

## UMA INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA RECONCEITUALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DEMONSTRATIVAS NO ENSINO DA ÓPTICA NO ENSINO MÉDIO

(An investigation of the influence of reconceptualization of demonstrative experimental activities of optics in high school)

**Jair Lúcio Prados Ribeiro** [jairlucio@gmail.com]

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Instituto de Física,  
Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, 70919-900, Brasília, DF.

**Maria de Fátima da Silva Verdeaux** [flettere@unb.br]

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Instituto de Física,  
Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, 70919-900, Brasília, DF.

### Resumo

Neste trabalho, é analisada a influência que o uso de experimentos demonstrativos pode trazer para a aprendizagem de Óptica. Assume-se que a presença de atividades experimentais, quando reconceitualizadas segundo a proposta de Hodson, tende a contribuir para a geração de conflitos cognitivos, se comparada à experiência didática tradicional. São dadas justificativas para uma análise dessa mudança sob um viés piagetiano, compatibilizado com a proposta de Hodson. A metodologia utilizada para a estrutura de apresentação dos temas foi “quase-experimental”, contrastando um grupo experimental a um grupo de controle. A mensuração da eficácia do método de trabalho foi feita a partir de uma análise que combinou fatores quantitativos e qualitativos, identificando que alguns dos tópicos apresentaram melhores resultados na aprendizagem, por estarem mais vinculados às experiências realizadas.

**Palavras-chave:** óptica; ensino de óptica; ensino de física; experimentos.

### Abstract

In this work, we analyze the influence that the use of demonstrative experiments can bring to the learning of optics. It is assumed that the development of experimental activities, when reconceptualized according to Hodson proposal, tends to contribute to the generation of cognitive conflicts when compared to traditional didactic experience. Justifications are given for an analysis of changes under a Piagetian bias, reconciled with Hodson proposal. The methodology used to structure the topics presentations was quasi-experimental, contrasting an experimental group with a control group. The measuring of the effectiveness of the suggested working method was made from a quantitative analysis, which identified some of the topics discussed had better results in learning, being more tied to the experiments carried out.

**Keywords:** optics; optics teaching; physics teaching; experiments.

### Introdução

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN) (BRASIL, 1998), a Física não é uma disciplina estanque, fazendo parte de um conjunto maior, nominalmente as “ciências da natureza, matemática e suas tecnologias”. Por ser considerada uma ciência da natureza, é esperado que a observação e compreensão de fenômenos naturais explicados pelas teorias da Física estejam presentes na sua apresentação aos alunos.

A experimentação é uma parte desse processo. Observar diretamente um fenômeno pode levar o estudante a ter uma visão nova ou diversa sobre o mesmo. Os próprios professores afirmam que a experimentação é fundamental para a maior compreensão de um tema, e várias obras

presentes nessa revisão mostram falas dos próprios professores em atividade ou em formação, corroborando essa informação (Laburú et al., 2007; Rosa e Rosa, 2005; Grandini e Grandini, 2004).

Para Araújo e Abib (2003), “os autores são unânimes em defender o uso de atividades experimentais”, em especial pela capacidade intrínseca dos experimentos de estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse, além da tendência que a experimentação propicia para a construção de um ambiente motivador (op. cit., 2003). A unanimidade nem sempre é conseguida, entretanto, na efetiva aplicação de atividades experimentais em sala de aula. Apesar da sua inegável importância como recurso instrucional (Araújo e Abib, 2003), a atividade experimental não está sempre presente nos cursos de Física de ensino médio, e muitas vezes apresenta sérias dificuldades para ser implantada com eficácia. A própria literatura assim o demonstra.

Apesar do grande volume de artigos que ressaltam as vantagens da atividade experimental, há um número também relevante de artigos que apresentam o ponto de vista contrário: embora o trabalho experimental seja importante para o aprendizado da Física, ele raramente é utilizado ou quando o é, muitas vezes sua importância é superestimada ou mal compreendida. Não é raro também que a ausência de experimentação em sala seja atribuída à má formação do professor ou seu despreparo para as exigências da profissão (Laburú et al, 2007). Já Hodson (1994) alega que o trabalho experimental, mesmo quando realizado por um professor habilitado para tal, não necessariamente se mostrará eficaz. Percebe-se nessas falas que não há apenas uma necessidade de um maior uso da experimentação para o ensino de ciências, mas também a realização de experiências que sejam capazes de levar o estudante a realmente compreender os métodos das ciências naturais. Em outras palavras, a prática experimental deve ser revista, ou reconceitualizada, segundo a proposta central do artigo de Hodson.

A pesquisa descrita nesse trabalho tem como foco a análise da influência que a experimentação pode trazer para o aprendizado da óptica. Para tal, conjecturamos que a condução de experiências demonstrativas em sala, quando reconceitualizadas, tende a contribuir para a geração de conflitos cognitivos no estudante, estimulando o aprimoramento dos esquemas mentais do estudante, quando comparada à experiência didática tradicional, onde a experimentação frequentemente está ausente. A análise da influência da experimentação em nosso trabalho é predominantemente quantitativa, mas discussões qualitativas baseadas na experiência didática desenvolvida durante a pesquisa também estão presentes. Uma significativa parcela dos experimentos realizados durante a pesquisa foi adaptada de sugestões constantes em artigos da revisão bibliográfica, a qual já foi publicada em trabalho anterior (Ribeiro e Verdeaux, 2012), colaborando para a integração entre a pesquisa na área de ensino de ciências e a sua aplicação efetiva em sala de aula.

## Referencial teórico

Mesmo que um professor não tenha uma longa experiência como regente de turmas de ensino fundamental ou médio, é possível perceber a extrema dificuldade que o aprendizado de ciências apresenta para os estudantes, de forma geral. E, evidentemente, o seu complemento natural é também rapidamente identificado: é muito difícil *ensinar* ciências. Para Driver et al. (1999), as causas dessas dificuldades residem, em parte, no fato de estarem envolvidos múltiplos fatores na aprendizagem de ciências, tais como a experiência pessoal, a linguagem utilizada e os processos de socialização envolvidos.

Não há uma única visão sobre como se dá a aprendizagem das ciências. Algumas das visões concorrentes podem ser citadas, de acordo com Driver et al. (1999): uma delas se baseia na construção individual de significados, com foco nas várias teorias que as pessoas desenvolvem

sobre a natureza e na reelaboração ou substituição dessas teorias por outras, a partir da análise de atividades práticas (essa visão era comumente chamada pelo rótulo *mudança conceitual*, termo hoje em desuso, havendo uma preferência pela expressão *evolução conceitual*). Outra visão descreve o processo de construção de conhecimento como consequência da imersão do aluno em discussões científicas. Já uma terceira vê esse processo como um aprendizado das práticas científicas, com ênfase no estudo de como os alunos usam o conhecimento informal na interação com o conhecimento científico apresentado em sala.

Uma parte do processo de educação em ciências se fundamenta em substituir gradativamente as ideias prévias e informais que um estudante tem sobre um tema pela abordagem científica pertinente. Essa substituição é feita a partir da construção mental dessa abordagem científica pelo indivíduo: daí a origem da expressão *construtivismo*. Dadas as dificuldades de obtenção de uma definição rigorosa para esse termo, chamamos de construtivismo a visão sustentada por Bastos et al. (2004). De acordo com o trabalho desses autores, as ideias construtivistas principais podem ser assim resumidas: o indivíduo não é uma folha em branco (já possui elementos mentais prévios, tanto de conteúdo quanto de forma) e, para que haja aprendizagem, deve haver atividade mental, pois as informações dos meios físicos e sociais não possuem significados intrínsecos, sendo o indivíduo que atribui significados a elas.

Não é raro ouvir o nome de Piaget como sinônimo da linha construtivista que muitas instituições de ensino dizem adotar. Moreira (1999) corrobora tal afirmação: “existem outras visões construtivistas, mas o enfoque piagetiano é, indubitavelmente, o mais conhecido e influente” (p. 97). Essa influência indissolúvel vem da teoria do desenvolvimento mental elaborada por Piaget, muitas vezes confundida com uma teoria de aprendizagem. Não consideramos que esse trabalho e a pesquisa que lhe deu origem sejam estritamente construtivistas, mas como o ideário piagetiano foi escolhido como a referência teórica pedagógica nesse trabalho, é provável que sejam percebidas inevitáveis semelhanças com pesquisas construtivistas anteriores.

Para Ferracioli (1999), Piaget não concebeu, *a priori*, uma teoria de ensino e aprendizagem. Assim, adotamos como linhas-guia as interpretações que Moreira (1999) e Ferracioli (op.cit.) nos apresentam sobre a obra de Piaget, quando aplicada (ou recontextualizada) ao ensino de ciências. Desta forma, consideramos que Piaget apresenta uma teoria para entender como se dá a construção do pensamento, ou mais especificamente, o desenvolvimento cognitivo do indivíduo.

Moreira (1999) nos diz que, apesar da divisão do desenvolvimento cognitivo em fases ser o mais popular item da obra de Piaget, o “núcleo-duro” de sua teoria é a tríade *assimilação, acomodação e equilíbrio*, além dos conceitos de *esquema* e *conflito cognitivo*.

A *assimilação* ocorre quando o indivíduo incorpora a realidade percebida dentro de um *esquema* mental, sem modificação do mesmo. O *esquema* é um construto pessoal de técnicas mentais que permitem o entendimento do mundo. Alguns fenômenos, entretanto, não podem ser assimilados diretamente pelos esquemas prévios que o indivíduo possui. Diz-se que, nessas situações, o esquema existente está submetido a um *conflito cognitivo*. Esse conflito só é resolvido a partir de um esforço pessoal, chamado de *acomodação*, o qual surge quando a realidade assimilada provoca modificação dos esquemas mentais do indivíduo, e permite a construção de novos esquemas de assimilação.

A preocupação central de Piaget foi com a descrição e detalhamento desse processo de construção e reconstrução dos esquemas mentais (Mortimer, 1996). Os teóricos do construtivismo deram um passo além: ideias aparentemente negligenciadas na obra de Piaget foram revisitadas, com ênfase não mais na tríade *assimilação – acomodação – equilíbrio*, mas na substituição de um esquema mental prévio (as *concepções alternativas*) por um esquema mental mais robusto, que

seria produzido após o estudante passar pelo processo de *mudança conceitual* ou *evolução conceitual* (op.cit., 1996).

A atividade experimental é, ao menos potencialmente, uma grande seara de conflitos cognitivos para o estudante. Apesar das críticas ao trabalho experimental, Hodson (1994) apresenta razões significativas para o desenvolvimento de práticas experimentais com os alunos, afirmando que são poucas as pesquisas que já se preocuparam em medir a eficiência de tal recurso para o ensino de ciências. As vantagens do trabalho experimental, para o autor, devem ser buscadas na reconceitualização dessas atividades. Simplificadamente, o processo de reconceitualização do trabalho de laboratório significa a integração do mesmo dentro de um plano de ensino que vise ao ensino da ciência, da natureza do conhecimento científico e dos seus métodos.

Resumidamente, vemos assim a relação entre nosso referencial teórico e a pesquisa aqui relatada: o uso de experimentos demonstrativos (realizados pelo professor) em sala de aula é uma situação especialmente preparada para o surgimento e posterior resolução de conflitos cognitivos. Mas não basta apenas apresentar a experiência aos estudantes, pois se pode correr o risco de transformá-la apenas em um evento lúdico, sem real significância no aprendizado dos estudantes. Deve-se buscar contextualizá-la, englobá-la em um espectro mais amplo de fenômenos do que apenas a experiência em si, a fim de que os esquemas mentais saiam realmente fortalecidos após a apresentação e discussão do experimento, visando a reconceitualização do trabalho experimental, a partir da reflexão sobre essa prática, objetivando o fortalecimento dos esquemas mentais pré-existentes.

## Revisão bibliográfica

Em sua revisão, Araújo e Abib (2003) mostram que há uma variedade significativa de possibilidades e tendências de uso da experimentação. Na literatura revisada no artigo, a experimentação é proposta e discutida de maneira bastante diversa quanto ao significado que essas atividades podem assumir, dependendo do contexto escolar. Como principais linhas de aplicação, encontram-se atividades de verificação de modelos teóricos, atividades de demonstração, atividades de observação investigativa e atividades de experimentação investigativa.

A pesquisa sobre o uso de experimentos em sala de aula, entretanto, não é homogênea em todas as áreas temáticas da Física. Atividades experimentais no ensino de mecânica são mais presentes na literatura revisada por Araújo e Abib (2003)<sup>1</sup>, entre os anos de 1992 a 2001, com a Óptica ocupando o segundo lugar na mesma lista. Assim, conduzimos uma revisão bibliográfica de artigos presentes em periódicos entre os anos de 1998 a 2010, divulgando a mesma em publicação anterior (Ribeiro e Verdeaux, 2012), dividindo os artigos em função dos seus temas, conforme apresentado na tabela 1.

Nossa principal preocupação durante a revisão foi a seleção de sugestões de atividades experimentais que pudessem ser utilizadas na pesquisa. No planejamento original da pesquisa, já possuíamos o material necessário para algumas das experiências que conduzimos; ademais, percebemos que certos experimentos, já previstos para apresentação em sala de aula, já constavam da literatura revisada, em geral com sugestões que iam além do nosso foco inicial. Essa coincidência de interesses terminou por estimular nossa intenção de revisar o maior número de artigos possíveis, a busca de outras correlações entre a nossa prática didática e a produção acadêmica na área de ensino de Óptica.

---

<sup>1</sup> Periódicos revisados pelos autores citados: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* e *Física na Escola*.

Tabela 1 - Classificação dos artigos por tópico de estudo e ano de publicação

Tema / Ano	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	Total
Natureza da luz			1	1	1	1	2			1	3	1	2	13
Reflexão			1	1			3		1	1	1			8
Refração	1	2	2	2	1		1	1	2	1	3	1		17
Difração		2		2	3			1		2	1	1	1	13
Interferência	1			1			2			1			1	6
Polarização	1							1	1					3
Espalhamento					1						1		2	4
Total	3	4	4	7	6	1	8	3	4	6	9	3		58

## Metodologia

A pesquisa foi realizada em uma escola de ensino infantil, fundamental e médio, situada no Setor Central do Gama, cidade-satélite de Brasília, no Distrito Federal. A escola atuava com o ensino médio apenas no turno matutino (com aulas eventuais no turno vespertino e aos sábados), fundamental do 1º ao 9º ano (matutino e vespertino) e infantil (matutino e vespertino). A estrutura física das salas de aula da escola era adequada à condução de aulas, tanto expositivas quanto experimentais. O único recurso didático presente nas mesmas era o quadro de giz. No ensino médio, havia no ano de 2008 (data de realização da pesquisa), duas turmas de cada série do ensino médio. As atividades experimentais realizadas durante a pesquisa foram executadas nas próprias salas de aula. Os alunos, em sua grande maioria, moravam na própria cidade onde se localiza a escola. Suas condições socioeconômicas não foram aferidas na pesquisa, para evitar constrangimento perante a direção da escola. Informalmente, os estudantes podem ser incluídos na classe média.

As salas eram mal ventiladas, devido a um número pequeno de janelas (apenas duas por sala) e de tamanho reduzido. Essa desvantagem se revelou um trunfo para as aulas no grupo experimental: a facilidade com que a sala poderia ser reduzida à quase completa escuridão, facilitando a visualização das experiências por parte dos alunos. O rastro deixado por um apontador *laser* quando sua luz atravessa o pó de giz, por exemplo, é de difícil visualização em ambientes que não possam ter sua luminosidade natural ou artificial bastante reduzida.

As duas turmas escolhidas para o desenvolvimento da pesquisa foram o 2ºA (composto de 42 estudantes) e o 2ºB (composto de 40 estudantes), pois a Óptica é apresentada no segundo ano do ensino médio. De forma aleatória, o 2ºA foi escolhido como grupo experimental, e o 2ºB como grupo de controle. Ambos os grupos podiam ser descritos como relativamente calmos e participativos (nem todos os alunos eram igualmente participativos). O rendimento (notas) das duas turmas em Física também era bastante homogêneo: um levantamento feito pela direção da escola no ano anterior à realização da pesquisa revelou que a média geral de ambas as turmas na disciplina diferia em 0,2 pontos (máximo de 10), com vantagem para o 2ºB, escolhido como grupo de controle.

Na escola, durante o ano de 2008, nossa disciplina possuía três aulas semanais em todas as séries do ensino médio. Essas aulas eram divididas entre dois professores, em duas frentes distintas de abordagem. No segundo ano, possuíamos duas aulas semanais, chamadas de “aulas duplas”, por serem conjugadas. Essa situação foi requerida de forma intencional à coordenação do ensino médio para viabilização da pesquisa. Ficamos responsáveis pela apresentação dos tópicos de Óptica e

Ondulatória, enquanto a Termologia era conduzida de maneira independente por um segundo professor. A Óptica ocupou os meses de fevereiro a junho, em ambas as turmas, em 12 semanas de aula. O livro didático adotado foi a obra *Física: história & cotidiano: Termologia, Óptica, Ondulatória e Hidrodinâmica*, de autoria de Bonjorno e Clinton (2004), sendo utilizado em sala de aula principalmente como um arcabouço de exercícios didáticos, mas alguns alunos do grupo experimental, no decorrer das aulas, comparavam as experiências realizadas em sala com fotos semelhantes presentes no livro didático.

No Grupo experimental (2<sup>ª</sup>A), a exposição do conteúdo foi conduzida sempre a partir de atividades experimentais demonstrativas motivadoras, apresentadas ao longo de toda a aula. Já no Grupo de controle (2<sup>ª</sup>B), as aulas foram totalmente expositivas, e nenhuma atividade experimental foi exposta ou proposta aos estudantes dessa turma. Procurou-se que a sequência de exibição do conteúdo durante as aulas fosse a mais idêntica possível, com a diferença da presença ou não de experiências sobre o tema. Por exemplo, na aula sobre dispersão da luz, foi feito um relato sobre a experiência da dispersão da luz com um prisma, realizada por Isaac Newton, no início das duas aulas, e em seguida a experiência foi desenhada no quadro. No grupo experimental, essa experiência foi conduzida em sala após esse desenho, e perguntas foram feitas aos alunos sobre ela, sempre buscando que o experimento não ficasse restrito apenas ao seu caráter lúdico, mas que os estudantes adquirissem uma maior compreensão da atividade científica a partir da atividade experimental demonstrativa (AED) motivadora, com vistas à reconceitualização do mesmo segundo a proposta de Hodson. No grupo de controle, foram feitas as mesmas perguntas, mas tomando somente o desenho como apoio. Já nas aulas destinadas à realização de exercícios didáticos, os mesmos exercícios foram resolvidos em ambas as turmas.

Na primeira aula em cada turma, foi aplicado um pré-teste (Anexo 1) para a verificação do conhecimento prévio que os alunos possuíam em Óptica, em particular sobre os temas da natureza da luz, reflexão, refração, difração e espalhamento de Rayleigh. O pré-teste continha catorze questões objetivas de quatro itens (nomeados *a*, *b*, *c* e *d*). Todos os enunciados das questões foram retirados da obra de Hewitt (2002), mas os itens foram criados por nós. O teste poderia ser levado pelo aluno, após o professor anotar os resultados em um gabarito de condensação de respostas. Os alunos receberam uma pontuação extra nas notas bimestrais por terem realizado o pré-teste e o pós-teste para qualquer índice de acertos em ambos os testes. Nenhum aluno dos dois grupos estava ausente na data estipulada do pré-teste. O mesmo se repetiu no pós-teste, e nenhum estudante foi inserido ou retirado das suas respectivas turmas, ao longo do primeiro semestre de 2008, momento de condução da nossa pesquisa. Pode-se perceber aqui que os dois testes são idênticos, e o fato dos alunos terem as questões consigo poderia induzir maiores rendimentos no teste posterior, em relação ao prévio. Entretanto, acreditamos que esse fato não se verificou, pois os estudantes não sabiam que o mesmo teste seria aplicado ao final do processo, por não ser usual que um professor aplique duas “provas” idênticas.

Após a apresentação do conteúdo ao longo das dez aulas seguintes, distribuídas ao longo de mais de quatro meses, foi aplicado um pós-teste em ambos os grupos, contendo as mesmas questões do pré-teste. As questões do pré-teste e do pós-teste eram idênticas, mas as ilustrações de óptica presentes no pré-teste foram retiradas (as ilustrações não possuíam relação com os conteúdos cobrados nos testes, e portanto não alterariam a capacidade de resposta dos estudantes). Como antes, as respostas dos alunos foram anotadas em um gabarito de condensação de respostas. Os tópicos dedicados ao estudo dos principais instrumentos ópticos e ao detalhamento dos problemas de visão não foram discutidos no primeiro semestre, tanto por falta de tempo hábil quanto por não pertencerem ao tema da pesquisa conduzida.

## **Aulas conduzidas no Grupo Experimental e no Grupo de Controle**

A seguir, encontram-se resumidas a exposição didática (em ambas as turmas) e as atividades experimentais demonstrativas (AED) conduzidas junto ao grupo experimental. A diferença fundamental entre as duas aulas residiu na presença de experimentos no grupo experimental, enquanto no grupo de controle tais atividades não foram realizadas. Procurou-se estabelecer a mesma sequência de apresentação do conteúdo em ambos os grupos, inclusive no tempo utilizado para a apresentação do conteúdo. Percebemos que houve uma “sobra” de tempo de aula no grupo de controle, quando comparado com o grupo experimental. Esse tempo foi utilizado na resolução de exercícios didáticos, principalmente.

### *Aula 1 (15/02/2008) – Natureza dual da luz, luz e sombra*

A primeira aula foi dedicada apenas à aplicação do pré-teste. Não foi estipulado o tempo máximo que os alunos poderiam utilizar a realização do pré-teste. A grande maioria deles, entretanto, terminou o pré-teste em pouco mais de quarenta minutos. O restante da aula foi dedicado a convencer os alunos da importância de participação na pesquisa, contudo os procedimentos metodológicos que seriam usados não foram detalhados. Foi-lhes garantido o total anonimato. Essa aula foi repetida, sem mudanças significativas, no grupo de controle.

É interessante observar que os estudantes ficaram muito curiosos, e ao mesmo tempo apreensivos, ao saber que seriam participantes em uma pesquisa acadêmica. Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, entretanto, o grupo de controle tomou conhecimento do fato de que uma metodologia bastante diversa estava sendo utilizada no grupo experimental, e naturalmente protestaram contra tal “injustiça”. Após alguma argumentação sobre a importância dessa metodologia para a pesquisa, foi acordado com os alunos que as mesmas experiências e discussões seriam realizadas no grupo de controle, após o término da pesquisa. Esse acordo foi cumprido já na aula dedicada à aplicação do pós-teste, após a entrega dos testes pelos estudantes, quando iniciamos a apresentação dos experimentos nesse grupo.

### *Aula 2 (22/02/2008) – Natureza dual da luz, luz e sombra*

Em ambas as turmas, a aula foi iniciada com um questionamento sobre a natureza da luz, com apresentação de duas opções: partícula ou onda. Questionou-se também sobre a necessidade ou não da presença de luz para que um objeto seja visualizado. Apresentou-se o modelo da propagação retilínea da luz, com a sua aplicação aos conceitos de sombra e penumbra, com ênfase no estudo dos eclipses.

Atividades experimentais:

- **AED 01:** direcionamento de um apontador laser, com espalhamento de pó de giz sobre a trajetória da luz, com a visualização de um rastro.
- **AED 02:** difração da luz emitida por um apontador laser ao passar por um fio de cabelo.
- **AED 03:** “Sala do Nada”, conforme sugerido por Gircoreano e Pacca (2001).
- **AED 04:** projeção de sombras de objetos opacos usando a luz emitida por uma vela.
- **AED 05:** projeção de sombras de objetos opacos usando a luz emitida por duas velas.

*Aula 3 (29/02/2008) Fundamentos da Óptica: cor*

Foi feito um relato histórico sobre o contexto em que Newton realizou suas experiências, especialmente a célebre experiência do prisma. Discutiu-se o modelo da luz branca, apresentando-a como a mistura de “todas as cores” e da “cor negra” como resultado da ausência de luz. Realizou-se um questionamento se todas as cores seriam necessárias para que o olho humano visualize a cor branca. Discutiu-se a adição de cores, com a apresentação das “equações” para adição das cores, além da diferença entre cor-luz e cor-pigmento.

Atividades experimentais:

- **AED 06:** dispersão da luz branca, utilizando um retroprojektor e um prisma de acrílico, com projeção do espectro em um anteparo.
- **AED 07:** uso de um disco de Newton didático para a somatória de cores.
- **AED 08:** adição das cores primárias, usando três lâmpadas, nas cores vermelha, verde e azul.
- **AED 09:** adição de cores usando sombras de objetos opacos.
- **AED 10:** adição de cores em uma base plástica, contendo quatro lâmpadas diferentes: vermelha, verde, azul e amarela. Visualização do efeito resultante sobre objetos acrílicos, coloides e silicone.

*Aula 4 (07/03/2008) Reflexão: fundamentos e espelhos planos*

Foram discutidos fenômenos onde a reflexão da luz está presente, e em seguida apresentada a lei da reflexão, com uma argumentação a seu favor a partir do princípio de Fermat. Apresentou-se a ideia de prolongamento de raios e a construção geométrica da imagem virtual. Os desenhos que representam e explicam a associação de espelhos em ângulo, além da expressão para o cálculo do número de imagens formadas, também foram expostos.

Atividades experimentais:

- **AED 11:** reflexão da luz em um espelho plano, com o uso de pó de giz para visualização da trajetória.
- **AED 12:** reflexão especular (espelho limpo) e difusa (espelho molhado com um aspersor) da luz em um espelho plano.
- **AED 13:** incidência de dois feixes de laser em um espelho plano, paralelos ou divergentes.
- **AED 14:** “Teatro” com duas alunas para mostrar as propriedades de uma imagem em um espelho plano.
- **AED 15:** Rosto refletido em um espelho de bolso, conforme sugerido por Hewitt (2002).
- **AED 16:** múltiplas reflexões de um feixe laser em dois espelhos planos, com a produção de múltiplas imagens.

*Aula 5 (28/03/2008) – Reflexão da luz: espelhos esféricos*

Foram apresentados os três tipos de espelhos: côncavo, plano e convexo (no grupo experimental, esses espelhos foram mostrados aos estudantes, e no grupo de trabalho foram apenas desenhados no quadro). A seguir, foram discutidos os pontos de interesse geométrico dos espelhos esféricos (centro, foco e vértice). Foi exposto o conceito de foco real e virtual, para que os principais raios notáveis pudessem ser apresentados e a construção de imagens usando tais raios fosse possibilitada.

Atividades experimentais:

- **AED 17:** apresentação da cáustica em uma xícara, conforme sugerido por Catelli e Vicenzi (2004).
- **AED 18:** determinação do foco de um espelho côncavo usando dois feixes laser paralelos (convergentes após reflexão no espelho) e pó de giz.
- **AED 19:** demonstração da divergência de raios paralelos incidentes em um espelho convexo presente em uma embalagem de perfume.
- **AED 20:** reflexão da luz em um espelho convexo, apresentando os anéis de Newton formados devido às irregularidades da superfície (resultantes da interferência luminosa entre os raios refletidos).
- **AED 21:** formação da imagem real, invertida e menor no espelho côncavo, usando uma lâmpada externa à sala, distante do espelho.
- **AED 22:** formação da imagem real, invertida e maior no espelho côncavo, usando a chama de uma vela.
- **AED 23:** apresentação de uma imagem real não projetada, conjugada a partir da associação de dois espelhos côncavos.
- **AED 24:** Formação de duas imagens no bulbo de uma lâmpada incandescente, conforme sugerido por Catelli e Reis (2004).

*Aula 6 (04/04/2008) - Reflexão da luz: exercícios*

Esse encontro foi dedicado à resolução de exercícios do livro-texto. Em acordo com a direção da escola, foi decidido que os métodos de abordagem do conteúdo poderiam ser diferentes, mas os exercícios didáticos deveriam ser os mesmos, a fim de que o conteúdo das provas bimestrais pudesse ser idêntico. Todos os exercícios escolhidos para resolução em sala constavam em certames vestibulares anteriores. Os exercícios foram pedidos como tarefa de casa, com uma semana de antecedência, e corrigidos em sala nesse encontro. Optamos por exercícios mais conceituais, pois mesmo no grupo de controle a discussão dos temas da Óptica não foi realizada com ênfase nos seus aspectos algébricos. Alguns exercícios envolvendo aspectos numéricos ou literais foram escolhidos ainda assim, para o reforço desses aspectos.

*Aula 7 (11/04/2008) – Refração e reflexão total da luz*

Apresentou-se o conceito de índice de refração. Argumentou-se então a favor da lei de Snell, sem uma dedução formal da mesma, através do princípio de Fermat. Em seguida, foi apresentado o

conceito de ângulo limite e sua relação com a reflexão total, para a qual foram dados vários exemplos práticos, como a reflexão total em pedras preciosas, a fibra óptica, o espelhismo e a miragem.

Atividades experimentais:

- **AED 25:** desvio de um feixe de luz laser ao passar por um dioptra (o ar e a água presentes em uma garrafa).
- **AED 26:** desaparecimento de um bastão de acrílico imerso em tetracloreto de etileno.
- **AED 27:** desaparecimento de esferas de hidrogel na água.
- **AED 29:** reflexão total em um bastão de acrílico (modelo para a fibra óptica).
- **AED 30:** espiral formada pela luz ao sair do bastão de acrílico.
- **AED 31:** abajur de fibra óptica.
- **AED 32:** reflexão total em um bastão curvo.
- **AED 33:** reflexão total e múltiplas refrações de um feixe laser em uma peça de vidro lapidado imersa no ar, com o formato de um diamante.

#### *Aula 8 (18/04/2008) – Prismas e dispersão da luz branca*

Apresentou-se com mais detalhes a teoria corpuscular de Newton e a sua concorrente histórica, a teoria ondulatória da luz de Huygens. Ambas foram então aplicadas na explicação da dispersão da luz branca por um prisma, com conseqüente projeção de um arco-íris. Foi questionado se haveria um arco-íris invisível, e discutiu-se então a ideia de “luz invisível”, em especial o infravermelho e o ultravioleta. A explicação da dispersão foi usada então para elucidar fenômenos cotidianos, como o arco-íris, a aberração cromática em lentes e a cor branca das nuvens.

Atividades experimentais:

- **AED 06:** dispersão da luz emitida por um retroprojetor com o uso de um prisma de acrílico.
- **AED 34:** dispersão da luz em esferas de hidrogel.
- **AED 35:** aberração cromática na lente de Fresnel do retroprojetor.

#### *Aula 9 (09/05/2008) – Lentes e Óptica da visão*

Foram apresentados os principais tipos de lentes esféricas (convergentes, divergentes) e tóricas (correção do astigmatismo). Após a discussão da existência ou não de focos reais em tais lentes, foram apresentados os conceitos de vergência e a técnica de justaposição de lentes. Em seguida, foram demonstradas as principais construções geométricas que explicam a formação de imagens a partir do uso de lentes esféricas, com uma rápida discussão dos instrumentos ópticos onde elas estão presentes e dos problemas de visão que podem ser corrigidos a partir do uso das mesmas (miopia e hipermetropia, seguidas de uma rápida exposição sobre o astigmatismo).

Atividades experimentais:

- **AED 36:** trajetória de dois feixes laser ao passarem por lentes convergentes e divergentes.
- **AED 37:** combustão de papel preto colocado no foco de uma lente de Fresnel, usando o retroprojektor, conforme sugerido por Catelli e Franco (2006).
- **AED 38:** formação e projeção da imagem real (maior e menor que o objeto), com o uso de uma lente convergente.
- **AED 39:** uso de lentes de óculos para mostrar a divergência e a convergência dos raios, com o uso de um retroprojektor.

#### *Aula 10 (16/05/2008) – Refração (exercícios)*

Esse encontro foi dedicado à resolução de exercícios do livro-texto, todos eles presentes em exames vestibulares nacionais. Os exercícios escolhidos versaram sobre temas como a refração, a formação da imagem virtual no dioptra, a reflexão total e suas aplicações, a diferença entre lentes convergentes e divergentes, entre outros. Os exercícios didáticos escolhidos para resolução em sala foram pedidos como tarefa de casa, com uma semana de antecedência.

#### *Aula 11 (30/05/2008) – Difração e espalhamento*

Foram apresentados os conceitos de difração e espalhamento, de forma puramente qualitativa, e sua relação com fenômenos cotidianos como a cor azulada do céu, a cor avermelhada do sol no poente, as cores exibidas por reflexão em um CD, a cor alaranjada da Lua no início da sua trajetória pelo céu, as cores do Sol e da Lua quando estão a pino.

Atividades experimentais:

- **AED 02:** difração da luz emitida por um apontador laser ao passar por um fio de cabelo (repetição).
- **AED 40:** difração da luz emitida por um apontador laser em um CD e um DVD, sem película refletora, conforme sugerido por Costa (2007).
- **AED 41:** projeção do espectro da luz do retroprojektor usando o CD, conforme sugerido por Catelli (1999).
- **AED 42:** uso de uma lanterna e aquário com água e leite para mostrar o espalhamento da luz. Adaptação da sugestão de Krapas e Santos (2002).

#### *Aula 12 (20/06/2008) – Aplicação do pós-teste*

Esse último encontro foi dedicado à aplicação do pós-teste, anotação das respostas dos alunos no gabarito de condensação de respostas e apresentação das respostas do teste aos alunos. Em seguida, discutiu-se com os alunos os aspectos gerais da percepção que eles tiveram sobre a pesquisa.

## Resultados e análise estatística

A metodologia usada nesse trabalho baseou-se em um grupo experimental e outro de controle. Encontramos em Almeida e Moreira (2008) uma definição precisa dessa metodologia e as vantagens de sua utilização em salas de aula:

Tecnicamente, o delineamento foi quase-experimental do tipo grupo de controle (comparação) não equivalente. [...] 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 [...], tão similares quanto a disponibilidade o permita, ainda que não tanto que se possa prescindir do pré-teste. A designação do tratamento X a outro grupo é aleatória e controlada pelo pesquisador. [...] A diferença entre este delineamento (quase-experimental) e um experimental é a não aleatoriedade na formação dos grupos. Além de reconhecer que este delineamento é muito usado na prática [...], reconhecem também que a agregação de um grupo de controle não equivalente reduz em grande parte as ambiguidades 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.

Para o tratamento estatístico dos dados, optamos pelo uso do teste "t de Student" para amostras independentes, conforme sugerido por Barbetta (2002). Consideramos importante frisar que apesar dos dados gerados pela análise estatística serem de natureza quantitativa, o simples fato de termos analisado individualmente cada uma das questões forneceu um caráter qualitativo à nossa análise dos resultados.

O tratamento estatístico foi realizado para cada questão do pré e pós-teste. Em cada questão, foram realizados quatro "testes t": o *teste A* foi aplicado às médias dos resultados do grupo experimental no pré e pós-teste; o *teste B* às médias dos resultados do grupo de controle no pré e pós-teste; o *teste C* aos resultados obtidos no pré-teste inicial pelos dois grupos, a fim de verificar a equivalência desses grupos; e o *teste D* aos resultados obtidos no pós-teste pelos dois grupos.

Como hipóteses para os testes A e B, utilizamos a sugestão de Barbetta (2002):

- $H_0$ : em média, os testes produzem os mesmos resultados;
- $H_1$ : em média, os testes produzem resultados diferentes.

Para os testes C e D, utilizamos a proposta de Almeida e Moreira (2008):

- $H_0$ : em média, os grupos experimental e de controle são equivalentes;
- $H_1$ : em média, os grupos experimental e de controle não são equivalentes.

Nos testes A e B, o resultado desejado é uma baixa significância estatística para o teste A, a qual deve ser consideravelmente menor que no teste B. Por exemplo, se a significância no teste A for igual a 0,01 e no teste B igual a 0,30, podemos dizer que no grupo experimental o método aplicado possui eficácia para o crescimento da nota, com chance de erro de 1%. Já para o segundo grupo (controle), apesar do crescimento também ter sido verificado, a alta chance de erro (30%) aponta para as contribuições de fatores acidentais.

No teste C, que compara as notas obtidas pelos dois grupos no pré-teste, espera-se um nível de significância alto, indicando que eles são estatisticamente equivalentes no início da pesquisa. Por exemplo, um nível de significância de 0,50 nesse teste só nos permite dizer que os grupos não são

equivalentes com uma margem de erro de 50%, extremamente alta. Nessa situação, podemos considerar os grupos como equivalentes no início da pesquisa.

Por fim, para o teste D, onde são comparadas as notas obtidas pelos grupos no pós-teste, espera-se um nível de significância baixo, indicativo de que os grupos não são estatisticamente equivalentes ao final da pesquisa (oposto do teste C). Assim, se o nível de significância obtido for 0,05, podemos dizer que os grupos não são equivalentes após a condução dos métodos de ensino diversos, com chance de erro de 5 %, permitindo inferir que as demonstrações experimentais contribuíram para o aprendizado dos estudantes do grupo experimental.

A exposição de todos os tratamentos estatísticos individualizados, para cada uma das questões, tornaria extenso o presente artigo. Assim, optamos por apresentar na tabela 2 apenas as significâncias estatísticas obtidas a partir da análise estatística em cada um dos testes para cada questão. Os dados advindos da análise estatística permitiram estabelecer que a diferença de métodos didáticos contribuiu para a aprendizagem de certos temas relacionados a dez das perguntas constantes no pré-teste, enquanto para outras quatro questões essa contribuição não foi verificada.

Apresentamos na tabela 3 as questões onde houve diferença de aprendizagem com significância estatística relevante, assim como os temas dessas perguntas e as atividades experimentais demonstrativas que se relacionam com esses tópicos, enquanto a tabela 4 apresenta os mesmos dados da tabela anterior, mas apenas para as questões onde não se verificou diferença na aprendizagem.

Tabela 2 – Significâncias estatísticas dos testes de comparação entre os grupos

<i>Questão</i>	<i>Teste A</i>	<i>Teste B</i>	<i>Teste C</i>	<i>Teste D</i>
1	0,0002	0,3	0,55	0,05
2	0,0002	0,03	0,55	0,4
3	0,0002	0,24	0,71	0,03
4	0,02	0,47	0,53	0,35
5	0,0001	0,56	0,84	0,004
6	0,51	0,11	0,77	0,51
7	0,01	0,61	0,9	0,06
8	0,01	0,6	0,9	0,06
9	0,0008	0,81	0,39	0,008
10	0,34	0,47	0,94	0,91
11	0,0003	0,58	0,48	0,02
12	0,007	0,64	0,54	0,12
13	0,0002	1	0,9	0,0005
14	0,001	0,53	0,6	0,001

Tabela 3 – Questões com superioridade estatística do Grupo Experimental

<i>Questão</i>	<i>Tema</i>	<i>Atividades experimentais</i>
q.01	Natureza da luz	<b>01</b> (Visualização do rastro de um laser) <b>03</b> (Sala do Nada)
q.03	Difração e espalhamento	<b>40</b> (Difração de um laser) <b>41</b> (difração da luz emitida por projetores) <b>42</b> (Espalhamento da luz em uma solução)

q.05	Reflexão da luz	<b>15</b> (Reflexão do rosto em um espelho)
q.07	Espalhamento	<b>42</b> (Espalhamento da luz em uma solução)
q.08	Espalhamento	<b>42</b> (Espalhamento da luz em uma solução)
q.09	Refração e reflexão total	<b>27</b> (desaparecimento de esferas de hidrogel na água) <b>33</b> (reflexão total de um laser em vidro lapidado)
q.11	Reflexão da luz	<b>12</b> (reflexão especular e difusa da luz em um espelho)
q.12	Sombras	<b>04</b> (projeção de sombras usando uma vela) <b>05</b> (projeção de sombras usando duas velas)
q.13	Adição de cores	<b>08</b> (adição de cores com três lâmpadas) <b>09</b> (adição de cores: sombras) <b>10</b> (adição de cores: base plástica)
q.14	Reflexão da luz	<b>12</b> (reflexão especular e difusa da luz em um espelho)

Tabela 4 – Questões com igualdade estatística entre os grupos

<i>Questão</i>	<i>Tema</i>	<i>Atividades experimentais</i>
q.02	Velocidade da luz	Não há
q.04	Velocidade da luz	Não há
q.06	Refração e velocidade da luz	<b>26</b> (desaparecimento de acrílico em tetracloroetileno) <b>27</b> (desaparecimento de esferas de hidrogel na água)
q.10	Refração e reflexão total	<b>25</b> (refração de um laser) <b>28</b> (reflexão total no dioptro ar – água) <b>29</b> (reflexão total em um bastão) <b>31</b> (abajur de fibra óptica) <b>32</b> (reflexão total em um bastão curvo) <b>33</b> (reflexão total de um laser em vidro lapidado)

### Discussão dos resultados

Durante a fase de interpretação dos resultados, percebemos que quando uma atividade experimental era diretamente correlacionada com a pergunta, a diferença entre os graus de aprendizagem era notória. O mesmo se verificou na situação contrária: a ausência de uma atividade

experimental sobre um tema específico levou à igualdade estatística, correspondendo a uma ausência de diferenciação do grau de aprendizagem.

Observamos, por exemplo, que as questões 02, 04 e 06, associadas à velocidade da luz ou à igualdade dessa velocidade em dois meios, foram perguntas onde praticamente não houve diferenciação entre os estudantes dos dois grupos. Entretanto, nenhuma das atividades experimentais conduzidas possuía especificamente a finalidade de verificação dessa velocidade e sua comparação com a velocidade do som (q. 02), a finitude da velocidade da luz (q. 04) ou à igualdade dessa velocidade em meios diversos (q.06). Apesar das atividades experimentais demonstrativas 26 e 27 serem dedicadas a esse último conceito, elas não possuíam como finalidade última a verificação da velocidade da luz em um meio específico, o que provavelmente contribuiu para a relativa igualdade estatística. Já para a questão 10, acreditamos que essa igualdade entre os grupos está associada à falta de qualidade do questionamento. A pergunta, por si só, é simples de ser respondida (espera-se ver o céu ao se olhar para cima, ainda que seja um peixe dentro da água).

Para as dez questões restantes, entretanto, verificamos uma significativa diferença no grau de aprendizagem. Como exemplo, acreditamos que as atividades experimentais demonstrativas 01 (direcionamento de um apontador laser, com espalhamento de pó de giz sobre a trajetória da luz) e 03 (“Sala do Nada”) contribuíram para que os estudantes do grupo experimental percebessem que a luz é necessária para a visualização de um objeto, enquanto os integrantes do grupo de controle permaneceram com a ideia intuitiva da visão como um processo dependente apenas da existência do olho, o que levou a um maior grau de acertos no pós-teste na q. 01. A questão sobre a observação de sombras e penumbras (q.12) também apresentou resultados significativamente superiores por parte do grupo experimental, levando a crer que os experimentos 04 (projeção de sombras de objetos opacos usando a luz emitida por uma vela) e 05 (projeção de sombras de objetos opacos usando a luz emitida por duas velas) foram responsáveis por esse crescimento.

Já na questão 03, diretamente relacionada à difração e espalhamento da luz, percebemos que os experimentos 40 (difração da luz emitida por um apontador laser em um CD e um DVD, sem película refletora), 41 (projeção do espectro da luz do retroprojetor usando o CD) e 42 (uso de uma lanterna e aquário com água e leite para mostrar o espalhamento da luz) ajudaram os estudantes do grupo experimental a visualizar o efeito que a matéria pode ter sobre a propagação e eventual espalhamento da luz, enquanto os integrantes do grupo de controle permaneceram com a ideia intuitiva da luz como um agente que se propaga sem interação com a matéria.

As questões 07 e 08 lidavam com o mesmo tema: o conhecimento dos conceitos fundamentais do espalhamento de Rayleigh, o qual foi demonstrado experimentalmente em um dos grupos (AED 42). É interessante perceber que essa foi a última atividade conduzida no grupo experimental, apenas uma semana antes da aplicação do pós-teste, fato que pode ter contribuído para o alto grau de respostas corretas em ambas as questões nessa fase final da pesquisa. Entretanto, a ausência de um crescimento significativo nos acertos do grupo de controle nos permite acreditar que a experiência conduzida (espalhamento da luz branca ao atravessar uma solução fortemente diluída de ácido sulfúrico) possuiu um papel relevante no processo de ensino-aprendizagem.

A reflexão da luz em superfícies lisas (especular) ou irregulares (difusa) é tratada logo no início do estudo da reflexão, conforme a sugestão de abordagem dos livros didáticos tradicionais, passando-se em seguida ao estudo dos espelhos. Acreditamos que um maior tempo de abordagem deveria ser dedicado a essa diferença, pois ela explica uma série de fenômenos cotidianos. Com base nessa crença, foi conduzida a AED 12 (reflexão especular e difusa da luz em um espelho plano), que acreditamos ter permitido aos estudantes do grupo experimental um maior rendimento nas questões 11 e 14, por ser capaz de demonstrar para os estudantes que uma superfície irregular é capaz de refletir raios de luz (ou outras ondas eletromagnéticas) em múltiplas direções, permitindo que diferentes observadores a detectem.

O questionamento sobre a coloração de um objeto quando submetido a uma iluminação diferente da luz branca é uma constante nos livros didáticos de Física (Ramalho et al., 2007; Bonjorno et al., 2003; Alvarenga e Máximo, 2005; Villas-Bôas et al., 2001). É usual que esse questionamento seja feito de forma simplificada, apresentando-se como verdadeira a ideia de que um objeto só é capaz de refletir a cor que ele possui quando iluminado com luz branca. Essa situação, entretanto, envolve pigmentos puros e luzes monocromáticas, sendo diferente das condições cotidianas. Para dar a resposta correta a essa pergunta, o estudante deve ter compreendido as noções de adição e subtração de cores, além do conceito de cores complementares (q.13). Diversas atividades experimentais demonstrativas conduzidas junto ao grupo experimental lidavam esse tema: 06 (dispersão da luz branca, utilizando um retroprojektor e um prisma de acrílico), 07 (disco de Newton), 08 (adição das cores primárias, usando três lâmpadas, nas cores vermelha, verde e azul), 09 (adição de cores usando sombras) e 10 (adição de cores em uma base plástica). Houve uma sensível diferença de rendimento a favor do grupo experimental, e creditamos esse sucesso ao fato de ser muito difícil crer, sem observação experimental, que lâmpadas vermelhas e verdes ligadas de forma simultânea produzirão a cor amarela. Sem a visualização da experiência, acreditamos que o estudante será levado a raciocinar sobre a pergunta como uma mistura de tintas, o que pode explicar o baixo ganho que o grupo de controle obteve nas respostas a essa questão.

Por fim, perguntar o exato resultado de uma atividade demonstrativa conduzida em sala de aula pode parecer exagerado para os fins de pesquisa. Nossa intenção em algumas questões, entretanto, era a comparação entre a resolução dada aos conflitos cognitivos no grupo de controle (onde esse conflito foi criado apenas a partir de uma explicação teórica) e no grupo experimental (onde o surgimento do conflito se deu pela presença da atividade experimental, enquanto a explicação teórica auxiliou na sua resolução e posterior assimilação). Como exemplos dessa situação, temos a experiência descrita na q.05 (e conduzida em sala na AED 15), a qual pode ser facilmente realizada com o auxílio de um pequeno espelho plano, demonstrando que a posição do espelho não tem correlação com a parcela do rosto refletida na superfície. A alta diferença entre o rendimento final dos dois grupos nesse quesito, em termos estatísticos, aponta para uma maior qualidade de aprendizagem quando a experiência se faz inclusa. Já na q.09, nossa intenção era literalmente conduzir a experiência sugerida nessa questão (usando uma peça de vidro ao invés de diamante), mas optamos por não conduzi-la, para verificar se o método de ensino proposto permite aos estudantes transcender as experiências vistas em sala. Apesar disso, houve um inequívoco grau superior de acertos no grupo experimental, que creditamos às atividades experimentais 27 (desaparecimento de esferas de hidrogel na água) e 33 (reflexão total e múltiplas refrações de um feixe laser em uma peça de vidro).

## **Conclusões e perspectivas**

O experimento, por si só, traz um atrativo lúdico e interacional, que tende a colaborar para a aprendizagem. Contudo, buscamos em nossa pesquisa não apenas a apresentação dos componentes lúdicos de uma atividade experimental, mas a sua imersão em um processo mais amplo de ensino e aprendizagem. Assim, os dados obtidos da correção dos testes nos permitiram perceber quais itens presentes nos questionários apresentaram maior correlação entre a presença de atividades experimentais e a aprendizagem.

Nos resultados obtidos em diversas questões dos testes aplicados, observamos uma superioridade de rendimento a favor do grupo experimental. A presença do grupo de controle nos leva a crer que foi a presença de atividades experimentais o fator determinante para a aprendizagem dos temas apresentados. Algumas das questões cobravam a exata discussão promovida em sala, ou a própria experiência demonstrativa realizada, e o grau de acertos do grupo experimental nessas

questões foi ainda maior, corroborando com nossas hipóteses sobre o papel da experimentação e de sua reconceitualização.

A pesquisa revelou também que em parte das questões o grupo experimental não apresentou evidências de uma maior aprendizagem que o grupo de controle, em particular quando nenhum dos experimentos apresentados tinha correlação com os temas das questões. A igualdade estatística entre os resultados observados para os dois grupos, a nosso ver, se justifica, pois eles não estiveram submetidos a abordagens diferenciadas no tocante a essas questões.

Acreditamos ainda que esse trabalho apontou para uma especificação cada vez maior da pesquisa em ensino de ciências, pois lidar com toda a Óptica geométrica (e partes da Óptica física) revelou um considerável volume de referências. Em uma perspectiva futura, acreditamos que nosso trabalho aponta a necessidade de pesquisas sobre temas mais específicos, mesmo que situados apenas no contexto da Óptica.

Como perspectivas, nossa pesquisa evidenciou que os estudantes apresentaram uma dificuldade notória nas questões ligadas ao valor finito da velocidade da luz, sua ligação com o conceito de tempo e a relação da luz com outras ondas eletromagnéticas. Acreditamos que pesquisas futuras que investiguem a causa dessa insistente dificuldade são necessárias. Observamos também que algumas das atividades experimentais que realizamos apresentaram “efeitos colaterais” que foram encarados pelos estudantes com grande interesse. Tais experiências incluem a reflexão de um laser em um espelho convexo, apresentando os anéis de Newton formados devido às irregularidades da superfície (AED 20), o surgimento de uma espiral formada pela luz emergente de um bastão de acrílico (AED 30), a reflexão total e múltiplas refrações de um feixe laser em uma peça de vidro (AED 33) e a aberração cromática na lente de Fresnel de um retroprojeto (AED 35). Não constatamos, em nossa revisão, nenhum trabalho que investigasse esses fenômenos, apesar da simplicidade em obtê-los.

Na introdução, apresentamos autores que afirmam que, apesar da atividade experimental fazer parte do cerne da pesquisa científica, ela continua sendo pouco utilizada no ensino de Física. Percebemos que uma das contribuições dessa pesquisa, no fundo, já era esperada por nós: a experimentação tem clara influência no processo educacional. Só não percebíamos, antes da pesquisa, qual o grau dessa influência. Nosso trabalho aponta para a necessidade de uma reconceitualização do trabalho experimental, apresentando-o como parte de um todo (o conhecimento científico), e não apenas como uma observação de um fenômeno interessante. Ou seja, para que a experimentação seja eficiente no processo de ensino-aprendizagem, deve-se buscar **mais** prática e **mais** reflexão.

## Referências

Almeida, V; Moreira, M. Mapas conceituais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos da Óptica física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.30, n.4, p. 4403-1/7, Dezembro, 2008.

Alvarenga, B.; Máximo, A. *Curso de Física, volume 2*. 6ª edição revista e ampliada, p.153-236; 255-265, Scipione, São Paulo, 2005.

Araújo, M. Abib, M. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n.2, Junho, 2003.

Barbetta, P. *Estatística aplicada às Ciências Sociais*. 5ª edição, p. 211-238, Florianópolis, Editora da UFSC, 2002.

Bastos, F.; Nardi, R.; Diniz, R.; Caldeira, A. *Da necessidade de uma pluralidade de interpretações acerca do processo de ensino e aprendizagem em Ciências*. In: NARDI, R.; BASTOS, F.; DINIZ, R. (Orgs.). *Pesquisas em ensino de Ciências: contribuições para a formação de professores*. Escrituras Editora, p. 9-55, São Paulo, 2004.

Bonjorno, J.; Bonjorno, R.; Bonjorno, V.; Ramos, C. *Física: história & cotidiano: Termologia, Óptica, Ondulatória, Hidrodinâmica: 2. 1ª edição*, p. 127-236, FTD, São Paulo, 2004.

Brasil. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino médio): Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, Brasília, MECSEF, 1998.

Catelli, F. Demonstre em aula. Projeção de espectros com um CD e retroprojektor. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 1, p. 123-126, Abril, 1999.

Catelli, F.; Franco, V. Pense e responda! Imagens queimam? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n. 3, p. 439-443, Dezembro, 2006.

Catelli, F.; Reis, C. Demonstre em aula: imagens dentro de lâmpadas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 1, p. 115-119, Abril, 2004.

Catelli, F.; Vicenzi, S. Óptica geométrica no café da manhã. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 3, p. 392-400, Dezembro, 2004.

Costa, I. Pense e responda! Qual o comprimento e a profundidade de bits em CD, DVD e BD? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 3, p. 333-337, Dezembro, 2007.

Driver, R.; Asoko, H.; Leach, J.; Mortimer, E.; Scott, P. Construindo conhecimento científico em sala de aula. *Química Nova na Escola*, n. 9, p. 31-40, Maio, 1999.

Ferracioli, L. Aspectos da construção do conhecimento e da aprendizagem na obra de Piaget. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 2, p. 180-194, Agosto, 1999.

Gircoreano, J.; Pacca, J. O ensino da Óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 18, n.1, p. 26-40, Abril, 2001.

Grandini, N.; Grandini, C. Os objetivos do laboratório didático na visão dos alunos do Curso de Licenciatura em Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 3, p.251-256, Setembro, 2004.

Hewitt, P. *Física Conceitual*. 9. ed., p. 440-542, Porto Alegre, Bookman, 2002.

Hodson, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las ciencias*, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

Krapas, S.; Santos, P. Modelagem do espalhamento Rayleigh da luz com propósitos de ensino e de aprendizagem. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 341-350, Dezembro, 2002.

Laburú, C.; Barros, M.; Kanbach, B. A relação com o saber profissional do professor de Física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.12, n.3, p.305-320, 2007.

Moreira, M. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo, EPU, 1999, p. 95-107.

Mortimer, E. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em ensino de ciências*, volume 1, número 1, p. 20 – 39, Porto Alegre, UFRGS, 1996.

Ramalho, F.; Ferraro, N.; Toledo, P. *Os fundamentos da Física 2*. 9ª edição revista e ampliada, p. 217-372, Moderna, São Paulo, 2007.

Ribeiro, J.; Verdeaux, M. Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 4, p. 4403-1/10, 2012.

Rosa, C.; Rosa, A. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 4, n. 1, 2005.

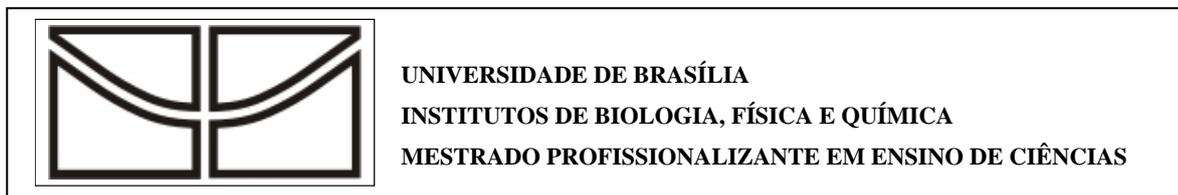
Villas-Bôas, N.; Doca, R. Biscuola, G. *Tópicos de Física 2 – Termologia, Ondulatória e Óptica*. 16ª edição reformada e ampliada, p 314-496, Saraiva São Paulo, 2001.

Recebido em: 27.08.13

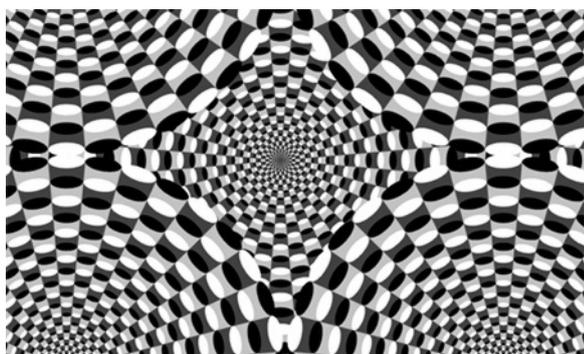
Aceito em: 17.12.13

## Anexo 1

### Pré-teste



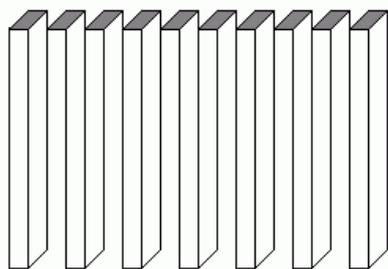
### Teste inicial



*Ilusão 01: Algo se move?*

01. Um amigo lhe diz, em um tom profundo, que a luz é a única coisa que somos capazes de ver. Seu amigo está correto?

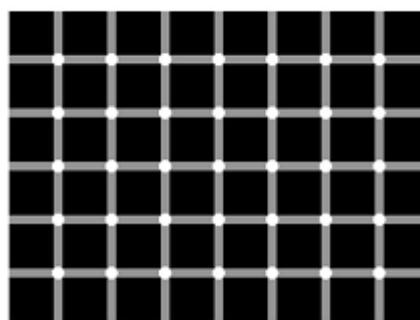
- a) Sim.
- b) Não.
- c) Parcialmente correto.
- d) Não sei.



*Ilusão 02: Quantas caixas há na figura?*

02. Com que velocidade as ondas de rádio se propagam?

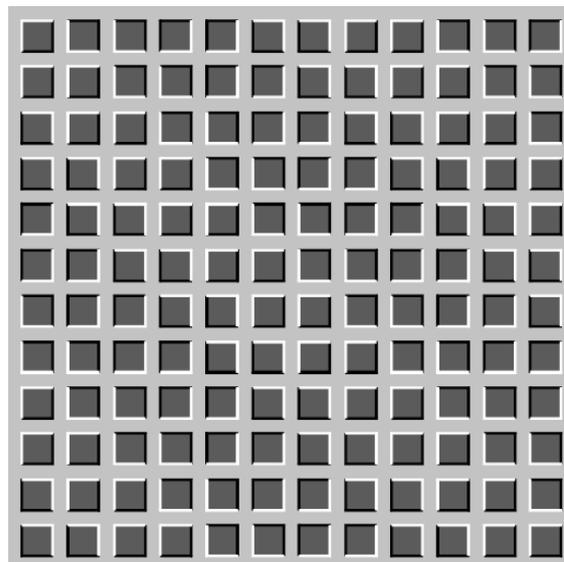
- a) Próxima à velocidade do som.
- b) Próxima à velocidade da luz.
- c) Superior à velocidade da luz, no vácuo.
- d) Inferior à velocidade da luz, no vácuo.



*Ilusão 03 : Conte as bolinhas pretas.*

03. Por que o céu é escuro quando visto da Lua?

- a) Porque a Lua não tem atmosfera.
- b) Porque a Lua está em um lado oposto do Sol, em comparação com a Terra.
- c) Porque o céu somente é escuro no “lado negro” da Lua, não iluminado pelo Sol.
- d) Porque o conceito de céu só faz sentido na Terra.



*Ilusão 04: Algo está vivo.*

04. Quando você olha para a sua mão, o que você vê?

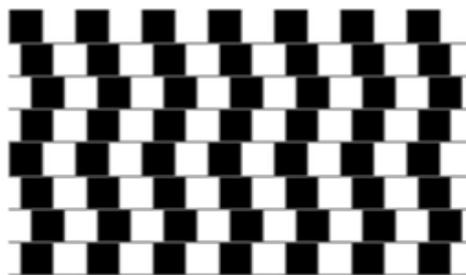
- a) A imagem da mão como ela é no presente.
- b) A imagem da mão como ela era no passado.
- c) A imagem da mão como ela será no futuro.
- d) A imagem da mão como ela foi, é e será.



*Ilusão 05: Concentre-se no pontinho preto. Depois de um tempo, a neblina em volta dele encolherá!*

05. Segurando um espelho de bolso a uma distância de seu rosto quase igual ao comprimento de seu braço estendido, você provavelmente não conseguirá enxergar todo o seu rosto. Para enxergar uma maior porção do seu rosto, como você deveria segurar o espelho?

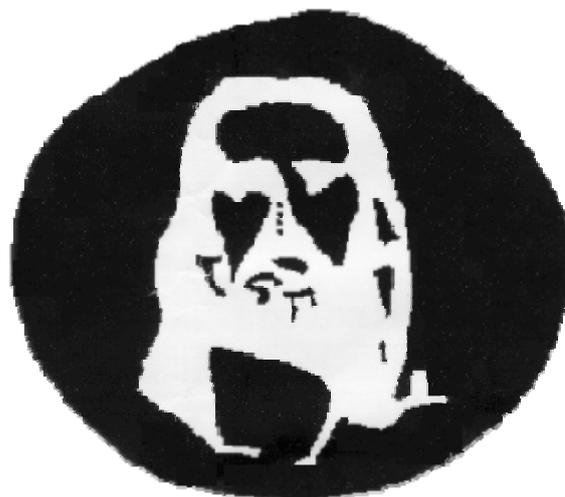
- a) Mais próximo ao rosto.
- b) Um pouco mais afastado do rosto.
- c) Muito mais afastado do rosto.
- d) Independentemente da posição do espelho, sempre será vista a mesma porção do rosto (proporcionalmente ao tamanho do rosto).



*Ilusão 06: As linhas horizontais são paralelas?*

06. Onde a luz é mais rápida?

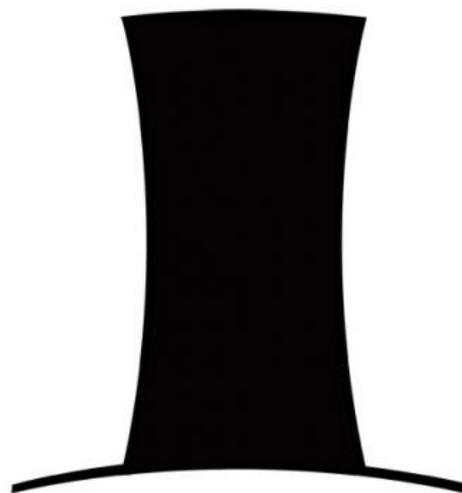
- a) Na alta atmosfera.
- b) Na baixa atmosfera.
- c) Na superfície da água.
- d) No fundo da água.



*Ilusão 07: Olhe para a figura, depois para uma parede branca.*

07. A atmosfera de Júpiter tem mais de 1000 km de espessura. Qual a cor que você esperaria para o Sol, visto através dessa atmosfera?

- a) Vermelho
- b) Azul
- c) Branco
- d) Preto



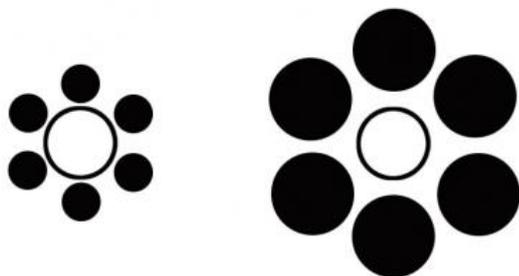
*Ilusão 08: O chapéu é mais alto ou mais largo?*

08. Por que o céu é azul?

- a) É somente uma ilusão de ótica. O céu, na verdade, é levemente amarelado, mas nossos olhos se acostumam com tal cor e detectam apenas a sua complementar, o azul.
- b) A cor do ar é levemente azulada, e em grandes proporções esse azul é realçado.
- c) As cores azul, anil e violeta são capazes de se espalhar mais que as outras, quando passam pelas

moléculas do ar, na maior parte do dia. A combinação dessas três cores produz o céu azul.

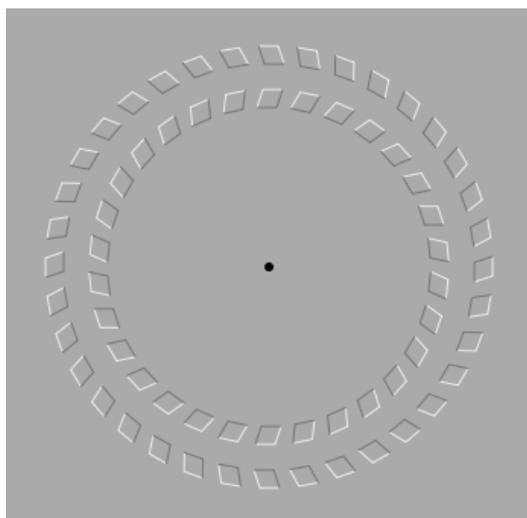
d) Porque o ar absorve as outras radiações, sobrando somente a radiação de cor azul.



Ilusão 09: Qual círculo branco é maior?

09. Como seria o brilho de um diamante mergulhado em água?

- a) Maior que o brilho quando ele está no ar.
- b) Menor que o brilho quando ele está no ar.
- c) Igual ao brilho quando ele está no ar.
- d) Não haveria brilho.



Ilusão 10: Movimento sua cabeça e observe!

10. O que um peixe enxerga quando ele olha para cima num ângulo de 45°?

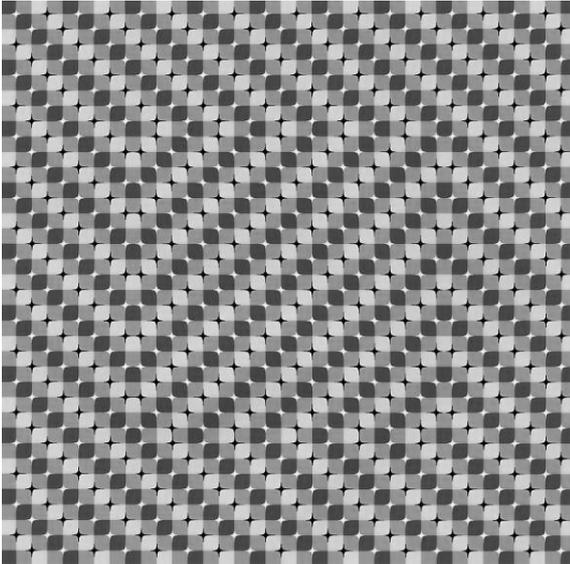
- a) O céu.
- b) O reflexo do fundo.
- c) O reflexo de si próprio.
- d) Nada.



Ilusão 11: Olhe com atenção!

11. Que tipo de rodovia é mais fácil de enxergar quando se dirige durante a noite, uma superfície irregular empedrada ou uma superfície lisa parecida com um espelho? Por que?

- a) A superfície irregular, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis dos outros carros em todas as direções.
- b) A superfície irregular, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis apenas na direção dos olhos do motorista.
- c) A superfície lisa, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis dos outros carros em várias direções.
- d) A superfície lisa, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis apenas na direção dos olhos do motorista.



*Ilusão 12: Lento movimento.*

12. Por que um avião voando alto projeta pouca ou nenhuma sombra sobre o solo, ao passo que um avião que voa baixo projeta uma sombra bem nítida?

- a) Porque a sombra do avião é muito pequena quando ele está voando alto, sendo praticamente imperceptível. Ao se aproximar do solo, a sombra aumenta de tamanho e ganha nitidez, se tornando visível.
- b) Porque a sombra do avião é muito grande quando ele está voando alto, sendo praticamente imperceptível. Ao se aproximar do solo, a sombra diminui de tamanho e ganha nitidez, se tornando visível.
- c) Na verdade, a sombra do avião tem o mesmo tamanho no solo, independentemente dele estar voando alto ou baixo. Próximo ao solo, a energia luminosa absorvida pelo avião é maior, e portanto observa-se uma sombra mais nítida.
- d) Na verdade, a sombra do avião tem o mesmo tamanho no solo, independentemente dele estar voando alto ou baixo. Longe do solo, a energia luminosa absorvida pelo avião é maior, e portanto observa-se uma sombra menos nítida.



*Ilusão 13: Dados confusos.*

14. Em qual dos casos uma banana madura parecerá preta?

- a) Quando iluminada com luz vermelha.
- b) Quando iluminada com luz verde.
- c) Quando iluminada com luz azul.
- d) Quando iluminada com luz magenta.



*Ilusão 14: Qual torre está mais inclinada?*

14. Uma antena parabólica é basicamente um grande prato parabólico, constituído por uma grade metálica vazada. Como ela se comporta?

- a) Como um refletor difuso para as ondas de rádio e como uma superfície lisa para a luz.
- b) Como um refletor difuso para a luz e como uma superfície lisa para as ondas de rádio.
- c) Como um refletor difuso para as ondas de rádio e para a luz.
- d) Como uma superfície lisa para as ondas de rádio e para a luz.

## Créditos das figuras do pré-teste

- **Ilusão 01:** retirada de <http://tigrededefogo.files.wordpress.com/2007/05/ilusao-optica-optical-illusion-tigrededefogo-wordpress-com.jpg>. Acessada em 05 fev 2008.
- **Ilusão 02:** retirada de <http://www.inkblotmazes.com/images/Maze%20Blivet%20Optical%20Illusion%20medium%20.gif>. Acessada em 06 fev 2008.
- **Ilusão 03:** retirada de <http://eyetricks.com/0101.htm>. Acessada em 06 fev 2008.
- **Ilusão 04:** retirada de <http://www.opticalillusions.com/minolta.gif>. Acessada em 03 fev 2008.
- **Ilusão 05:** retirada de <http://blogmais.files.wordpress.com/2008/05/ilusao-ponto-preto.jpg>. Acessada em 04 fev 2008.
- **Ilusão 06:** retirada de <http://www.eyetricks.com/0102.htm>. Acessada em 06 fev 2008.
- **Ilusão 07:** retirada de [http://www.edumedeiros.com/imagens/gif/curiosidades/ilusao\\_de\\_otica/jesus.gif](http://www.edumedeiros.com/imagens/gif/curiosidades/ilusao_de_otica/jesus.gif). Acessada em 06 fev 2008.
- **Ilusão 08:** retirada de [http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/image09/09\\_01\\_37.gif](http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/image09/09_01_37.gif). Acessada em 03 fev 2008.
- **Ilusão 09:** retirada de <http://www.eyetricks.com/0105.htm>. Acessada em 05 fev 2008.
- **Ilusão 10:** retirada de [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Revolving\\_circles.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Revolving_circles.svg). Acessada em 04 fev 2008.
- **Ilusão 11:** retirada de <http://www.irrationaltheatre.co.uk/wp-content/images/irrational-thoughts-optical-illusion-1-570x427.jpg>. Acessada em 06 fev 2008.
- **Ilusão 12:** retirada de [http://www.opticalillusions.com/Optical\\_Illusion\\_5.jpg](http://www.opticalillusions.com/Optical_Illusion_5.jpg). Acessada em 06 fev 2008.
- **Ilusão 13:** retirada de [http://www.geckoandfly.com/wp-content/uploads/2007/05/dices\\_optical\\_illusion.jpg](http://www.geckoandfly.com/wp-content/uploads/2007/05/dices_optical_illusion.jpg). Acessada em 05 fev 2008.
- **Ilusão 14:** retirada de <http://yeinjee.com/discovery/wp-content/uploads/2007/12/pisa-leaning-tower-optical-illusion.jpg>. Acessada em 06 fev 2008.