

## ESTUDO DE UMA ESTRATÉGIA PEDAGÓGICA VOLTADA À EXPLORAÇÃO DE CONCEITOS CIENTÍFICOS: O CASO DA CÂMARA ESCURA

*Study of a pedagogical strategy aimed at exploring scientific concepts: the case of the pin hole camera*

**Suzana França de Oliveira** [sfoliveira2@ucs.br]

*Colégio Santa Clara*

*Rua Jacob Gremmelmaier, 215, Getúlio Vargas, RS*

**Francisco Catelli** [fcatelli@ucs.br]

**Odilon Giovannini** [ogiovanj@ucs.br]

*Universidade de Caxias do Sul*

*Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, Caxias do Sul, RS*

*Recebido em: 06/07/2022*

*Aceito em: 15/03/2023*

### Resumo

A propagação retilínea da luz é a base para uma atividade exploratória, proposta a partir de premissas pedagógicas emanadas em especial da Teoria da Aprendizagem Significativa. É dada ênfase à *exploração*, em detrimento da *demonstração*. As etapas da exploração iniciam com a descrição da construção de uma câmara escura, feita a partir de materiais alternativos. Em seguida, são coletadas as percepções prévias dos estudantes por meio de uma adaptação simplificada do teste de enunciação livre de palavras. Imagens obtidas com a câmara escura são então apresentadas aos estudantes, que são instados a formularem, de forma livre, perguntas. O professor escolhe em seguida uma dessas perguntas (porque a imagem inverte, por exemplo) e propõe aos estudantes um traçado de raios, com papel quadriculado, lápis, régua. Outras perguntas podem ser exploradas de modo gradual, com a possibilidade quase invariável de teste empírico. Os resultados dessa atividade exploratória apontam para a possibilidade efetiva de retorno às palavras enunciadas pelos estudantes, dessa vez num sentido ampliado, atribuindo significado, significado esse que pode ser percebido nos mapas conceituais elaborados pelos estudantes ao final. Como meio de alertar os estudantes acerca da falsa conjectura pela qual a propagação retilínea “funciona sempre”, uma exploração com fenda simples e uma fonte de luz (vela) é apresentada.

**Palavras-chave:** Aprendizagem significativa, ensino de Física, propagação retilínea da luz, câmara escura.

### Abstract

The rectilinear propagation of light is the basis for an exploratory activity, proposed from pedagogical premises emanating in particular from the Theory of Meaningful Learning. Emphasis is placed on *exploitation* rather than *demonstration*. Exploration steps begin by describing the construction of a pin hole camera made from alternative materials. Then, students' previous perceptions are collected through a simplified adaptation of the free word enunciation test. Images taken with the darkroom are then presented to the students, who are urged to freely ask questions. The teacher then chooses one of these questions (why does the image revert, for example) and proposes to the students a ray tracing with graph paper, pencil, ruler. Other questions can be explored gradually, with the almost invariable possibility of empirical testing. The results of this exploratory activity point to the effective possibility of returning to the words uttered by the students, this time in a broader sense, a meaning that can be perceived in the concept maps elaborated by the students at the end. As a means of alerting students to the false conjecture by which rectilinear propagation “always works,” a single-slot exploration with a light source (candle) is presented.

**Keywords:** Meaningful learning, physics teaching, rectilinear light propagation, pin hole camera.

## 1 - Introdução

O princípio educativo subjacente que norteia esse estudo consiste em *explorar em vez de demonstrar*. Porque explorar? Os autores partem do pressuposto que a aprendizagem é um processo, gradual e eventualmente lento, no qual novas ideias são incorporadas à estrutura mental, pré-existente, do aprendiz, conforme Ausubel (2003). A ação dos estudantes ao longo de um processo exploratório (nesse caso, com base experimental), manifestada sob a forma de manipulações, perguntas, tentativas e erros, formulação e eventual teste de hipóteses, parece favorecer a evolução do processo de aprender. Segundo Becker (2012, p. 21), “o estudante construirá algum conhecimento novo se ele agir e problematizar a própria ação, apropriar-se dela e de seus mecanismos de assimilação”. Ou seja, o sujeito aprende porque age para conseguir algo; a fonte da aprendizagem é a ação do sujeito na busca do êxito. E é com base nessa expectativa que a atividade<sup>1</sup> foi inicialmente construída e depois apresentada aqui sob forma de artigo.

Porque não “demonstrar”? O jogo de palavras, *explorar em vez de demonstrar*, não exclui nem deprecia a demonstração. (O que seria da Matemática, por exemplo, sem a demonstração?) O que está em questão aqui é o *aprendizado*, e então se trata de desenvolver estratégias para que ele ocorra. Por que, então, iniciar declarando o que vai acontecer, porque vai acontecer, e como vai acontecer? Por que não explorar, primeiro? Talvez, e isso não parece aos autores irrelevante, seja muito mais divertido começar explorando, testando, perguntando, acertando e errando. Estratégias e métodos de aprendizagem ativa, por exemplo, caminham nessa direção, pois envolvem a realização de atividades de ensino que permitam aos alunos se engajarem cognitivamente, analisarem, avaliarem e refletirem ao longo do processo sobre aquilo que estão fazendo (Elmôr Filho et al. 2019; Oliveira; Araujo & Veit, 2016; Oliveira; Veit & Araujo, 2015; Araujo & Mazur, 2013; Bonwell & Eison, 1991). Então, sem alongar excessivamente essa argumentação, sim, a demonstração é importante, ela é mesmo essencial, mas a partir de uma perspectiva didática, nada indica que devamos, invariavelmente, começar por ela.

No que segue, apresentaremos detalhes da atividade, a base teórica que sustenta o procedimento didático, seguimos com a descrição do processo, e por fim, uma avaliação.

## 2 - Base teórica: elementos da teoria da aprendizagem significativa

A aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não-literal) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo (Ausubel, 2003).

O conhecimento prévio é, então, o primeiro elemento do processo de ensinar e aprender; Ausubel (2003) define-o como *conceito subsunçor* ou simplesmente *subsunçor*. Os subsunçores são estruturas de conhecimento específico que podem ser mais ou menos abrangentes de acordo com a frequência com que ocorre a aprendizagem significativa em conjunto com um dado subsunçor. A aprendizagem significativa ocorre então quando a nova informação se ancora em conceitos relevantes (subsunçores) pré-existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel define estruturas cognitivas como estruturas hierárquicas de conceitos que são representações de experiências sensoriais do

---

<sup>1</sup> Essa atividade serviu de base para a dissertação de Mestrado Profissional intitulada “Aprendizagem Potencialmente Significativa de Óptica Geométrica no Laboratório”, de AutorX1.

indivíduo. A ocorrência da aprendizagem significativa implica o crescimento, modificação e estabilidade do conceito subsunçor. A partir de um conceito geral (já incorporado pelo aluno) o conhecimento pode ser construído de modo a ligá-lo a partir da interação com novos conceitos facilitando a compreensão das novas informações, o que dá significado ao conhecimento adquirido. As ideias novas só podem ser aprendidas e retidas de maneira útil caso se refiram a conceitos e proposições já disponíveis, que proporcionem âncoras conceituais válidas e operacionais.

Ausubel publicou seus primeiros estudos sobre a teoria da aprendizagem significativa (TAS) em 1963 (*The Psychology of Meaningful Verbal Learning*) e desenvolveu-a durante as décadas de 1960 e 1970. Mais tarde, no final da década de 1970, Ausubel recebeu a contribuição de Joseph Novak, que progressivamente incumbiu-se de refinar e divulgar a teoria. Com a contribuição de Novak, a teoria da aprendizagem significativa modificou o foco do ensino do modelo [estímulo→ resposta→ reforço positivo] para o modelo [aprendizagem significativa→ mudança conceitual→ construtivismo] (Ausubel; Novak & Hanesian, 1980).

Coube a Novak (1998, 2000) desenvolver, refinar e divulgar os pressupostos da TAS e acrescentar os aspectos que são de domínio afetivo, dando um caráter mais humanista à teoria de Ausubel, ao considerar que a aprendizagem significativa subjaz à integração construtiva entre pensamento, sentimento e ação, que conduz ao engrandecimento humano (ibidem, 1998, p. 15). Para ele, as atitudes e os sentimentos positivos em relação à experiência educativa têm suas raízes na aprendizagem significativa e, por sua vez, facilitam-na.

O foco principal da TAS é a aprendizagem escolar. Por esse motivo, acredita-se que as ideias sobre a aprendizagem que decorrem da TAS podem contribuir para aprimorar o processo de ensino–aprendizagem escolar.

Uma premissa importante da TAS é a de que a mente humana possui uma estrutura organizada e hierarquizada de conhecimentos. Essa estrutura é continuamente diferenciada pela assimilação de novos conceitos, novas proposições e ideias. A TAS, por enfatizar os conceitos e preocupar-se essencialmente com eles, com os conteúdos acadêmicos, com os aspectos cognitivos da aprendizagem, tem sido vista por vezes como excessivamente intelectualista e criticada por não valorizar as outras dimensões da aprendizagem.

A aprendizagem significativa caracteriza-se pela interação de uma informação com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do sujeito, mas não com aspecto qualquer (*arbitrário*). Uma informação é aprendida de forma significativa quando se relaciona a outras ideias, outros conceitos ou outras proposições relevantes e inclusivas que estejam claras e disponíveis na mente do indivíduo de modo que funcionem como âncoras.

A atribuição de significado ao novo conhecimento decorre de interações com o subsunçor através de dois processos dinâmicos da estrutura cognitiva: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Esses processos, segundo Ausubel (2003), ocorrem simultaneamente em interações sucessivas com um dado subsunçor que vai, de forma progressiva, eliminando diferenças e integrando novos significados e, assim, tornando-se mais estável e capaz para servir de ancoradouro para novas aprendizagens significativas. Como esses dois processos são fundamentais para facilitar a aprendizagem significativa, os mesmos devem ocorrer em situações de ensino (Moreira, 2011).

A proposição de uma hierarquia na organização cognitiva do indivíduo é de suma importância quando se trata da aprendizagem de conceitos científicos, uma vez que o conhecimento científico é constituído por uma rede de conceitos e proposições, formando uma verdadeira teia de relações.

Neste sentido, Novak (2000) destaca que

[...] no decurso da aprendizagem significativa, as novas informações são ligadas aos conceitos na estrutura cognitiva. Normalmente, essas ligações ocorrem quando se ligam conceitos mais específicos e menos inclusivos a outros mais gerais, existentes na estrutura cognitiva. [...] A justificação para se adicionar esses termos reside no papel fundamental que os subsunçores desempenham na aquisição de novas informações. [...] O papel de um conceito integrador na aprendizagem significativa é interativo, facilitando a passagem de informações relevantes, através das barreiras perceptivas, e fornecendo uma base para a ligação entre as informações recentemente aprendidas e os conhecimentos anteriormente adquiridos (p. 59).

Como diferentes conceitos são percebidos pelos estudantes? A ferramenta conhecida como mapa conceitual pode fornecer indícios de como os estudantes relacionam diferentes conceitos: os mapas são excelentes instrumentos de reflexão, de retorno às próprias ideias, mas dessa vez centrando a atenção sobre como esses conceitos eventualmente se concatenam, mais do que (provisoriamente) no significado específico e isolado de cada um deles (Moreira, 2013).

Segundo Ausubel (2003), a aprendizagem significativa pode ocorrer por recepção ou por descoberta. Na aprendizagem receptiva, a informação é apresentada ao aluno em sua forma final; já na aprendizagem por descoberta, o conteúdo a ser aprendido necessita ser descoberto pelo aluno. A aprendizagem por descoberta pressupõe que o próprio indivíduo descubra o conhecimento a partir de seus próprios recursos. Entretanto, o próprio Ausubel destaca que, se o aluno tivesse que, sistematicamente, descobrir o conhecimento por ele mesmo, não haveria tempo suficiente para isso no decorrer de sua vida escolar, além do alto custo na implementação de situações para que isso ocorresse. No entanto, em muitas situações é possível recorrer a esse tipo de aprendizagem como apoio didático para determinadas aprendizagens, o que é o caso nesse artigo. Nesse aspecto, trabalhos que abordam simultaneamente o laboratório e a aprendizagem significativa estão disponíveis sob as mais diversas formas e em grande quantidade (Oliveira & Camiletti, 2018; Zuconelli et al. 2018; Moro; Neide & Rehfeldt, 2016; Espindola & Moreira, 2006, apenas para citar alguns dos muitos disponíveis).

A respeito das atividades experimentais, Gaspar (2014) afirma que elas podem proporcionar ao aluno uma visão maior e de melhor qualidade dos conteúdos vistos em sala de aula, e assim, potencializar a aprendizagem, de modo que ela se torne, em graus cada vez maiores, significativa e, em graus cada vez menores, mecânica. Araújo e Abib (2003) analisaram diversos estudos sobre a utilização da experimentação como estratégia de ensino de Física e seus resultados revelaram que essa estratégia oferece uma ampla gama de enfoques e finalidades para o ensino de Física.

Por fim, para concluir, os elementos relevantes (na perspectiva desse trabalho) da base teórica aqui esboçada, cabe destacar a importância de fazer aflorar a historicidade dos conceitos de Física envolvidos. A justificativa para essa posição, em termos muito breves, é a de que o conhecimento é tido como uma produção humana e social, com limitações e em constante evolução. Seria então desejável que ele – o conhecimento – assim se apresentasse aos estudantes, fomentando a compreensão de que a ciência é um processo construtivo. Essa construção histórica pressupõe considerações a respeito de como a ciência evolui, e isso leva diretamente à epistemologia das ciências<sup>2</sup>.

---

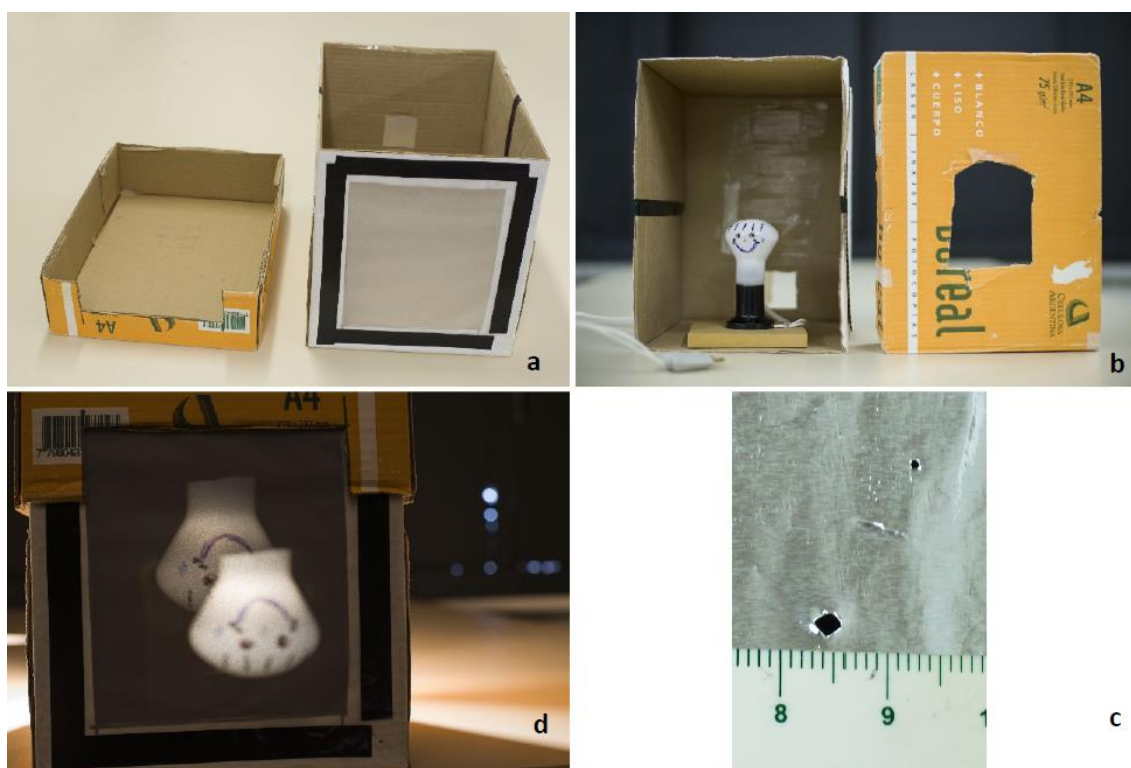
<sup>2</sup> Para os leitores interessados numa linha do tempo da Óptica, ver por exemplo AutorX2, AutorY1 e AutorZ1 (2017). Para alguns detalhes adicionais sobre aspectos epistemológicos ligados ao ensino e à aprendizagem experimental da Física, ver AutorX3 (2017, p. 35 e seguintes).

### 3 - Construindo a câmara escura

Nesta sessão, descreveremos de forma sucinta o princípio físico dominante na Óptica Geométrica, bem como a construção, com material de uso no cotidiano, de uma câmara escura.

O princípio físico básico adotado aqui é de fato singelo: *a luz se propaga em linha reta*. (Isso de certa forma aparece, de forma intuitiva, no desenho do sol realizado por um estudante e apresentado, mais adiante, na figura 2). Adicionalmente, admitiremos que um objeto, não especularmente refletor, extenso, seja ele iluminado ou emissor de luz, pode ser imaginado sendo constituído por pequenas áreas justapostas, cada uma delas emitindo (ou refletindo), de forma difusa, luz, como se fosse um ponto. Desse ponto (imaginaremos) raios de luz serão irradiados em todas as direções. Na próxima seção veremos que a aplicação judiciosa desse princípio físico básico leva a conclusões muito empolgantes e, na maior parte das vezes, facilmente verificáveis a partir dos dispositivos experimentais que serão apresentados a seguir.

Uma câmara escura bastante funcional pode ser construída com os seguintes materiais: duas caixas (de sapatos, de embalagem de papel de impressão, ou algo similar), estilete e (ou) tesoura, fita adesiva, uma folha de papel vegetal (ou algum outro tipo de papel branco fino e translúcido), papel de alumínio, uma lâmpada com soquete (de LED, 6 a 8 W de potência) e uma agulha ou alfinete. Adicionalmente, será necessário dispor de uma sala que possa ser escurecida (se a luz ambiente for muito intensa, a visualização das imagens será bastante prejudicada, podendo mesmo inviabilizar a atividade).



**Figura 1** - (a) A câmara escura. A tela de papel vegetal aparece na parte frontal da caixa, e na parte traseira, vê-se a janela menor sobre a qual foi colocado o papel de alumínio. (b) A fonte de luz, dentro da caixa. (c) Os dois orifícios, feitos no papel de alumínio, que produziram as imagens. O orifício maior é responsável pela imagem mais brilhante, e menos nítida. (d) Imagens obtidas da câmara escura com uma câmera fotográfica fixa a um tripé.

A figura 1 ilustra a montagem da câmara escura empregada nesse trabalho. Na face menor de uma das caixas (figura 1a), corte uma janela de dimensões ligeiramente menores que essa face, e com fita adesiva, cole nela o papel vegetal, que funcionará como uma espécie de tela translúcida. Na face oposta, faça uma janela menor, de uns 5 cm por 5 cm, centralizada. Sobre essa janela, vedando-a completamente, cole (por meio de fita adesiva) uma lâmina de papel de alumínio. No centro dessa lâmina será feito, também centralizado, um orifício pequeno, com a ajuda da agulha. Por razões que justificaremos a seguir, sugerimos que a colagem do papel de alumínio e a perfuração desse sejam feitas pelos alunos, no início da exploração.

A segunda caixa será empregada para evitar que a luz da lâmpada seja dispersada por toda a sala, o que prejudicaria a observação das imagens. Para isso, recorte uma abertura, de aproximadamente 6 cm por 10 cm, numa das faces da caixa, de modo que o centro dessa janela coincida (aproximadamente) com o centro da parte esférica da lâmpada, já instalada em seu soquete (figura 1b). Mas, antes de cortar a janela, verifique um último detalhe: o centro da parte esférica da lâmpada deve coincidir, sempre de forma aproximada, com a altura na qual é feito o orifício na folha de alumínio. A adoção desses cuidados fará com que seja possível conseguir imagens razoavelmente centralizadas, na tela. A sugestão de usar lâmpadas de LED é a de que essas emitem muito pouca radiação na forma de calor, e seu uso dentro de uma caixa de papelão é muito mais seguro do que se fossem usadas lâmpadas de filamento, cuja temperatura (alta) poderia, após ser mantida ligada por um tempo longo, provocar um aquecimento excessivo na caixa que a contém.

Sugerimos proceder mais ou menos na sequência a seguir: antes de tudo, a câmara escura é apresentada aos estudantes, que eles mesmos terminarão de montar colando uma lâmina fina de alumínio (desses que são empregados na cozinha para embrulhar e coser alimentos) na janela oposta à tela translúcida, e fazendo um orifício no centro da lâmina de alumínio (a figura 1c apresenta dois desses orifícios, um de maior diâmetro e outro menor. A ideia de efetuar um segundo orifício em geral vem dos próprios participantes, como será explanado mais adiante). A principal justificativa para propor aos alunos que eles mesmos executem essas operações é a de, além de integrá-los na atividade, permitir que eles se certifiquem que não há mais nada na câmara escura, além do orifício na lâmina de alumínio e, na face oposta, o anteparo translúcido.

Em seguida, coloque a caixa na borda de uma mesa, com a tela de papel vegetal voltada para fora, e coloque a caixa com a lâmpada de modo que essa fique a uns 30 cm ou 40 cm do orifício na lâmina de alumínio. Peça aos alunos para se posicionarem em frente à tela, acenda a lâmpada e apague as luzes da sala. É inevitável: após um curto tempo de adaptação à escuridão (alguns segundos), surgirão exclamações de admiração sobre a nitidez da imagem, acrescidas de – muito provavelmente – uma constatação imediata: “*olha, a imagem é invertida!*” (figura 1d).

Mas, que o leitor não se engane, a diversão está apenas começando!

#### **4 - Descrição da atividade: a sequência exploratória**

Descreveremos a seguir uma sequência de passos para essa atividade exploratória, sempre tendo em vista, como já anunciado previamente, a *exploração* ao invés da *demonstração*. Os dados foram obtidos a partir de uma intervenção realizada numa turma de segundo ano do ensino médio, com doze alunos de uma escola privada, na cidade de Getúlio Vargas, RS.

A sequência, que será detalhada a seguir, contém os seguintes passos: coleta das percepções prévias dos estudantes acerca da natureza da luz; exploração do experimento, que envolveram, alternadamente, a formulação (por parte dos alunos) de perguntas, seguida de um planejamento para a resposta a essas perguntas. A seguir, foi proposta uma estratégia de traçado de raios, executada com régua, papel quadriculado e lápis. Por fim, sugeriu-se a confecção de um mapa conceitual preliminar,

com o objetivo de explorar as inter-relações feitas pelos estudantes entre os diferentes conceitos explorados na atividade, e avaliar a potencialidade da promoção de aprendizagem significativa.

#### 4-1 Coleta das percepções prévias dos estudantes acerca da natureza da luz

Dado que o trabalho aqui apresentado tinha um cunho investigativo e construído a partir de premissas pedagógicas emanadas, em especial, da Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 2003), a coleta de percepções prévias foi feita através de um instrumento, descrito a seguir.

Esse instrumento consistiu numa adaptação (e simplificação) do teste de evocação livre de palavras, que foi voltado, na pesquisa aqui descrita, ao tema “luz” (Pullin & Pryjma, 2011; Debom, 2017). Nesse teste, cada participante é convidado a redigir um certo número de palavras que, no seu julgamento, possuem relação com a palavra tema. Em seguida, o pesquisador recolhe esses registros e faz uma estatística das palavras mais evocadas, e com base nessa estatística, produz um discurso argumentado sobre as representações dos respondentes em torno da palavra tema.

No caso desse trabalho, a coleta de palavras se deu de modo coletivo, da seguinte forma: a professora - pesquisadora escreveu no quadro a palavra – tema, luz, e pediu que os participantes enunciassem palavras (ou expressões contendo duas palavras) que, no julgamento delas tenham alguma relação com essa palavra - tema<sup>3</sup>. A professora anotou no quadro cada palavra enunciada. A diferença aqui é a de que a produção de palavras é coletiva, e não há nenhuma estatística. Uma vez escrita no quadro, não dá para saber quantas pessoas (dos presentes) percebem alguma relação daquela palavra com a palavra tema.

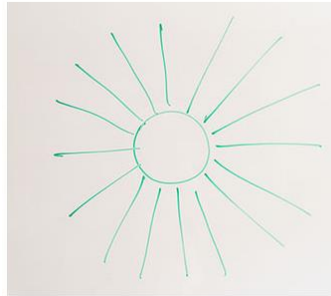
**Quadro 1** - Listagem das palavras evocadas pelos estudantes em torno do tema luz

Cor	Fóton	Arco-íris
Clareza	Sol	Estrela
Brilho	Prisma	Velocidade
Ondas	Poste	Refração
Visão	Faróis	Iluminação
Eletricidade	Óculos	Reflexão
Infravermelho	Efeito Tyndall	Lâmpada
Raios	Propagação	

Outra distinção importante em relação ao teste de evocação de palavras convencional é a de que a enunciação de uma palavra por uma pessoa pode provocar outra pessoa a fazer uma associação parecida. Por exemplo, se uma pessoa cita “fogo” como uma fonte de luz, outra pessoa poderá falar “vela”, e uma terceira, “chama” (de fogão a gás). Dois aspectos favoráveis desse procedimento

<sup>3</sup> Um procedimento similar a esse teste adaptado que propomos aqui é utilizado por GREF (2002), p. 23 e seguintes. O levantamento de palavras, nesse caso, é voltado a “[...] coisas e fenômenos que os alunos relacionam ao aquecimento e resfriamento”.

adaptado: primeiramente, ele pode ser feito rapidamente, e em segundo lugar seu resultado traduz com uma certa fidelidade as representações da turma de alunos como um todo, o que pode ser útil ao professor, de um ponto de vista da estratégia didática a adotar, considerando o conjunto da turma. O quadro 1 é uma transcrição de uma dessas coletas de palavras, evocadas em torno da palavra luz. A figura 2 consiste na imagem de um desenho do Sol, feito por um dos alunos.



**Figura 2** - Um desenho do sol, feito por um dos alunos.

Além dessa evocação livre de palavras, uma outra possibilidade de representação, gráfica desta vez, foi explorada, especificamente em relação à propagação retilínea da luz. Foi solicitado um desenho do sol, a qualquer estudante que quisesse fazê-lo. Dificilmente, num exercício de evocação de palavras em torno da palavra luz, a palavra sol deixará de aparecer, como apareceu aqui; o padrão de desenho mais usual é similar ao que aparece na figura 2 (feito por um aluno): um disco, do qual emanam raios.

#### *4-2 Relato da estratégia didática empregada*

Após a coleta das percepções prévias dos estudantes, foi realizada a parte experimental do trabalho, sequenciada conforme relatado a seguir.

Inicialmente, foram apresentados aos estudantes os dispositivos que compõem a câmara escura, conforme descrito na sessão 3. Os estudantes examinaram o interior das caixas, para certificar-se da ausência de qualquer outro artefato diferente do que havia sido previamente descrito. O papel alumínio foi posicionado pelos alunos, por meio de fita adesiva, na janela menor, e um orifício foi feito, por meio de uma agulha. A seguir, todos os estudantes participantes da atividade colocaram-se à frente da tela de papel vegetal, a lâmpada foi acesa, e as luzes principais da sala, apagadas. A imagem, tal como visualizada na figura 1, é de uma nitidez impressionante, mas é de baixa intensidade, motivo pelo qual a atividade deve ser realizada numa sala bastante escura. As reações dos estudantes foram espontâneas e imediatas: “*olha só a imagem da lâmpada!*”, disse um deles. “*Está invertida!*”, disse outro. Percebe-se nessas reações dos estudantes que se inicia um processo de diferenciação em relação às ideias ou conceitos previamente estabelecidos.

É nesse momento que o princípio educativo dessa atividade, “explorar em vez de demonstrar”, deve ser posto em prática. Para isso, é essencial que o professor *não dê respostas*. Ele fará (como foi feito no relato do caso aqui reportado) um acordo preliminar com os estudantes para que eles mesmos façam – espontaneamente – as perguntas que desejarem. Ao professor cabe então compilar essas perguntas e desenhar, sempre junto com os estudantes, estratégias teórico-experimentais para respondê-las. As respostas, como será apresentado a seguir, foram construídas pelos alunos e pelo professor, conjuntamente. Como a aprendizagem significativa é progressiva, com rupturas e continuidades, a utilização de estratégias que promovem o diálogo, ou a negociação de significados, implica, conseqüentemente, na captação de novos significados.



A professora pesquisadora recolheu<sup>4</sup>, de maneira bastante conveniente, três ou quatro das muitas perguntas dos estudantes e, em seguida, escolheu quais delas seriam respondidas primeiro. Essa providência é importante, pois permite, dentre as diversas perguntas formuladas, escolher, por primeiro, aquelas que resultem em ideias mais gerais e claras a respeito da atividade. Ou seja, inicia-se com ideias mais organizadas na estrutura cognitiva e, então, progressivamente, elas são diferenciadas e reconciliadas. Algumas das questões formuladas pelos alunos ao longo dessa atividade foram: *Porque a imagem é invertida?* (Em outras oficinas realizadas anteriormente – ver a nota de rodapé 4 - essa foi, na maior parte das vezes a primeira questão formulada); *se a lâmpada for afastada, o que acontece com a imagem? Aumenta? Diminui? Fica do mesmo tamanho?; Porque o buraco tem de ser pequeno?; e se forem mais furos?; e se o buraco não for redondo?* entre outras. Cabe aqui um alerta a quem se propor executar a estratégia didática proposta: as perguntas devem emanar espontaneamente dos estudantes, elas não devem em nenhuma hipótese ser propostas pelo professor, pelo menos não no início da atividade. Essa é uma atitude favorável à aprendizagem, pois possibilita, de certa forma, que os estudantes reorganizem suas ideias no sentido de adquirir mais estabilidade cognitiva. Para os leitores que se dispuserem a efetuar essa atividade, sugerimos que a primeira pergunta a ser tratada seja a que diz respeito à imagem invertida, levando em conta que é praticamente certo que os estudantes farão essa observação.

A primeira pergunta a ser explorada foi a que dizia respeito à imagem invertida. Para isso, foi desenvolvida com os estudantes uma técnica elementar de traçado de raios, para ser executada, na sua parte inicial, de forma individual pelos estudantes, com o uso de uma folha de papel quadriculado, régua e lápis. Aqui, a professora pesquisadora ressaltou que uma das formas de compreender a luz seria empregada, de fato uma das formas mais simples, qual seja, a luz se propaga na forma de raios, termo que foi mencionado pelos estudantes (quadro 1), além de aparecer no desenho do sol. Outras formas de representação da luz, onda, fóton, que também foram mencionadas, foram objeto de um trabalho posterior, envolvendo uma linha do tempo da óptica, trabalho este que não será aprofundado aqui. (O leitor interessado poderá consultar Oliveira (2017), e também Oliveira, Catelli, e Giovannini, (2017). O traçado de raios foi feito individualmente, mas não foi excluída a possibilidade de ajuda dos colegas entre eles. A professora pesquisadora “ensinou” então a seus estudantes basicamente o que segue.

Para começar, admitir-se-á que a luz se propaga em linha reta. Um objeto, não especularmente refletor (outro termo mencionado pelos alunos), extenso, seja ele iluminado ou emissor de luz, será imaginado como sendo formado por minúsculos quadrados, cada um deles emitindo (ou refletindo) luz como se fosse um ponto. Uma imagem numa tela de telefone celular, constituída por pixels, pode ser uma boa analogia<sup>5</sup> para o que está sendo proposto aqui. De cada um desses pontos, foram imaginados raios de luz sendo irradiados em todas as direções. A professora - pesquisadora desenhou no quadro uma figura similar à da figura 3, na qual dois pontos aleatórios, um na parte superior e outro na parte inferior, “emitem” raios de luz. Cabe aqui uma recomendação: é muito importante que o professor não faça o trabalho completo; uma boa estratégia é mostrar que apenas um dos raios que partem, digamos, do ponto superior, atravessa o orifício e atinge a tela de

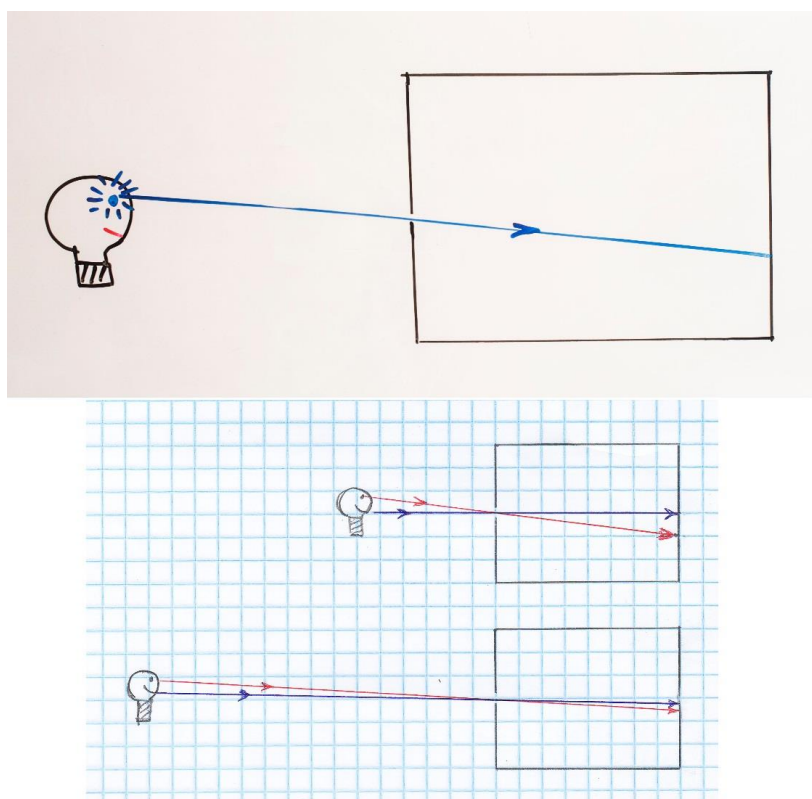
<sup>4</sup> As questões efetuadas pelos alunos, aqui apresentadas, bem como os encaminhamentos que se sucederam, foram todos oriundos da atividade que serviu de base à dissertação de mestrado de um dos autores (aqui apresentado como professora pesquisadora). Entretanto, essa mesma atividade foi liderada em mais de uma dezena de ocasiões, por outro dos autores do trabalho, no contexto de um programa intitulado “Encorajando Meninas em Ciências e Tecnologias” (<https://engfut.org/encorajando>). Em todas essas ocasiões, os resultados aqui reportados foram bastante similares, exceto no que diz respeito à produção de mapas conceituais (essa atividade não foi realizada nessas ocasiões).

<sup>5</sup> A propósito, numa das ocasiões em que essa atividade exploratória foi implementada pelos autores, um dos presentes perguntou se seria possível produzir a imagem da tela de um telefone celular. Os leitores interessados poderão explorar essa possibilidade, sempre lembrando que é essencial a disponibilidade de uma sala muito bem escurecida.

papel vegetal, no fundo da caixa. Dessa forma, os estudantes terão oportunidade de completar, por eles mesmos, o trabalho, apropriando-se assim gradualmente da técnica de traçado de raios.

Em seguida, papel quadriculado e régua foram distribuídos a cada um dos alunos, que foram instruídos a reproduzir o desenho da professora - pesquisadora, completando-o em seguida, por eles mesmos, com o traçado do raio que vem do ponto situado na parte inferior da figura. Nesse ponto, a reação dos estudantes foi praticamente imediata, após o traçado do segundo raio: “*ah, agora entendi porque inverte!*” Cabe aqui mais um alerta ao leitor que se dispuser a implementar essa atividade: é importante alertar os alunos para que o desenho seja feito com régua; adicionalmente, deve-se destacar que os raios passem precisamente no orifício, sob pena de as previsões obtidas a partir desse “cálculo” geométrico sejam pobres, ou mesmo falsas.

A segunda questão explorada foi: *e se a caixa com a lâmpada for afastada?* A professora pesquisadora, antes de afastar a caixa com a lâmpada para “ver o que acontece”, incitou fortemente os alunos a formularem suas expectativas. De fato, é muito fácil afastar a caixa e ver o que acontece com a imagem, e isso foi feito. Mas – e esse é um aspecto crucial, que dá a essa atividade o pretendido caráter exploratório – isso foi feito apenas depois de os alunos terem manifestado suas expectativas.



**Figura 3** - O professor desenha no quadro uma figura como a apresentada na parte superior da figura. Os estudantes reproduzem essa figura, e em seguida completam-na, incluindo o raio que passa pelo orifício, vindo do ponto inferior. A parte inferior da figura permite prever o tamanho menor da imagem quando a lâmpada é afastada.

As primeiras hipóteses dos estudantes apontaram para um aumento do tamanho da imagem; uma possível explicação para essa resposta seria a de que os estudantes já viveram a experiência do aumento da imagem projetada quando um retroprojektor ou um projetor multimídia é afastado da tela.

Essa explicação é de fato uma hipótese: não foram realizadas pesquisas posteriores para confirmá-la, ou não. Mas essa experiência prévia, tenha a origem que tiver, é enganosa no caso da câmara escura, como os estudantes tiveram a oportunidade de perceber.

Nesse ponto da atividade a professora - pesquisadora propôs um novo traçado de raios, dividido em duas construções geométricas. Numa delas, a lâmpada está relativamente perto da câmara escura, e na outra, mais distante, como mostrado na parte inferior da figura 3.

Uma observação relevante nesse momento é a de instruir os estudantes para que, no traçado de raios, desenhem a segunda câmara escura com as mesmas dimensões da primeira, salvo que, dessa vez, a lâmpada, também desenhada com aproximadamente o mesmo tamanho, estará mais afastada. Dessa forma, comparações entre as duas situações serão possíveis. Apenas após feitas as previsões (sempre pelos estudantes), a professora - pesquisadora promoveu o afastamento da caixa com a lâmpada (mais uma sugestão aos potenciais futuros executores dessa atividade exploratória: como a sala estará escurecida, é aconselhado organizar os estudantes em frente à caixa da câmara escura com as luzes acesas, e em seguida, após escurecida a sala, efetuar o afastamento da lâmpada da caixa. Com essa providência, são evitados deslocamentos dos estudantes no escuro, que seriam acompanhados de inevitáveis encontrões em cadeiras e mesas.)

O leitor imaginará facilmente a reação dos estudantes: “*viu? Eu falei que diminuiria!*”, pontificou um dos presentes. Também é importante relatar que, antes da construção do traçado de raios proposto pela professora - pesquisadora, alguns estudantes já intuíaam que a imagem iria diminuir, e defendiam essa possibilidade. Depois de feito o traçado de raios, estabeleceu-se um consenso, entre todos os estudantes, pelo qual, sim, a imagem teria que diminuir. Esse foi um momento especialmente rico da atividade: o experimento foi primeiro representado, com lápis, régua e papel. Os estudantes exerceram por um momento, e autenticamente, a faculdade de prever o que iria acontecer. Então, a confirmação da diminuição da imagem foi um momento de satisfação, no qual as previsões feitas (e argumentadas, através do traçado de raios) de fato se concretizaram. Assim, nessa sequência de ações da atividade exploratória, estabeleceu-se um diálogo entre estudantes e professor que possibilitou, de forma progressiva, a ocorrência da diferenciação e da reconciliação integrativa para tornaram o subsunçor mais estável e mais refinado.

Em outras ocasiões, em encontros realizados com diferentes estudantes, a reação destes sempre foi muito favorável a essa possibilidade de teorizar primeiro, testar empiricamente depois; eles invariavelmente se dispunham a efetuar todo o trabalho de investigação (apresentar hipóteses, desenhar diagramas de raios), antes de efetuar os testes empíricos (afastar a caixa e ver o que ocorre com a imagem, por exemplo).

Mas talvez a exploração mais espetacular do traçado de raios surgiu quando um dos envolvidos em algumas das explorações relatadas acima encontrou na WEB um vídeo<sup>6</sup>, no qual o autor descreve “[...] uma sombra que não imita o objeto”. Uma fonte de luz extensa (pode ser um painel de LED, como o empregado nas imagens apresentadas na figura 4) é recoberta com uma máscara opaca (papelão, por exemplo), no qual é recortada uma figura (uma seta, uma cruz, ou uma forma qualquer – olhos e boca, por exemplo). Quando a máscara é colocada sobre o painel luminoso, a luz (difusa) passa apenas através das aberturas, e incide numa parede clara, iluminando-a de forma mais ou menos homogênea. As luzes da sala deverão estar apagadas, e as janelas, fechadas. Se uma esfera, de um diâmetro aproximado de 1 cm, pendurada por um fio, a mais ou menos a meia altura do painel, for interposta entre este e a parede, tipicamente a uns 30 cm desta, ela projetará uma sombra que é a réplica invertida da fonte de luz! Dito de outra forma: a sombra da fonte luminosa, projetada

<sup>6</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=LBmzCCru3GY>

por uma esfera, recria a forma da fonte: a sombra que a esfera produzirá de uma seta será uma seta, de uma cruz, também uma cruz, e assim por diante.



**Figura 4** – Na imagem superior, uma esfera pequena, suspensa por um fio, interposta entre uma parede e uma fonte de luz difusa, na forma de olhos e boca, projeta uma sombra que é uma réplica fiel (mas invertida) desta fonte. A imagem inferior, à esquerda, é uma ampliação da esfera e da sombra da imagem superior; a imagem inferior direita é a projeção luminosa, através de um orifício efetuado em um papelão interposto, da fonte de luz, configurando assim uma câmara escura. A imagem inferior esquerda parece “o negativo” da imagem inferior direita. A esfera aparece apenas como referência, e não influi na projeção da sombra.

Como isto é possível? Retomando: na câmara escura, um pequeno orifício “seleciona” um raio de luz, dos muitos que partem de uma diminuta parcela do objeto luminoso, do qual se quer formar a imagem sobre um anteparo. Este raio “selecionado” recairá num determinado ponto do anteparo. Se uma outra pequena parcela do objeto iluminado for considerada, o novo raio “selecionado” pelo orifício recairá num ponto diferente do anteparo. Se todas as pequenas parcelas que compõem o objeto luminoso forem consideradas, a imagem (invertida) deste resultará projetada no anteparo. É o princípio da câmara escura, explorado neste trabalho. Se, no lugar do orifício, um obstáculo pequeno (esfera, neste caso) for posicionado entre a fonte de luz e o anteparo, a sombra que este obstáculo produzirá poderá ser entendida de maneira análoga àquela relacionada à câmara escura. Seja, por exemplo, um dos olhos do objeto luminoso da figura 4, suposto aqui, para facilidade da explicação, de diâmetro muito pequeno. A sombra da esfera, produzida por esta parcela da fonte luminosa (um dos olhos) recairá no anteparo na extremidade do segmento de reta que parte do olho, passa pela esfera e termina na sombra, sobre o anteparo. Já a sombra da esfera, projetada pelo outro olho, recairá em um ponto diferente do anteparo. E assim sucessivamente, para todas as parcelas que compõem a fonte luminosa. Em síntese, se o orifício projeta em diferentes pontos do anteparo as muitas parcelas do objeto luminoso, criando uma imagem (iluminada) deste, a esfera produz o mesmo efeito, porém com a diferença que sombras das diversas parcelas do objeto luminoso são projetadas

em diferentes partes do anteparo, produzindo assim uma imagem em sombra (em “negativo”) do objeto luminoso.

Para não alongar excessivamente o artigo, não faremos o relato detalhado de outros momentos pedagógicos relevantes nessa atividade. Mas, como inspiração aos leitores, mencionaremos diversas outras questões, que são passíveis de teorizações prévias e posteriores testes empíricos, facilmente executáveis. *E se o orifício for grande?* Os estudantes percebem rapidamente que, agora, “mais de um raio passará por ele”; a imagem que corresponde a um ponto da lâmpada corresponderá a um borrão na tela. Ela será mais luminosa (passam mais raios pelo orifício), mas menos nítida (a um ponto no objeto corresponde um borrão, maior, na imagem). Os alunos em geral apontam eles mesmos para esses resultados, antes de aumentar o orifício (compare a imagem resultante de um orifício menor – mais fraca – com aquela produzida por um orifício maior, na figura 1-d).

Deixaremos para o leitor explorar outras possibilidades: e se for feito mais de um orifício? (Veja novamente a figura 1-d). O que determina a nitidez da imagem? E se a caixa da câmara escura for mais comprida? Mais curta? Ocorre inversão lateral da imagem (esquerda pela direita)? O orifício precisa ser redondo? A lista de questões possíveis é de fato bastante extensa.

#### 4-3 Uma contribuição do professor

Uma aplicação, um tanto inesperada, da câmara escura diz respeito às imagens do Sol, formadas quando seus raios atravessam interstícios entre as folhas de uma galhada de árvore. A figura 5 (à esquerda) mostra diversas imagens circulares do Sol produzidas dessa forma, numa calçada.



**Figura 5** - À esquerda: imagens do Sol (discos) formadas quando seus raios atravessam pequenos interstícios de uma cobertura vegetal. E se o Sol não tivesse a forma de disco? Isso ocorre durante um eclipse, como o acontecido em 26 de fevereiro de 2017. A foto da direita mostra o Sol como se o seu formato fosse o de uma lua (“lúnula”). (Imagens dos autores. Ver também Silveira & Axt, 2007).

O professor poderá ele também contribuir para a atividade exploratória apresentado as imagens da figura 5 (ou outras, facilmente encontráveis na rede mundial de computadores), e explicando que a galhada de uma árvore provê um grande número de interstícios, pelos quais a luz do Sol pode passar. Note que, na figura 5, alguns discos são mais intensos, e outros mais fracos, o que indica que as aberturas que os produziram são, respectivamente, maiores e menores (mas não precisam ser circulares, o que pode ser constatado facilmente com o aparato experimental sugerido acima). Os discos luminosos, na foto da figura 4, têm todos mais ou menos o mesmo diâmetro porque a galhada que interceptou a luz solar era, na verdade, uma latada de uma planta trepadeira, similar às folhas de um parreiral, e com isso a camada vegetal estava a uma distância mais ou menos uniforme do solo.

E se o Sol tivesse uma forma diferente da de um disco? Na imagem à direita, na figura 4, foi capturado um desses momentos raros, em que o Sol possui uma forma que lembra a da lua. Essa imagem foi obtida com a luz do Sol passando através de alguns pequenos orifícios feitos em uma lâmina de alumínio, a aproximadamente 4 m de distância do solo, sobre o qual foi colocado um anteparo claro. As imagens do Sol eclipsado aparecem na região de sombra da lâmina. Trata-se de um eclipse, e a imagem resultante mostra isso. Agora, os estudantes sabem porquê. Por fim, cabe ao professor retomar alguns termos mencionado pelos alunos (reflexão, refração, prisma, por exemplo, retirados do quadro 1), dando conta que a propagação da luz em linha reta produziria outros tantos resultados empolgantes, como os apresentados aqui com a câmara escura.

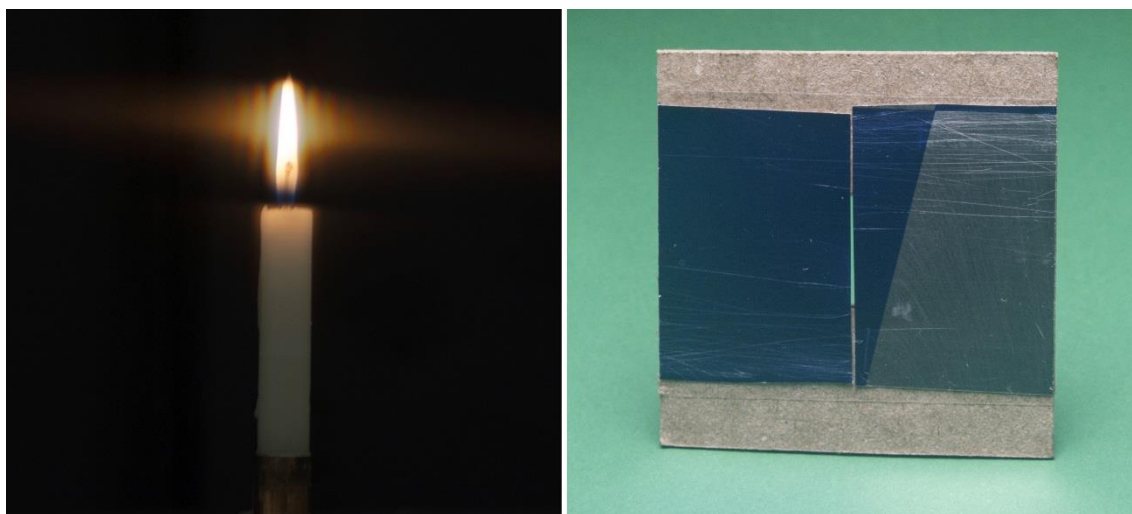
#### *4-4 Uma segunda contribuição do professor*

E quando a propagação retilínea da luz não funciona mais? Os resultados positivos da realização dessa atividade exploratória são em geral empolgantes. Os estudantes, como já relatado, fazem muitas perguntas, e boa parte delas pode resultar em explorações feitas no ato, explorações essas que fornecem respostas empíricas muito convincentes. E esse pode ser, com o tempo, um problema: de tanto verem as conjecturas a respeito do comportamento da luz como raio serem bem-sucedidas, os estudantes podem generalizar, e pensar que sim, o comportamento retilíneo da luz sempre fornecerá boas respostas. Esse comportamento dos estudantes não seria de surpreender: frequentemente a escola sugere, de forma indireta, bem entendido, que a ciência progride indutivamente, ou seja, um grande número de sucessos no uso de uma teoria (a propagação retilínea da luz) garantirá que ela seja, na medida que os sucessos vão ocorrendo, cada vez mais confiável. Sem querer aprofundar aqui uma discussão de cunho filosófico (aliás, uma discussão interessantíssima), propomos que o encerramento dessa atividade se dê através de uma última exploração, na qual as premissas que funcionaram tão bem até aqui não levarão mais ao êxito.

O leitor talvez se espante um pouco com essa proposta, mas o argumento (central) seria o de que a ciência, sendo uma empreitada humana, progride pelas mais diversas formas, e um desses mecanismos de progresso decorre justamente de explorações que levam a fenômenos que não se enquadram no padrão vigente de exploração. Numa manifestação bem-humorada a esse respeito, Helen Czerski (Czerski, 2019, p. 186) atribui a Isaac Asimov o seguinte dito: *“A frase mais animadora que podemos ouvir na ciência, aquela que anuncia novas descobertas, não é Eureka! (Descobri!), mas ‘Humm... que estranho’.”*

Há muitas formas interessantes de manifestar a natureza não retilínea da luz. Propomos aqui uma delas, de preparação pouco trabalhosa e execução rápida. Trata-se da difração da luz de uma vela através de uma fenda estreita. Em uma moldura de papelão, de dimensões externas sugeridas de 5 cm por 5 cm, e internas de uns 3 cm por 3 cm, cole duas tiras de papel de alumínio, com bordas bem retas (use uma tesoura para cortá-las. A lâmina de alumínio pode ser obtida de latas de refrigerante vazias),

conforme foto à direita da figura 6. As bordas das duas tiras devem estar separadas de uma distância uniforme, de cerca de 0,5 mm.



**Figura 6** - À esquerda: uma vela, fotografada através de uma fenda de aproximadamente 0,4 mm de largura, colocada à frente da lente da câmara<sup>7</sup>. É possível explicar essa imagem com argumentos emanados da ideia de propagação retilínea da luz? À direita: a fenda, feita por meio de lâminas de lata de refrigerante superpostas (por meio de fita dupla face) a uma janela recortada em uma moldura de papelão.

Prepare (ou peça para os alunos fazerem isso, se houver tempo) uma dezena desses dispositivos, e depois peça para os estudantes fecharem um olho, posicionarem a fenda assim produzida em frente ao outro olho, na posição vertical, enquanto observam a chama de uma vela. Não é necessário escurecer a sala, mas num ambiente escurecido o efeito é ainda mais empolgante.

Se o leitor consultar a foto à esquerda da figura 6 perceberá que as premissas de propagação em linha reta ajudarão muito pouco, aqui. *Porque a chama da vela parece ficar mais larga, em vez de mais estreita? Porque aparecem cores, de ambos os lados? E se eu olhar uma lâmpada, o efeito é o mesmo?* Essas são, tipicamente, algumas das questões que costumam surgir.

Possivelmente o tempo escolar seja escasso, e talvez não seja possível explorar mais profundamente esse fascinante efeito. Mas os estudantes se satisfarão, muito provavelmente, em ter um contato preliminar com o chamado princípio de Huygens, mesmo que não seja viável explorá-lo a ponto de chegar a uma explicação convincente. É importante também – se for o caso – como aconteceu neste trabalho, recordar que os alunos ~~eles~~ mesmos citaram (veja quadro 1) a palavra “onda”, que, explorada com mais profundidade, traria um outro conjunto de belas interpretações ao que é visto na figura 6. Um efeito colateral desse procedimento é o de despertar a curiosidade de um certo número de estudantes, o que é muito positivo. Afinal, a aprendizagem significativa é um processo dinâmico no qual o aprendiz, diante de situações progressivamente mais complexas, requer máxima transformação do conhecimento adquirido.

---

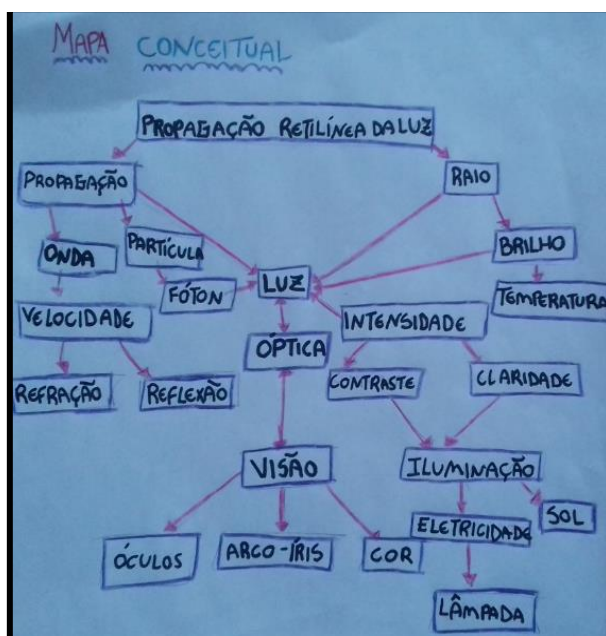
<sup>7</sup> A imagem foi produzida pelos autores da seguinte forma: primeiro, a figura de difração da vela foi obtida, numa sala escura, com uma fenda colocada em frente à objetiva de uma câmara fotográfica, presa a um tripé e com uma exposição de 5 s, com fundo escuro. A vela foi colada a 4 m da câmara, munida de uma objetiva de 450 mm de distância focal. Em seguida, foi feita uma imagem da vela com luz ambiente (exposição de 1/60 s), com a câmara e a vela mantidas cuidadosamente na mesma posição, e as duas imagens foram sobrepostas, num programa de tratamento de imagens. A visualização “a olho nu”, através da fenda, da figura de difração, tem um aspecto mais ou menos semelhante ao da foto: vê-se nitidamente a figura de difração, bem como a imagem da vela.

## 5 - Avaliação da atividade e considerações finais

Iniciaremos apresentando um mapa conceitual produzido por um grupo de alunos e concluiremos relatando algumas observações efetuadas ao longo do processo.

Um aspecto relacionado à avaliação da atividade diz respeito aos mapas conceituais produzidos pelos estudantes. Para esta atividade de construção de mapas conceituais, a pesquisadora apresentou previamente aos estudantes um exemplo, voltado a um tema diferente do pesquisado aqui. Os alunos, a seguir, foram orientados a construir seus próprios mapas, utilizando para isto, anotações de aulas anteriores, elementos pesquisados em livros, alguns dos termos do quadro 1, da forma que eles julgassem pertinente. Feita a atividade de construção dos mapas, a pesquisadora analisou-os em aula, com base na validade dos conceitos, na pertinência das ligações entre eles, na presença ou ausência de palavras de ligação associadas aos conectores, e na hierarquia (Moreira, 2013).

Um desses mapas, produzido por uma dupla de estudantes logo após a atividade, e sem muita elaboração prévia é apresentado na figura 7. O fato de esse mapa ter sido produzido imediatamente após o término da exploração aqui proposta justifica relações ainda pobres entre os diversos conceitos apresentados, como, por exemplo, na parte superior do mapa os estudantes utilizam o termo “propagação” conectado com “propagação retilínea da luz” e mais abaixo associando “arco-íris” com a visão. Outro aspecto importante a salientar é a ausência de palavras de ligação ou rótulos nas setas que ligam os conceitos, aspecto esse que foi explorado posteriormente por um dos autores, após atividades com lentes e olho humano, e também após um encontro voltado à ótica ondulatória. Esses resultados não foram apresentados aqui por fugirem ao escopo desse artigo. Por outro lado, pode se observar no mapa conceitual da Fig. 7 uma hierarquia dos conceitos mais importantes sendo destacados, como “raio” e “onda” e “luz” e “ótica” no centro do mapa



**Figura 7** - Mapa conceitual produzido por uma dupla de alunos, logo após a realização da atividade.

É importante salientar a posição dos autores frente aos mapas conceituais: muito mais do que análises de certo ou errado, eles revelam (de modo parcial, bem entendido) a percepção conceitual dos autores sobre os temas tratados, num dado momento. Esses mapas servem, portanto, muito mais como pontes para futuros procedimentos didáticos do que evidências puras e simples de que o



estudante aprendeu, e de que aprendeu, ou atribuiu significado, em consequência da atividade proposta. Os pesquisadores não tinham essa intensão ao projetar a atividade e não consideraram o mapa apresentado na figura 7 como uma evidência inquestionável de aprendizagem.

Finalmente, é importante destacar que, nesse tipo de atividade, há sempre muito diálogo entre o professor e os alunos e entre eles mesmos, especialmente por ocasião da formulação de hipóteses (*o que vai acontecer se ...*). Ressalta-se que atividades colaborativas são estratégias potencialmente significativas, pois viabilizam o intercâmbio e colocam o professor na posição de mediador. Ao longo desses diálogos, é importante resgatar termos (palavras, expressões) enunciados pelos alunos, sempre que for o caso. Exemplificando: no quadro 1, vemos registrado o termo “raios”. No momento em que os diagramas de raios são explicados pelo professor, é importante lembrar que essa enunciação foi feita por eles.

Em algum momento, à escolha do professor, também cabe mencionar que outras formas de conceber o fenômeno “luz” foram igualmente citados: onda e fóton, no caso desse trabalho. Convém ressaltar que essas formas de conceber a luz (raio, onda, fóton) surgiram em momentos diferentes da história de Ciência, e estão usualmente associadas a cientistas, alguns deles muito conhecidos (propagação retilínea da luz e Newton, luz como onda e Huygens, os fótons de luz e Einstein). Uma linha do tempo associada a essas três formas de conceber a luz pode ser encontrada em AutorX1 (2017, p. 50) e também em AutorX2; AutorY1 & AutorZ1 (2017).

Menções dos alunos aos olhos e à visão foram frequentes. Um estudante perguntou se o olho humano se comportava como uma câmara escura (o leitor lembrará que, no quadro 1, foi evocado o termo “visão”). A resposta negativa foi acompanhada de uma promessa, feita pelo professor, de que o tema “lentes” seria estudado em encontros seguintes. Essa promessa foi cumprida, através do planejamento e execução de atividades teórico – experimentais acerca de lentes convergentes e divergentes, acompanhada de um modelo improvisado do olho humano (essa atividade foge ao escopo desse artigo, e por isso não será detalhada. Ela foi mencionada aqui com a intensão de referir possíveis encaminhamentos resultantes das questões formuladas pelos participantes).

Formular perguntas, hipóteses, previsões, também resgata em parte o fazer do cientista. E nesse aspecto, uma avaliação do processo pode ser feita a partir da quantidade e qualidade das perguntas e hipóteses formuladas pelos alunos. Para não alongar excessivamente o artigo, não incluiremos aqui as variadas respostas produzidas pelos estudantes, nem todas as estratégias investigativas que se desenvolveram durante o encontro; apresentaremos a seguir apenas um exemplo ilustrativo da exploração de uma dessas perguntas.

Retomando, agora com um pouco mais de detalhe, a discussão sobre o que ocorreria se a lâmpada fosse afastada da câmara escura, a maior parte dos estudantes previu que o tamanho da imagem aumentaria. Entretanto, alguns poucos estudantes asseveraram que a imagem deveria diminuir, mas não conseguiram argumentar (naquele momento) a causa dessa diminuição. (Nenhum estudante antecipou que a imagem ficaria do mesmo tamanho). O professor tomou então a seguinte providência: solicitou que os alunos voltassem a seus lugares, retomassem seus diagramas, e criassem um novo, no qual a câmara escura e a lâmpada teriam o mesmo tamanho, mas dessa vez a lâmpada estaria mais distante. Rapidamente, todos os estudantes, sem exceção, passaram a afirmar que a imagem deveria diminuir de tamanho, se a lâmpada fosse afastada. Essa é uma avaliação importante da eficácia da atividade exploratória: os estudantes formularam uma pergunta (a imagem aumenta, diminui, fica igual?), e os estudantes produziram uma resposta, a partir do traçado de um diagrama de raios. O leitor notará que essa resposta, elaborada após o traçado de raios, não confirmava a hipótese preliminar de muitos dos alunos, o que indica que alguma coisa nova surgiu no processo.

Um aspecto adicional a destacar, a respeito dessa pergunta, é o de que, nesse ponto, os estudantes tinham uma resposta, mas como eles mesmos gostam de dizer, tratava-se de uma resposta *teórica*. O professor pode pontuar, nesse momento, que uma resposta teórica também configura uma exploração. Mas, nesse caso (o leitor notará que a afirmação a seguir não é generalizável) é possível criar um contexto experimental no qual o efeito previsto pode ser executado, observado e avaliado. Agora, temos um procedimento tipicamente empírico, no qual um procedimento de experimentação é projetado e realizado. Como já relatado mais acima, isso se concretiza no momento em que os estudantes se posicionam em frente à câmara escura e visualizam a imagem, enquanto o professor afasta lentamente a lâmpada. É empolgante testemunhar a reação dos alunos, ao constatarem a pertinência da previsão feita por eles, por meio do traçado de raios (a figura 3 contém um desses desenhos, feito por um aluno). Esse, então, é mais um aspecto que permite qualificar positivamente a exploração realizada na promoção da aprendizagem significativa.

Uma premissa importante emprestada da epistemologia é a de que resultados de experimentos não configuram automaticamente nenhuma prova da veracidade do que está sendo explorado. Nesse trabalho, uma atividade é propositalmente introduzida no final com o objetivo precípua de destacar que *experimentos não são provas*. A observação da chama de uma vela através de uma fenda estreita abre uma nova possibilidade, e os estudantes aprendem que uma teoria pode funcionar, eventualmente muito bem, mas fatalmente atingirá em algum momento sua fronteira de validade. Incluiríamos essa possibilidade também como uma avaliação positiva da exploração aqui proposta.

## Referências

- Araújo, I. S. & Mazur, E. (2013). Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino aprendizagem de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 30, n. 2. Acesso em 27 jun., 2022, <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2013v30n2p362/24959>
- Araújo, M. S. T. & Abib, M. L. V. S. (2003). Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 25, n. 2. Acesso em 27 jun., 2022, <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/?format=pdf&lang=pt>
- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: a cognitive View*. Nova York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D. & Hanesian, H. (1980). *Psicologia educacional*. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana.
- Becker, F. *Educação e construção do conhecimento*, 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2012.
- Bonwell, C. C.; Eison, J. A. (1991). *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom*, School of Education and Human Development, Washington.
- Debom, C. (2017). Representações da astronomia. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(UFRGS), Porto Alegre. Acesso em 27 jun., 2022, <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/174208/001061486.pdf?sequence=1>

Elmôr Filho, G.; Sauer, L. S.; Almeida, N. N. De & Villas-Boas, V. (2019). *Uma Nova Sala de Aula é Possível*. Rio de Janeiro: LTC.

Espíndola, K. & Moreira, M. A. (2006). *A estratégia dos projetos didáticos no ensino de Física na educação de jovens e adultos (EJA)*. Textos de Apoio ao Professor de Física, v.17 n.2. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física Acesso em 27 jun., 2022, [https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n2\\_Espindola\\_Moreira.pdf](https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n2_Espindola_Moreira.pdf)

Gaspar, A. (2014). *Atividades Experimentais no Ensino de Física. Uma nova Visão Baseada na Teoria de Vigotski*. São Paulo: Editora Livraria da Física.

Gref – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (2002), ZANETIC, J.; MENEZES, L. C. E HOSOUME, Y. (organizadores). *Volume 2 – Física Térmica e Óptica*. São Paulo: EDUSP.

Kzerski, H. (2018). *Tempestade numa xícara de chá. A Física do dia a dia*. Rio de Janeiro: Record.

Moreira, M. A. (2013). *Aprendizagem significativa em mapas conceituais*. Textos de Apoio ao Professor de Física, v. 24 n. 6. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física. Acesso em 27 jun., 2022, [http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24\\_n6\\_moreira.pdf](http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira.pdf)

Moreira, M. A. (2011). *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Editora Livraria da Física.

Moro, F. T.; Neide, I. G. & Rehfeldt, M. J. H. (2016). Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 3, p. 987-1008, dez. Acesso em 27 jun., 2022, <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p987>

Novak, J. D. (1998). *Aprender, criar e utilizar o conhecimento: Mapas conceituais como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas*. Lisboa: Plátano Edições técnicas.

Novak, J. (2000). A demanda de um sonho: a educação pode ser melhorada. In J. MINTZES, J. WANDERSEE & J. NOVAK (Eds.) *Ensinando Ciências para a Compreensão - uma visão construtivista* (pp. 22-43). Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

Oliveira, S. F. (2017). *Aprendizagem Potencialmente Significativa de Óptica Geométrica*. Dissertação de Mestrado, Caxias do Sul: PPGECiMa - Universidade de Caxias do Sul. Acesso em 27 jun., 2022, <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/3323>

Oliveira, R. & Camiletti, G. (2018). A utilização de um material instrucional elaborado com base na aprendizagem significativa: uma introdução ao movimento dos corpos. *Experiências em Ensino de Ciências*, V.13, No.1. Acesso em 27 jun., 2022, [https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo\\_ID459/v13\\_n1\\_a2018.pdf](https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID459/v13_n1_a2018.pdf)

Oliveira, S. F; Catelli, F. & Giovannini, O. (2017). Espectrômetro amador: quantificando comprimentos de onda. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V. 24, no. 3. Acesso em 27 jun., 2022, <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n3p951>

Oliveira, T. E.; Araujo, I. S. & Veit, E. A. (2016). Sala de aula invertida (Flipped classroom). Inovando as aulas de Físicas. *Física na Escola*, v. 14, n. 2. Acesso em 27 jun., 2022, <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/159368/001016037.pdf?sequence=1>

Oliveira, V.; Veit, E. A. & Araujo, I. S. (2015). Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (Just-in-Time Teaching) e Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) para o Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo no nível médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 1. Acesso em 27 jun., 2022, <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n1p180>

Pullin, E. M. M. P. & Pryjma, L. C. (2011). Representações sociais da leitura: núcleo central e periferia dessas representações entre professores. *Práxis Educativa*, v. 6, n. 2, p. 207, jul. – dez. Acesso em 27 jun., 2022, <http://www.revistas2.uepg.br/index.php/praxiseducativa/article/view/2439>

Silveira, F. L. & Axt, R. (2007) O eclipse solar e as imagens do sol observadas no chão ou numa parede. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 3: p. 353-359, dez. Acesso em 27 jun., 2022, <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6241>

Zuconelli, C. R.; Machado, A. T. P.; Zuconelli, A. A.; Martini, V. P. & Campos, S. X. (2018) Utilização da Aprendizagem Significativa para o ensino da função orgânica álcool. *Experiências em Ensino de Ciências* V.13, No.4. Acesso em 27 jun., 2022, <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/62>