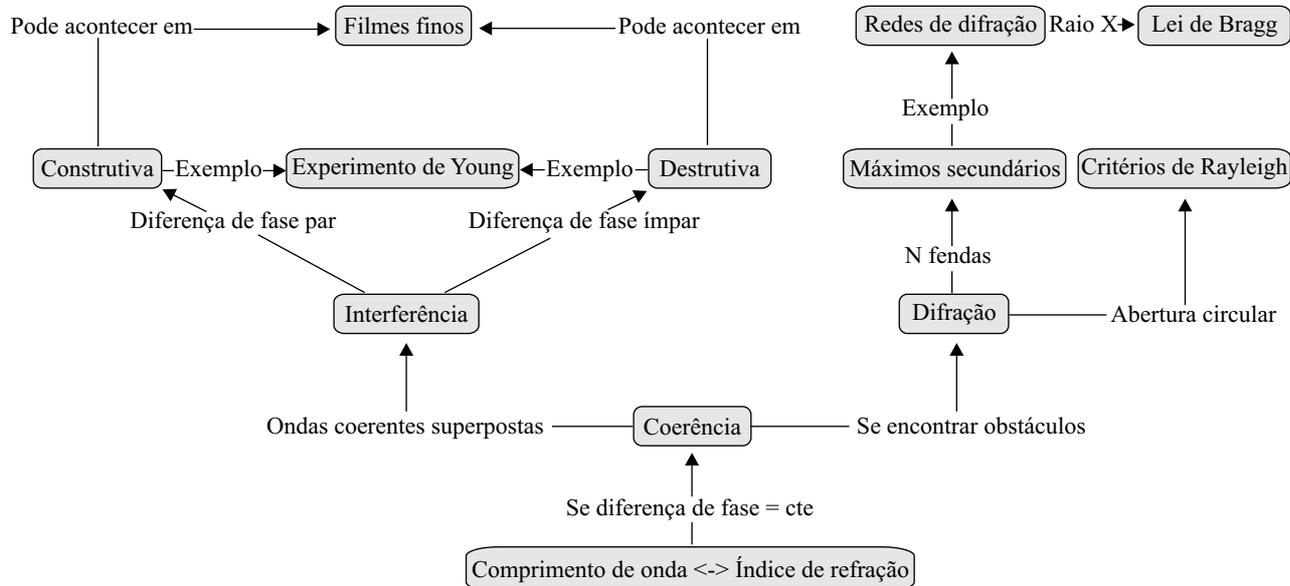


Figura 2 - Mapa conceitual elaborado por outro aluno do grupo experimental, também enfocando os efeitos de difração e interferência.

Além de reconhecer que este delineamento é muito usado na prática, ou seja, em situações reais de sala de aula, reconhecem também que a agregação de um grupo de controle não equivalente reduz em grande parte as ambigüidades que decorreriam de um delineamento de um só grupo com pré e pós-teste. Dizem ainda que “quanto mais similares sejam, na formação, os grupos experimental e controle e que quanto mais se confirme essa similaridade nos escores do pré-teste tanto mais eficaz resulta o controle de variáveis que possam, além do tratamento, explicar diferenças no pós-teste” (op. cit.)

Para comparar resultados pode-se trabalhar com análise de ganhos (diferença entre pós e pré-teste em cada grupo) ou com análise de co-variância, tomando a diferença no pré-teste como covariável.

Preferimos, no entanto, comparar os escores finais, uma vez que uma comparação estatística dos pré-testes não revelou diferença estatisticamente significativa. Ou seja, eram todos alunos de Física Geral e não houve diferença no pré-teste, minimizando-se, assim, a possibilidade de que outras variáveis pudessem explicar diferenças no pós-teste. O efeito “mortalidade” foi controlado por um teste de dados pareados. Os resultados apresentados a seguir nos levam a supor que os mapas conceituais tiveram um efeito facilitador na aprendizagem dos alunos do grupo experimental, mas isso será comentado mais adiante. Passamos agora aos dados do tratamento estatístico.

A Tabela 1 apresenta os valores das médias dos desempenhos do grupo experimental no pré e pós-teste. Como se pode observar nessa tabela a média do pós-teste foi maior do que a do pré-teste e a diferença foi estatisticamente significativa ao nível 0,01, usando o teste “t de Student” para dados não pareados.

Considerando que o número de sujeitos sofreu grande redução, foi analisado o desempenho do grupo experimental considerando apenas os 24 estudantes que responderam o pós-teste. Os resultados estão na Tabela 2.

Nesse caso, a diferença foi igualmente acentuada e a diferença, usando novamente o “teste t”, foi estatisticamente significativa ao nível 0,001.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de pré e pós-teste do grupo de comparação (controle). Nela observa-se que a diferença de médias do pré e pós-teste foi também diferente e a diferença foi estatisticamente significativa ao nível 0,01.

Os resultados até aqui apresentados mostram que houve melhora no desempenho dos alunos dos dois grupos no pós-teste.

Considerando que os dois grupos são constituídos por alunos de cursos diferentes (física e engenharia) poder-se-ia pensar que são grupos totalmente distintos desde o início, o que dificultaria a análise estatística. Entretanto, o teste “t de Student”, sendo função do desvio padrão, que é relacionado ao grau de heterogeneidade da amostra, também pode demonstrar a equivalência de duas amostras, ou seja, se são representativas da mesma população [14]. Com base nisso, o “teste t” foi aplicado aos escores obtidos no teste inicial pelos dois grupos, a fim de verificar a equivalência desses grupos.

Conforme consta na Tabela 4, o valor de t, calculado a partir dos dados coletados, é inferior ao “t crítico”, ao nível 0,05, sugerindo que não é possível rejeitar a hipótese H_0 de não diferença, o que conduz a suposição de equivalência dos grupos experimental e controle nesse nível de significância.

Tabela 1 - Comparação entre os testes inicial e final do grupo experimental.

	Número de observações	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico Bi-caudal	Significância estatística (p)
Pré-teste	64	8,72	7,76			
Pós-teste	24	13,21	10,23	6,40	2,63	0,01

Tabela 2 - Teste “t” para dados pareados a partir do grupo experimental.

	Número de observações	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística (p)
Pré-teste	24	9,08	8,17			
Pós-teste	24	13,21	10,08	4,26	3,77	0,001

Tabela 3 - Análise entre os testes inicial e final do grupo de comparação.

	Número de observações	Médias	Variâncias	Teste t	t crítico bi-caudal	Significância estatística (p)
Pré-teste	61	8,62	6,44			
Pós-teste	41	11,12	5,31	5,06	2,63	0,01

Tabela 4 - Análise do desempenho no pré-teste dos grupos experimental e de comparação.

Grupo	Observações	Média	Variância	Teste t	t-crítico	Significância estatística (p)
Experimental	64	8,72	7,76			
Comparação	61	8,62	6,44	0,20	0,22	0,83

Com base nessa suposição procedeu-se uma análise de variância (ANOVA) [15] para comparação dos dois grupos através da razão F de Snedecor [16] que estima o nível de significância estatística da diferença entre as variâncias.

Conforme exposto na Tabela 5, o valor da razão F supera o valor crítico ao nível de significância estatística 0,05. Isso significa que a hipótese nula, igualdade entre os grupos, pode ser rejeitada com probabilidade de erro de apenas 5%.

Tabela 5 - Análise do desempenho no pós-teste dos grupos experimental e de comparação.

Grupo	Observações	Média	Teste F	F crítico	Significância estatística (p)
Experimental	24	13,2	1,90	1,80	0,05
Comparação	41	11,12			

Portanto, se os dois grupos podem ser considerados inicialmente equivalentes, se houve diferença estatisticamente significativa ao final e se a principal diferença foi o uso dos mapas conceituais, podemos supor que o melhor desempenho do grupo experimental é atribuível a essa estratégia facilitadora da aprendizagem significativa. Naturalmente, essa suposição deve ser feita dentro das limitações impostas pelo fato de o delineamento não ser verdadeiramente experimental.

5. Concepções alternativas

A partir da aplicação do teste inicial, foi possível identificar algumas concepções alternativas sobre os conceitos da óptica física e algumas dificuldades que também foram exploradas durante as interações em sala de aula. Inicialmente, foram analisadas as respostas dos dois grupos, sendo um total de 125 alunos, pois, dessa forma, foi possível tornar mais evidente as concepções mais representativas. Com base nesses dados, foi elaborada a Tabela 6.

Tabela 6 - Concepções alternativas e dificuldades identificadas em ambos os grupos.

Conceitos	Concepções alternativas	Grupos		Total
		Experimental	Comparação	
Polarização	a) Somente o campo elétrico é polarizável; não concebem a polarização do campo magnético.	41	42	83
	b) A polarização consiste em definir uma direção preferencial de propagação da onda.	26	29	55
	c) Para que ocorra a polarização, a onda deve ser eletromagnética, sem haver referência às ondas transversais.	28	25	53
Difração	a) Luz de fonte pontual não pode sofrer difração nas bordas de obstáculos, propagando-se sempre de acordo com a óptica geométrica.	17	8	25
	b) Se há difração, não ocorre interferência da luz. Não consideram que os efeitos possam ocorrer juntos em um mesmo evento.	9	12	21
	c) Somente ocorre quando o comprimento de onda é da ordem da largura da fenda.	16	10	26
Luz	a) É uma onda eletromagnética bidimensional.	17	11	28
	b) É uma onda eletromagnética longitudinal.	11	19	30
	c) A amplitude da onda é que caracteriza a cor.	15	13	28
Interferência	a) Somente pode alterar a amplitude da onda - não consideram a possibilidade de mudança da fase ou frequência.	13	20	33
	b) Consideram que a sombra de um obstáculo não é bem definida nas extremidades devido exclusivamente ao efeito de interferência, sem abordar a difração.	15	9	24
	c) A interferência destrutiva ocorre com diferença de fase igual a $\pi/2$.	17	9	26
Coerência				

Conforme pode ser observado na Tabela 6, não foi encontrada nenhuma concepção alternativa que possa ser relacionada ao conceito de coerência (o que já poderia ser esperado, pois tal conceito não é abordado em estudos iniciais de física). Foi revelado pela aplicação do questionário e reforçado pelas interações em sala de aula que os alunos desconhecem o significado de tal conceito. As concepções alternativas mais frequentes estão relacionadas ao conceito de polarização. Isso sugere que esse conceito, nesse nível, ainda não é bem compreendido pelos alunos. Os estudantes mostravam-se surpresos quando, por exemplo, eram incitados a conceber a polarização do campo magnético. Mesmo após terem tido amplo contato com esse conteúdo, era notável que alguns estudantes permaneciam com essa concepção. Também é importante destacar a dificuldade em identificar o que é uma onda longitudinal ou transversal, confundindo os dois conceitos. Essa dificuldade, provavelmente, está além de diferenciar ondas mecânicas de eletromagnéticas, mas de compreender que estas últimas são sempre transversais no espaço livre porque os campos elétrico e magnético oscilam em direções perpendiculares à direção de propagação. Além disso, uma quantidade significativa dos alunos considera que a difração só pode ocorrer em situações nas quais o comprimento da onda é da ordem da largura de uma determinada abertura. Em relação ao conceito de interferência, a concepção de que é apenas uma alteração na amplitude da onda indica que desconhecem ou não consideram o caso mais geral, de ser possível haver alterações na fase e na frequência, além da amplitude.

6. Análise qualitativa

Além da análise quantitativa já apresentada, também foi realizada uma análise qualitativa a partir dos mapas conceituais, complementada pelas observações em sala de aula. Segundo Bardin [17], a análise de conteúdo pode ser adotada para qualquer tipo de material de comunicação, em que haja alguma condução de *significações* entre um emissor e um receptor. Dessa forma, a análise de conteúdo pode ser uma análise dos significados, como, por exemplo, a *análise temática*. Como técnica qualitativa, é flexível na maneira em que o analisador aborda o conteúdo, ou seja, cada conteúdo possui suas características e pode ser abordado de forma diferente, de acordo com os objetivos do estudo. Com base nessas concepções, foi possível categorizar os mapas conceituais da seguinte forma:

A - Mapas conceituais com várias relações de significados e conectores identificados. Essa categoria reúne os mapas conceituais bem estruturados, ou seja, os que relacionam adequadamente a maioria dos conceitos, e inclui duas subcategorias: “A.a”, que se refere aos mapas com todos os conectores identificados, indicando as relações entre os conceitos, e “A.b” que se refere aos

mapas que somente são apresentados alguns conectores identificados.

B - Mapas conceituais com várias relações de significados sem identificação nos conectores. A categoria “B” refere-se aos mapas com boa estrutura conceitual, mas sem identificação nos conectores.

C - Mapas conceituais superficiais. É a categoria que reúne os mapas conceituais pouco elaborados, de estrutura muito simples e pouco representativa.

O processo de categorização apresentado para os mapas conceituais é tal que cada mapa aparece em uma única categoria. O mesmo não ocorre para os alunos, o autor do mapa pode ser identificado em mais de uma categoria, expressando o seu nível de participação na elaboração dos mapas conceituais.

O gráfico da Fig. 3 apresenta a frequência dos mapas conceituais em cada categoria.

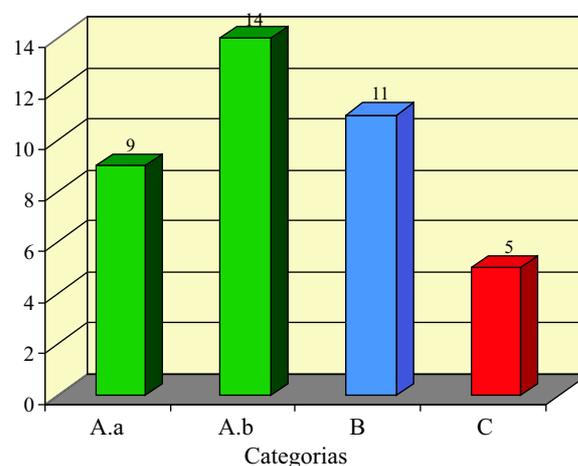


Figura 3 - Representação gráfica da categorização dos mapas conceituais.

Os mapas conceituais apresentados nas Figs. 1 e 2 se enquadram nas subcategorias “A.b” e “A.a”, respectivamente, representadas pelas barras verdes do gráfico acima. Para que os mapas conceituais tenham o efeito facilitador da aprendizagem significativa evidenciado, é necessário que os alunos tracem mapas bem elaborados, mas que também procurem identificar as relações de significado entre os conceitos, com conectores nomeados. Obviamente, durante a apresentação dos mapas conceituais, conectores não especificados ou outras questões acerca da compreensão conceitual podem ser esclarecidas. A categoria “A” é a que contém o maior número de mapas conceituais, isso sugere que houve uma quantidade expressiva de alunos que estudaram os conceitos da óptica física explorando muito bem essa ferramenta didática, o que reforça o motivo pelo qual o desempenho desses alunos ter sido melhor no teste final.

7. Considerações finais

A problemática do processo ensino-aprendizagem em sala de aula pode ser caracterizada pelas dificuldades na assimilação significativa de novas informações, possivelmente relacionada à falta de conhecimento prévio adequado. É bem verdade que existem conceitos que são abordados somente em cursos de nível superior, de modo que falar em concepções alternativas para esses conceitos pode perder o sentido, quando se trata do início da formação, nos níveis fundamental e médio. O aluno chega à universidade sem conhecimento prévio acerca desses conceitos. Entretanto, se durante o aprendizado de novos conteúdos em nível superior o estudante não atribuir significado às novas informações, além de as dificuldades permanecerem, é possível que novas concepções alternativas surjam ao longo do tempo.

O objetivo deste trabalho foi de analisar a utilização dos mapas conceituais como instrumentos potencialmente facilitadores da aprendizagem significativa de conceitos envolvidos no estudo da óptica física. Buscou também identificar as principais dificuldades na compreensão dos efeitos relativos ao comportamento ondulatório da luz e os respectivos conceitos. O fato de a investigação ter sido desenvolvida em situação formal de ensino representa uma contribuição importante para os resultados da pesquisa, pois a interação com os alunos ocorreu no principal cenário do processo ensino-aprendizagem: a sala de aula. Contudo, para a realização da pesquisa nesse ambiente, foi necessário enfrentar uma das principais dificuldades aí encontradas: inserir atividades extra-disciplinares com o consentimento dos estudantes. A desistência de vários alunos e a escolha de outros por não participar da pesquisa estão relacionadas à dificuldade intrínseca de se realizar uma pesquisa na sala de aula, não sendo o professor da disciplina. O processo de inserção das atividades de pesquisa nessa condição envolve persuadir os estudantes em participar de atividades que não estão previstas no plano de ensino da disciplina. Entretanto, como a investigação foi desenvolvida durante dois semestres consecutivos, possibilitando a interação com um número maior de alunos e uma coleta de dados mais expressiva, o seu resultado não foi prejudicado. Através da elaboração e discussão dos mapas conceituais foi possível elucidar dúvidas e reforçar o processo de mudança conceitual. Assim sendo, com base nos resultados dessa pesquisa, sugere-se que os mapas conceituais são instrumentos potencialmente facilitadores da aprendizagem significativa dos conceitos da óptica física e podem auxiliar o professor na identificação das dificuldades de aprendizagem dos conteúdos envolvidos.

Referências

- [1] L.C. Cudmani e M. Pesa, *Cad. Cat. Ens. Fis.* **16**, 208 (1999).
- [2] I.J.C. De Paulo, S.R. De Paulo e C. RINALDI, in *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências* (SBF, São Paulo, 1997).
- [3] K. Wosilait, P.R.L. Heron, P.S. Shaffer and L.C. McDermott, *Am. J. Phys.* **67**, 5 (1999).
- [4] J.D. Novak, *Underlying Concept Maps and How To Construct Them*. Disponível em <http://cmap.coginst.uwf.edu/info/>. Acessado em 26/2/2006.
- [5] M.A. Moreira, *Mapas conceituais no ensino da Física. Textos de Apoio ao Professor de Física n. 3* (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 1992).
- [6] R. Tavares e G. Luna, in *I Colóquio Internacional de Políticas Curriculares* (João Pessoa, 2003). Disponível em <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/-ICIPC.pdf>. Acessado em 29/7/2005.
- [7] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa* (Editora da UnB, Brasília, 1999).
- [8] M.A. Moreira, *Teorias de Aprendizagem* (Editora Pedagógica e Universitária LTDA, São Paulo, 1999).
- [9] M.A. MOREIRA e F. Ostermann, *Teorias Construtivistas. Textos de apoio ao professor de Física, n. 10* (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 1999).
- [10] D.P. Ausubel, J.D. Novak, H. Hanesian, *Psicologia Educacional* (Editora Interamericana Ltda, Rio de Janeiro, 1980), 2ª ed.
- [11] M.A. Moreira, *A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em Sala de Aula* (Editora da UnB, Brasília, 2006).
- [12] M.A. Moreira e F.L. da Silveira, *Instrumento de Pesquisa em Ensino e Aprendizagem: A Entrevista Clínica e a Validação de Testes de Papel e Lápis* (EDIPUCRS, Porto Alegre, 1993).
- [13] D.T. Campbell and J.C. in *Handbook of Research in Teaching*, edited by N.L. Gage (Rand McNally, Chicago, 1963), chap. 5.
- [14] G.M. Campos, *Estatística Prática para Docentes e Pós-Graduandos*. Disponível em: www.forp.usp.br/restauradora/gmc/gmc_livro/gmc_livro_cap19.html. Atualizada em 19/1/2001. Acessada em 10/8/2006.
- [15] T. Wonnacott, R.J. Wonnacott, *Introdução à Estatística* (Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1980).
- [16] P.L. de O. Costa Neto, *Estatística*. (Edgard Blücher, São Paulo, 1977).
- [17] L. Bardin, *Análise de Conteúdo* (Edições 70, Lisboa, 2004), 3ª ed.