

## UNIDADE DIDÁTICA PARA O ESTUDO DOS COMPORTAMENTOS ONDULATÓRIO E CORPUSCULAR DA LUZ

### DIDACTIC UNIT FOR THE STUDY OF UNDULATORY AND CORPUSCULAR BEHAVIORS OF LIGHT

Felipe Alexandre Medeiros de Freitas<sup>1</sup>

Amadeu Albino Junior<sup>2</sup>

Maria da Glória Fernandes do Nascimento Albino<sup>3</sup>

Paulo Cavalcante da Silva Filho<sup>4</sup>

**RESUMO:** Ensinar conceitos relativos à natureza da luz, não é tarefa simples. A abordagem presente nos livros é escassa e suscita pouca discussão. Nesse contexto, o presente artigo objetiva apresentar uma proposta, baseada no conflito cognitivo, sobre a natureza da luz, utilizando a experimentação do tipo demonstrativa, a História da Física e simulações computacionais do PhET. A UD (unidade Didática) foi desenvolvida no ensino médio e testada no 2º ano do ensino médio integrado do Instituto Federal do Rio Grande do Norte. O percurso, para planejamento e execução, foi dividido em etapas para satisfazer as especificidades da perspectiva cognitivista: 1. fase exploratória e, 2. elaboração e aplicação da unidade didática. A testagem da UD foi desenvolvida em seis aulas, que seguiram a proposição do percurso planejado e foi crucial para a validação da atividade, pois levou à reflexão quanto a importância de fatores ligados à subjetividade e garantidores do êxito no processo de ensino-aprendizagem da natureza dual da luz.

1302

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Natureza da luz. Conflito cognitivo. Experimentação. História da Física.

<sup>1</sup> Licenciado em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN e Bacharel em Química do Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Mestrado em Ensino de Física - IFRN. O mesmo tem experiência na área de Ensino de Física, com ênfase em ensino de Óptica e Física Moderna. Atualmente é Professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas - IFAL/Campus Piranhas, com Regime de Dedicção exclusiva. E-mail: felipe.freitas@ifal.edu.br

<sup>2</sup> Mestre em Física na Área de Matéria Condensada, pelo Programa de Pós-Graduação em Física do Departamento de Física da UFRN. Bacharel e Licenciado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. É professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), com Dedicção Exclusiva. Atua nas áreas de Ensino de Física e Divulgação Científica em parceria com pesquisadores de grandes centros de pesquisa como o CERN na Suíça, o Laboratório de Instrumentação em Física Experimental de Partículas em Lisboa/Portugal, a UERJ e a UFRN. Conhecido como Mago da Física, projeto que trabalha com propostas experimentais em ambientes virtuais e divulgação Científica. Egresso do Primeiro Programa PET (Programa de Educação Tutorial) em Física do Brasil. É um dos coordenadores do Clube de Ciência do IFRN.

<sup>3</sup> Doutora em Educação pelo Programa de Pós-Graduação em Educação da UFRN. Tem Mestrado em Ensino de Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática (PPGECNM) da UFRN. Fez a graduação em Ciências Biológicas (Licenciatura) na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ - 1992) onde também concluiu o Bacharelado em Biologia Marinha (UFRJ - 1994). Tem especialização em Educação Ambiental pela UNP - Universidade Potiguar (Natal/RN). Atuou na Secretaria de Estado de Educação do Rio Grande do Norte (2000 a 2012) como professora e depois como Técnica Pedagógica na formação de professores da área de ciências da natureza, sendo responsável pelos laboratórios das escolas. Atuou como Orientadora Pedagógica do Centro de Educação Integrada Mais - CEI Mirassol, onde também foi professora de Biologia do Ensino Médio. Tem experiência na área de Ensino de Ciências com ênfase na formação e orientação de professores, e na área de Biologia Geral, com ênfase em BIOLOGIA MARINHA. É professora efetiva do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) onde atua no Ensino Médio Integrado, no ensino superior e no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

<sup>4</sup> Possui doutorado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2005), mestrado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2001), graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2001) e graduação em Física Bacharelado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1998). Atualmente é professor pesquisador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte atuando principalmente nos seguintes temas: ensino e energias alternativas: energia solar fotovoltaica e eólica. Também é pesquisador da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, tem experiência na área de Física, com ênfase em Física Estatística, Séries Temporais, Transições de Fases, Percolação e Propagação de Epidemias.

**ABSTRACT:** Teaching concepts related to the nature of light is not a simple task. The approach of the books is scarce and provokes little discussion. In this context, the present article aims to present a proposal, based on cognitive conflict, on the nature of light using demonstrative experimentation, the History of Physics and computational simulations of PhET. The UD (Didactic unit) was developed in High School and tested in the 2nd year of Integrated High School at IFRN. The path for planning and execution was divided into two stages to satisfy the specificities of the cognitivist perspective: 1. exploratory phase, 2. elaboration and application of the didactic unit. The testing of the UD was developed in six classroom lessons that followed the proposal of the planned route and was extremely important for the validation of the activity, as it led to the reflection on the importance of factors linked to subjectivity for success in the teaching-learning process of the dual nature of light.

**Keywords:** Physics Teaching. Nature of Light. Cognitive Conflict. Experimentation. History of Physics.

## 1. INTRODUÇÃO

Na abordagem dos dispositivos legais da educação brasileira, a exemplo da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional(LDB), o Ensino de Física, assim como as demais disciplinas da área das Ciências da Natureza, tem como objetivo, dentre outros, desenvolver e aprimorar nos estudantes a capacidade de associar o conhecimento adquirido à sua vida cotidiana, na resolução dos problemas da sociedade. Essa perspectiva é corroborada na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que diz que a área das ciências da natureza e suas tecnologias deve:

(focalizar a interpretação de fenômenos naturais e processos tecnológicos de modo a possibilitar aos estudantes a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza) (BRASIL, 2018, p.537).

Faz-se necessário então, cada vez mais, mostrar, aos estudantes, a importância dos conteúdos, no desenvolvimento do saber científico e para a sociedade em que estão inseridos. Para tanto, (o Ensino de Física tem como desafio focalizar suas pesquisas nas possibilidades para a resolução de dificuldades) como as relatadas por Machado e Costa (2009). Para os autores, entre tantas dificuldades, destacam-se as que os professores possuem em correlacionar os conteúdos com fenômenos naturais e aplicações tecnológicas. Segundo Lobato (2005), (o reconhecimento da possibilidade de aplicação do conteúdo estudado nos contextos locais, dá significado imediato ao que se vê em sala de aula).

Outro problema relatado é que o Ensino de Física, muitas vezes, é voltado, quase que exclusivamente, para a resolução de exercícios e manipulações algébricas, fazendo com que sua própria essência investigativa e experimental desapareça. Para Pietrocola (2010), (essa atitude desmerece toda a energia despendida na construção do conhecimento científico). Procedendo dessa maneira, (corre-se o risco de permitir que concepções ingênuas sobre a relação Matemática-Física se instalem no processo ensino-aprendizagem, outorgando à primeira o papel de apenas descrever um mundo físico inerentemente organizado). (PIETROCOLA, 2010 p.85).

Tendo em vista essa problemática, a proposição de um Ensino de Física contextualizado e que torne a aprendizagem dos conhecimentos científicos em um desafio prazeroso é, segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2009), (um projeto coletivo, no qual a aventura da busca, do novo, do desconhecido, de sua potencialidade, de seus riscos e

limites seja a oportunidade para o exercício e o aprendizado). Segundo os mesmos autores, (trazer o mundo externo para dentro da escola possibilita novas formas de compreendê-lo). Nessa perspectiva, de se ensinar física resgatando sua essência - a observação dos fenômenos naturais e, conseqüentemente, a experimentação -, a utilização de aparatos experimentais pode ser entendida como ferramenta capital no processo de ensino e na proposição de uma aprendizagem efetiva, conforme apregoado por Araújo e Abib (2003):

A utilização adequada de diferentes metodologias experimentais, tenham elas a natureza de demonstração, verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes. (ARAÚJO; ABIB, 2003, p.190).

Para Séré, Coelho e Nunes (2003):

Graças às atividades experimentais, o aluno é incitado a não permanecer no mundo dos conceitos e no mundo das linguagens, tendo a oportunidade de relacionar esses dois mundos com o mundo empírico. Compreende-se, então, como as atividades experimentais são enriquecedoras para o aluno, uma vez que elas dão um verdadeiro sentido ao mundo abstrato e formal das linguagens. (SÉRÉ, COELHO e NUNES, 2003 p.39).

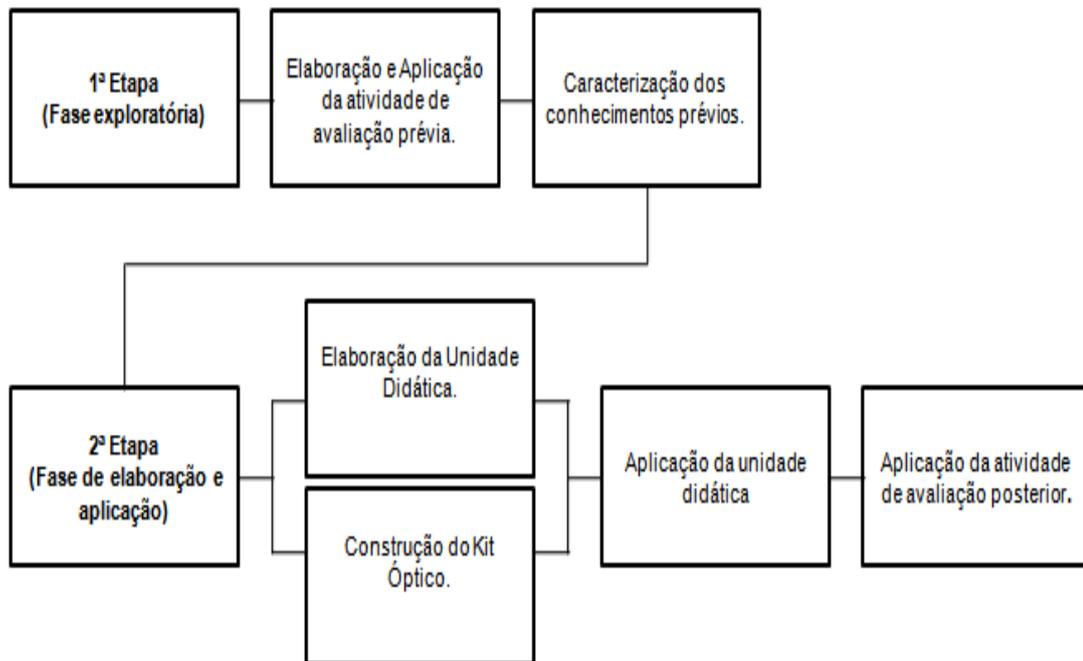
Essas proposições justificam a importância do processo de aprendizagem relativo ao conceito de luz. A internalização do conceito tem que se realizar de forma que seja permitido, ao estudante, ir muito além de saber aplicar um conceito, em atividades escritas, como testes ou provas, é preciso que o aluno tenha condições de aplicar, tais conhecimentos, em situações prosaicas e reais. Isso porque, a luz é a razão do surgimento e manutenção da vida no nosso planeta, e, sem dúvida, sua aplicabilidade se estende por várias áreas do conhecimento (o desenvolvimento da Fotônica é um bom exemplo de aplicação da luz no desenvolvimento de novas tecnologias). Sua importância pode ser sintetizada no fragmento do texto A História da Luz de Alfredo Roque Salvetti (2008, p. 10): (Qual a importância da luz para o universo?...No primeiro segundo, à medida que o universo se expandia, a temperatura baixava para algo em torno de dez bilhões de graus, nessa ocasião ele continha algumas espécies de partículas e LUZ!)

Assim, do início até os dias atuais, a luz - um fenômeno físico que tem propriedades de onda e partículas - mostra-se como um importante campo, para a compreensão dos processos constitutivos da vida na Terra. Partindo da importância do tema e de todos os aspectos da experimentação associados ao Ensino de Física, esse artigo tem como objetivo apresentar uma proposta aplicada, ao ensino da natureza da luz, organizada em uma sequência modulada pela Unidade Didática, bem como o uso de um aparato experimental (Kit óptico) para estudo dos comportamentos ondulatório e corpuscular da luz.

## 2. MÉTODOS

Os métodos utilizados (caracterização dos conhecimentos prévios e organização da Unidade Didática) foram estabelecidos de acordo com os objetivos específicos propostos pelos autores e organizados em um percurso metodológico dividido em etapas consecutivas. Vejamos:

Figura 01 - Fluxograma do percurso metodológico.



Fonte: Autores.

## 2.1 Contexto

A Unidade Didática foi planejada e aplicada como parte do produto educacional, um dos pré-requisitos exigidos para a obtenção do título de mestre no programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, no Campus Natal-Central. A proposta foi pensada, levando em consideração o componente curricular Física contido no currículo dos cursos técnicos integrados do IFRN. O componente é dividido em duas partes (Física I e Física II), que são de caráter anual com carga horária total de 160 horas/aula, cada. Com quatro horas/aula semanal, com os seguintes conteúdos:

- i) Física I: Mecânica Clássica e Termodinâmica.
- ii) Física II: Ondas, Óptica, Eletromagnetismo e Física Moderna.

## 2.2 Fase exploratória

Na primeira etapa, do procedimento metodológico, foi elaborada e aplicada a atividade de avaliação diagnóstica. Essa atividade possuía questões voltadas para assuntos que serviriam como base, para a construção do conhecimento, durante a Unidade Didática. O enfoque dessa atividade foi em questões centradas nos tópicos relevantes da história da Física e a identificação de fenômenos físicos envolvendo a luz. A avaliação foi realizada para que fosse possível a caracterização dos conhecimentos prévios, não de pré-requisitos, orientando assim, a elaboração da Unidade Didática na segunda etapa. Tal caracterização,

para a perspectiva construtivista, é de fundamental importância, pois segundo Piaget (1974) apud Sobral e Teixeira (2010, p.2), (herdamos um modo de funcionamento intelectual que torna possível a nossa adaptação ao meio, graças ao equilíbrio entre os mecanismos de assimilação e acomodação). Por assimilação, podemos entender o processo de incorporação de um elemento exterior pelo organismo, apresentando-se como uma estratégia adaptativa empregada para aproximar elementos do meio às estruturas de conhecimento que o indivíduo possui, a fim de possibilitar a incorporação de novos elementos.

### 2.3 Plano de atividade prévia

Na etapa inicial, pretendeu-se diagnosticar se os discentes possuíam conhecimento prévio suficiente para poder construir novos conceitos. De acordo com Jófili (2002), estar consciente dos conceitos prévios dos alunos – que estejam em desacordo com o conhecimento científico capacita os professores a planejar estratégias para reconstruí-los, utilizando contraexemplos, ou situações problemas, para confrontá-los.

**Quadro 01 - Plano de Atividade Prévia.**

OBJETIVOS	PERGUNTAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar se o discente sabe diferenciar os modelos clássicos que sugeriram uma explicação para a natureza da luz.</li> </ul>	<p>1- No século XVII, a explicação da natureza da Luz basicamente era resumida na teoria corpuscular de Newton e na teoria ondulatória de Huygens, ambas baseadas em modelos mecânicos, conhecida como teorias clássicas sobre a natureza da Luz.</p> <p>( ) Verdadeiro. ( ) Falso.</p> <p>Justifique sua resposta:</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar se os discentes conhecem as contribuições dos trabalhos de J.C. Maxwell para a explicação da natureza da luz.</li> </ul>	<p>2- A unificação da eletricidade e do magnetismo nos levou a teoria eletromagnética no século XIX, formulada pelo físico e matemático escocês James Clerk Maxwell. Ele previu que a Luz deveria ser uma onda eletromagnética. Tal conclusão seria um complemento ao que exposto por Huygens em sua teoria ondulatória, em séculos anteriores.</p> <p>( ) Verdadeiro. ( ) Falso.</p> <p>Justifique sua resposta:</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar se os alunos sabem reconhecer o comportamento da luz de acordo com os fenômenos expostos.</li> </ul>	<p>3- A Luz possui comportamento ondulatório nos seguintes fenômenos: reflexão, refração, interferência e difração.</p> <p>( ) Verdadeiro. ( ) Falso.</p> <p>Justifique sua resposta:</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar os conceitos prévios sobre o efeito fotoelétrico e a natureza da luz nesse fenômeno.</li> </ul>	<p>4- O famoso físico alemão Albert Einstein desenvolveu, em 1905 (início do século XX), uma teoria muito simples e revolucionária para explicar o efeito fotoelétrico considerando o caráter corpuscular da Luz.</p> <p>( ) Verdadeiro. ( ) Falso.</p> <p>Justifique sua resposta:</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar se os alunos possuem o conhecimento sobre o princípio da dualidade da luz.</li> </ul>	<p>5- A luz possui caráter dual, ou seja, ela pode se comportar como onda ou como partícula. Desta forma, esse caráter dual pode ser observado em um mesmo fenômeno.</p> <p>( ) Verdadeiro. ( ) Falso.</p> <p>Justifique sua resposta:</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sondar a opinião do aluno sobre a importância do ensino de Física associado à experimentação, ou seja, se para ele esse recurso didático é um agente motivador e facilitador da aprendizagem.</li> </ul>	<p>6- As teorias científicas Físicas podem ser mais compreensíveis, para os alunos, se elas forem trabalhadas através de experimentos.</p> <p>( ) Verdadeiro. ( ) Falso.</p> <p>Justifique sua resposta:</p>

**Fonte:** autores.

A partir dos resultados, obtidos na avaliação prévia, foi elaborada a Unidade Didática, levando em conta que esse planejamento foi organizado a partir dos resultados encontrados, e ofereceu um direcionamento, para a realização da outra fase do percurso metodológico.

## 2.5 Elaboração da unidade didática

Em cada atividade planejada o cuidado em relação à importância dos conhecimentos prévios dos alunos foi uma constante, respeitando os pressupostos do construtivismo, na proposição dos conflitos cognitivos que deveriam ser provocados nos alunos, de modo a tentar atingir não só os objetivos relativos aos conceitos, mas também, no que se diz respeito ao desenvolvimento de habilidades importantes em aulas experimentais do tipo demonstrativas, como a atenção, a observação e a descrição. Logo, cada atividade foi planejada e validada por meio de plano de elaboração. Esses planos seguiam o plano geral para a preparação das atividades realizadas.

Para a conclusão do processo de aprendizagem, foi elaborada uma atividade designada de posterior, para que o professor pudesse avaliar o aprendizado de seus alunos, ao final da sequência didática, e verificar a necessidade, ou não, de retomar determinados conceitos ou procedimentos.

**Quadro 02 - Plano para a Produção da Unidade Didática.**

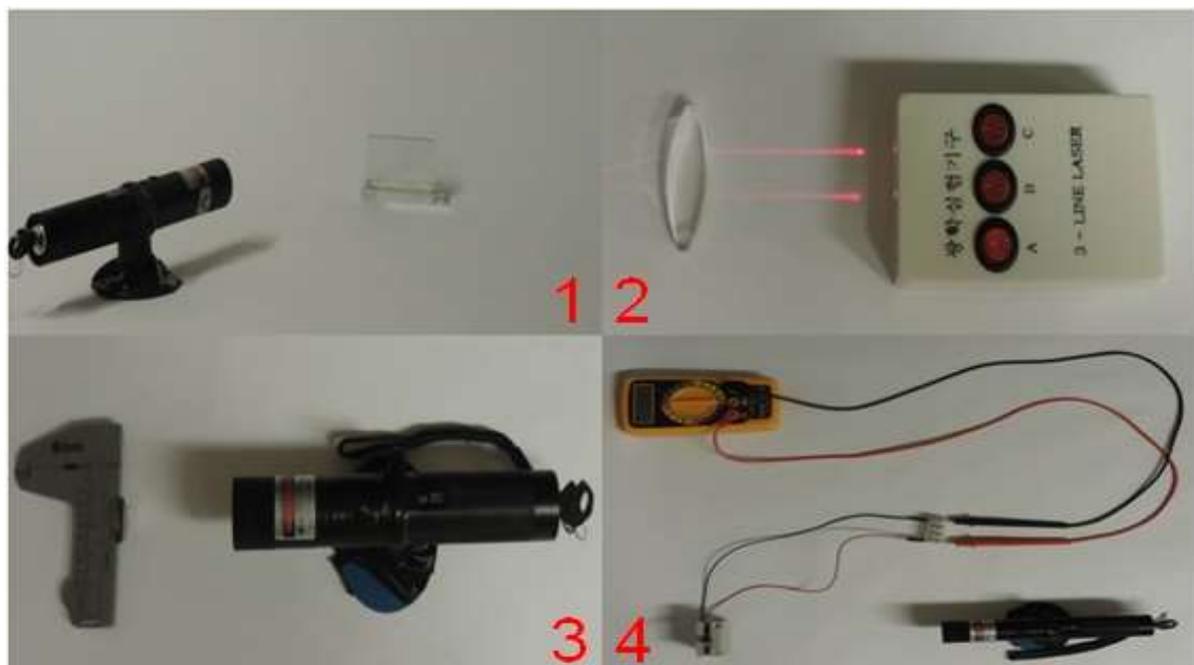
<p>1. Objetivos específicos para a construção e validação da Unidade Didática</p>	<p>✓ Montagem de um aparato experimental (kit óptico) para estudo dos comportamentos ondulatório e corpuscular da luz, introduzindo alguns elementos da História da Ciência e fazendo uso dos simuladores PhET.</p> <p>✓ Elaboração de uma atividade prévia e de uma atividade posterior.</p>
<p>2. Procedimentos metodológicos</p>	<p>Para atender os objetivos, acima propostos, foram planejadas:</p> <p>aula 1 (45 minutos) - usada na aplicação da atividade prévia;</p> <p>aula 2 (90 minutos) - foram estudadas as teorias clássicas sobre a natureza da luz e suas limitações, cujos objetivos foram: compreender em que se fundamenta cada teoria e quais as limitações de ambas;</p> <p>aula 3 (90 minutos) - foi abordada a natureza eletromagnética da luz, a interpretação corpuscular segundo o efeito fotoelétrico e o princípio da complementaridade. Nesse momento, os objetivos a serem alcançados foram: compreender dos trabalhos de J.C Maxwell a natureza eletromagnética da luz, interpretar a luz como uma onda eletromagnética, entender o efeito fotoelétrico e sua relação com o caráter corpuscular da luz e a definição da dualidade da luz;</p> <p>aula 4 (45 minutos) - usada na aplicação da atividade posterior.</p>
<p>3. Sujeitos</p>	<p>Alunos do Ensino Médio que estejam estudando os assuntos de Óptica.</p>
<p>4. Validação</p>	<p>A avaliação da Unidade Didática e a validação das atividades propostas foram de responsabilidade dos autores e do colaborador que atua na área de ensino de física experimental.</p> <p>A Unidade foi testada em uma turma do segundo ano do Ensino Médio integrado do curso de Controle Ambiental. A mesma utilizada na atividade prévia.</p>

Fonte: Autores.

## 2.6 - ELABORAÇÃO DO KIT ÓPTICO

O aparato experimental proposto, para auxiliar na demonstração de alguns fenômenos Físicos associados à luz, foi denominado de kit óptico, durante as aulas de aplicação da Unidade Didática proposta. Assim, o kit óptico consiste em um arranjo experimental formado pelos seguintes objetos: mesa retangular (50 cm x 80 cm); Lentes de acrílico (convergentes e divergentes); espelho plano; uma fenda usando um paquímetro de plástico; laser pointer; laser com três fontes de luz; um foto transistor e um multímetro digital. Na figura 1, podemos observar o uso do kit óptico para alguns fenômenos da luz.

**Figura 02 -** Demonstração de alguns fenômenos ocorrentes com a luz:



**Fonte:** Autores.

Conforme a enumeração da figura acima tem-se os fenômenos: 1) Reflexão, 2) Refração, 3) Difração/Interferência, 4) Efeito fotoelétrico. A intenção principal do uso do kit óptico, como uma ferramenta durante a aula, para auxiliar na Unidade Didática proposta, consiste na realização de demonstrações experimentais (divididas em quatro momentos, como indicado na figura 1) como uma maneira de provocar o conflito cognitivo nos alunos. Tal conflito se dá, quando o aluno compara o que é observado no experimento com o que é previsto nas teorias referentes à natureza da luz.

## 2.7 - PLANO DE ATIVIDADE POSTERIOR

Essa atividade objetivou avaliar como foi construído o conhecimento, se os alunos conseguiram associar cada ferramenta didática utilizada na identificação dos fenômenos e na construção do conceito de luz. Como a Unidade Didática foi pautada em um viés construtivista, a avaliação posterior pressupunha o professor como um intermediário no processo de construção do conhecimento.

**Quadro 3-**Plano de atividade referente à atividade posterior.

OBJETIVOS	PERGUNTAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar, dentro do contexto da questão, a capacidade do discente em identificar qual o fenômeno ocorre com a luz na situação descrita no texto.</li> </ul>	<p>1) Para a formação da imagem nos olhos, os raios de luz ao tocarem o cristalino (ver figura 2) sofrem que tipo de fenômeno?</p> <p>( ) Reflexão  ( ) Refração  ( ) Difração  ( ) Interferência  ( ) Efeito fotoelétrico</p> <p>Justifique a alternativa escolhida.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar, dentro do contexto da questão, a capacidade do discente em identificar a natureza da luz no fenômeno citado na questão.</li> </ul>	<p>2) Logo, a luz nesse fenômeno comporta-se como:</p> <p>( ) Onda  ( ) Partícula</p> <p>Justifique a alternativa escolhida.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar, dentro do contexto da questão, a capacidade do discente em identificar qual o fenômeno ocorre com a luz na situação descrita no texto.</li> </ul>	<p>3) Para a formação de imagem no cérebro, os raios de luz ao tocarem a retina sofrem que tipo de fenômeno? Analise e marque a alternativa que você julgar correta:</p> <p>( ) Reflexão  ( ) Refração  ( ) Difração  ( ) Interferência  ( ) Efeito fotoelétrico</p> <p>Justifique a alternativa escolhida.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar, dentro do contexto da questão, a capacidade do discente em reconhecer a natureza da luz no fenômeno citado na questão.</li> </ul>	<p>4) Logo, a luz nesse fenômeno comporta-se como:</p> <p>( ) Onda  ( ) Partícula</p> <p>Justifique a alternativa escolhida.</p>

<ul style="list-style-type: none"><li>Sondar a opinião do aluno sobre a importância da temática abordada na aplicação do produto educacional e das ferramentas didático-pedagógicas, ou seja, se para os mesmos esses recursos didáticos foram um agente motivador e facilitador da aprendizagem.</li></ul>	<p>5) De acordo com as discussões/experimentos a respeito da natureza da luz realizados em sala de aula, assinale a alternativa referente à sua opinião sobre o nível de relevância das aulas para a sua aprendizagem e formação:</p> <p>( ) Ajudou à aprendizagem ( ) Não fez diferença ( ) Atrapalhou a aprendizagem</p> <p>Justifique a alternativa escolhida.</p>
---	---

Fonte: autores.

### 3. Desenvolvimento

#### UNIDADE DIDÁTICA

Tema: O Conceito de luz baseado no princípio da complementaridade de Böhr.

Disciplina: Física II – (Ondas, Óptica, Eletromagnetismo, Física Moderna)

Docente: Felipe Alexandre Medeiros de Freitas

1311

#### I) APRESENTAÇÃO

Quando se fala em luz, vários sinônimos são associados a esse vocábulo, dependendo da área do conhecimento. Porém, é notória a importância desse “ente” físico para a existência e a manutenção de algo primordial: a Vida. A ausência de luz faria com que a terra se transformasse apenas em um ambiente escuro (noite eterna) e frio, ao ponto de inviabilizar a existência de várias espécies, inclusive a nossa. No nosso cotidiano, é muito comum nos depararmos com fenômenos relacionados à luz, seja em um arco-íris no céu, ou em uma cirurgia de correção visual com a utilização de laser. A presença da luz se faz tão constante que existe, inclusive, uma área da ciência (*A Fotônica*) dedicada apenas à geração, transmissão, modulação, processamento, amplificação e detecção da luz.

No Ensino de Física, no que diz respeito às primeiras concepções sobre o que é luz, até a concepção atual, se faz necessário, além de tudo, discutir as suas características e como ela se comporta diante de diversos fenômenos que se relacionam mutuamente. O que será proposto é uma forma de associar a evolução desse conceito a partir de dois pilares: a experimentação e a introdução de tópicos da História da Física da luz, para que seja possível chegar ao enunciado do princípio da complementaridade de Böhr. Essa unidade didática tem como pressuposto, a importância da epistemologia da ciência na compreensão dos modelos explicativos propostos para explicar a natureza da luz, e dos modelos explicativos propostos pelos físicos em diferentes épocas e que foram modificados, ao longo do tempo, através de um elemento norteador chamado experimentação.

## II) OBJETIVOS

- Reconhecer conceitos físicos que dão base para o estudo do conceito de luz.
- Definir a natureza dual da luz, a partir do uso do conflito cognitivo atrelado à discussão de tópicos da história da luz, simulações e experimentos demonstrativos.

## III) CONTEÚDOS

- i. Conceituais: A natureza da luz.
- ii. Procedimentais: Identificar a Natureza da luz em diferentes fenômenos ópticos cotidianos e construir um modelo científico para a natureza da luz, baseado no princípio da complementaridade de Böhr.
- iii. Atitudinais: Ter atenção ao que está sendo estudado; valorar o conhecimento científico como aquele que permite a compreensão do mundo tecnológico em que vivemos.

## IV) SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES

### AULA 1

Realização de um diagnóstico inicial, com o intuito de sondar os conhecimentos prévios dos alunos em relação aos conceitos de ondulatória, óptica, eletromagnetismo que servirão de base para a temática da unidade.

1312

- Atividade Prévia.

- Duração: 45 minutos.

### AULAS 2 e 3

Introdução histórica do conceito de luz, através da apresentação e discussão de alguns marcos importantes para a evolução da Física que contribuíram para a evolução do entendimento da natureza da luz, bem como o uso de demonstrações experimentais (kit óptico) até que se chegue no objetivo final da aula que é enunciar o princípio da complementaridade de Böhr.

I) Teorias Clássicas sobre a natureza da luz

II) Confronto entre a teorias clássicas e suas limitações.

III) Natureza Eletromagnética da Luz e as contribuições da teoria da relatividade para a evolução do conceito de luz.

IV) A natureza corpuscular da Luz e o Efeito fotoelétrico.

V) O Princípio da Complementaridade de Böhr.

- Duração: 90 minutos cada aula.

#### AULA 4

Nessa aula a atividade aplicada tem o intuito de verificar a aprendizagem durante o processo de ensino.

- Atividade Posterior.

- Duração: 45 minutos.

#### V) SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

##### AULA 1

Momentos Pedagógicos	Atividades	Objetivo(s)	Tempo (min)
Aplicação do teste de avaliação prévia	Resolução da atividade diagnóstica pelos alunos.	Identificar o conhecimento dos alunos referentes a alguns conceitos fundamentais sobre ondulatória, eletromagnetismo e Física Moderna.	45

##### AULA 2 e 3

1313

Momentos Pedagógicos	Atividades	Objetivo(s)	Tempo (min)
Introdução/Motivação	1º Momento	Discussão referente à importância da luz para a Ciência, Tecnologia e Sociedade e da construção de um modelo que pudesse explicar a natureza da luz.	45
Desenvolvimento	2º Momento	Pensar como as teorias corpuscular e ondulatória poderiam explicar o princípio da independência dos raios luminosos e como as figuras de interferência/difração pode comprovar que as previsões da teoria de Huygens eram verdadeiras.	45
		Questionamentos sobre os limites da teoria	

Desenvolvimento	3º Momento	ondulatória de Huygens e confronto de ideias da mecânica clássica e o eletromagnetismo, chegando à necessidade, ou não, da existência do éter para a propagação da luz.	30
Desenvolvimento	4º Momento	Experimento referente à incidência de luz no fototransistor, outro fenômeno abordando o efeito fotoelétrico e os questionamentos sobre os comportamentos apresentados pela luz como onda e como partícula.	45
Conclusão	5º Momento	Construção do princípio de complementaridade de Bôhr e que a luz apresenta caráter dual.	15

## AULA 4

Momentos Pedagógicos	Atividades	Objetivo(s)	Tempo (min)
Aplicação da avaliação posterior	Nessa etapa os alunos irão realizar o diagnóstico final que possuirá duas questões em formato de problema.	Avaliar se o aluno conseguiu aprender os conceitos ensinados, de maneira que consiga identificar a natureza da luz em situações do seu cotidiano.	45

**VI) DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DA UNIDADE DIDÁTICA**

A Unidade Didática foi aplicada em quatro encontros (totalizando seis aulas). No primeiro deles, ocorreu a aplicação da avaliação diagnóstica, com os alunos, e a motivação para a realização das discussões sobre a natureza dual da luz.

No segundo e terceiro encontros, foram realizadas as discussões utilizando os instrumentos didáticos auxiliares à aprendizagem. Esses dois encontros, de aulas

germinadas, foram divididos em cinco momentos com o objetivo de desvendar a natureza da luz.

### **1º Momento:**

Discussão referente à importância da luz para a Ciência, Tecnologia e Sociedade (sua importância para a existência de vida em nosso planeta e para as sociedades contemporâneas).

Nesse momento, também, foi apresentado o objetivo geral dos próximos momentos: a construção de um modelo que pudesse explicar a natureza da luz.

Para provocar conflitos e motivações foram lançados três questionamentos interconectados:

- I) O que é um modelo científico? Para que serve?
- II) O que é a luz? Quais as suas principais características?
- III) Que relação existe entre esses dois primeiros questionamentos?

Estes questionamentos tinham como objetivo, motivar as discussões que permitiram a construção dos conhecimentos relativos às teorias clássicas (Newton e Huygens) para explicar a natureza da luz, e introduziram os conflitos necessários para alterar as estruturas cognitivas, na acomodação dos desequilíbrios produzidos, e chegar, desta forma, à demonstração do efeito de reflexão da luz com o uso do kit óptico. Depois de utilizado o Kit, foi realizada a comparação com uma colisão, perfeitamente elástica, de uma bola de bilhar com a parede. Durante a realização dessa demonstração foi indagado, aos alunos, se, nesse caso, a luz poderia ser considerada corpúsculo. E o Porquê. Quase todos responderam que sim e a justificativa, predominante, era voltada para o comportamento análogo à colisão perfeitamente elástica apresentado anteriormente. Desta forma, foi construída a representação sobre a teoria corpuscular de Newton, bem como as explicações da reflexão, refração e decomposição da luz branca (ao utilizar um prisma, fazendo com que a luz incida sobre ele, de um determinado ponto de vista).

Neste primeiro momento, foram discutidos com os alunos a teoria de Huygens e o princípio de Huygens, com o uso do simulador PhET (Physics Education Technology Project developed for University of Colorado). Os conceitos construídos serviram de conhecimento base à explicação dos mesmos fenômenos explicados por Newton (reflexão, refração e decomposição da luz branca), utilizando uma outra simulação do PhET. Depois disso, foi perguntado aos alunos: Qual dos dois modelos, citados anteriormente, é o mais adequado para explicar a natureza da luz?

Esse questionamento finalizou o primeiro momento.

### **2º Momento:**

- Questionamento de como as teorias corpuscular e a ondulatória poderiam explicar o princípio da independência dos raios luminosos.

Para resolver esse questionamento e o outro que finalizou o primeiro momento, foi utilizada uma simulação referente ao cruzamento de dois raios de luz. Ao final, os alunos expressaram que seria inviável sustentar a teoria corpuscular, pois, segundo eles, se a luz é composta por corpúsculos, ao se cruzarem, os raios sofreriam mudança de trajetória, ocasionando uma colisão. Pode-se notar que, após o cruzamento, os raios de luz seguiram seus caminhos como se nada tivesse acontecido.

Nesse segundo momento, foi, também, apresentado aos alunos figuras de interferência/difração formadas de acordo com as duas teorias, e, posteriormente, foi utilizado novamente o kit óptico para demonstrar a interferência/difração da luz ao incidir em uma fenda. O resultado foi a comprovação de que as previsões da teoria de Huygens eram verdadeiras, ou seja, foram formados na parede pontos brilhantes separados por regiões escuras. Desvendando, assim, o primeiro questionamento sobre as teorias.

### 3º Momento:

- Utilização do kit óptico.
- Questionamentos sobre os limites da teoria ondulatória de Huygens.
  - I. Por que a propagação da luz é mais eficiente em meios materiais rarefeitos e sua velocidade é maior?
  - II. A luz, assim como o som, é uma onda transversal ou longitudinal?

Os questionamentos serviram para provocar a discussão do fenômeno de polarização por meio da indução de conflitos cognitivos. A utilização do kit auxiliou nas discussões e levou a comprovação de que a luz pode se comportar como uma onda transversal. A necessidade de um meio hipotético para a propagação da luz foi discutida com base no conflito provocado pelo questionamento I (Por que a propagação da luz é mais eficiente em meios materiais rarefeitos e sua velocidade é maior?). Foi construída, juntamente com a participação dos alunos, a teoria eletromagnética de Maxwell, a partir da apresentação das motivações científicas que nortearam a sua formulação, em um enfoque contextualizador utilizando a História da Ciência<sup>5</sup>.

Os alunos puderam concluir, por meio da comparação entre os valores da velocidade da luz e da velocidade de propagação da onda eletromagnética, que são muito próximos. Essa percepção deu aos alunos à compreensão de que essa foi a maior contribuição do trabalho de Maxwell - a previsão de que a luz era um tipo de onda eletromagnética.

Para finalizar esse momento, foi realizado o seguinte questionamento:

I. Se a luz deve ter velocidade  $c$ , no vácuo, e esse valor não deve mudar de acordo com o referencial adotado? Mesmo que as equações de Maxwell não prevejam essa mudança?

A pergunta deu origem a um confronto de ideias da mecânica clássica e o eletromagnetismo, chegando à necessidade ou não da existência do éter para a propagação da luz<sup>6</sup>. A discussão gerou a resolução do primeiro conflito provocado nesse 3º momento.

### 4º Momento

- Experimento no kit óptico referente à incidência de luz no fototransistor.

Durante a demonstração foi perguntado aos alunos:

I. Por que ocorre mudança da resistência elétrica, corrente elétrica e diferença de potencial quando é incidida a luz no fototransistor? Esse fato tem relação com o comportamento ondulatório da luz?

<sup>5</sup>O enfoque histórico foi fundamental, uma vez que o tratamento matemático não pôde ser apresentado aos alunos por utilizar cálculos não acessíveis ao ensino médio.

<sup>6</sup>Foi discutido de forma sucinta o experimento de Michelson-Morley.

Outro fenômeno abordado foi o efeito fotoelétrico, por meio de uma simulação do PhET, com o intuito de facilitar a compreensão desse fenômeno. Durante o processo foi proposta a seguinte questão:

II. De acordo com o que foi observado no efeito fotoelétrico, é conveniente interpretar a luz como onda ou como partícula e por quê?

A questão motivou a discussão do comportamento da luz como partícula nesse fenômeno.

III. Se há fenômenos em que a luz se comporta como onda (reflexão, refração, difração, interferência e polarização) e um outro como partícula (efeito fotoelétrico), qual seria a real natureza da luz, onda ou partícula?

### 5º Momento

- Construção do princípio de complementaridade de Böhr.

O momento foi iniciado com a construção da resposta, feita no momento anterior, com o auxílio da apresentação do princípio da complementaridade de Böhr. Esse foi fundamental para que os alunos pudessem chegar à conclusão, orientados pelo professor, em uma negociação de sentido e significado, que a luz apresenta caráter dual.

Para finalizar a unidade didática, no último encontro, foi realizada a atividade avaliativa posterior.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reconhecer a ciência física nos fenômenos naturais e nas aplicações tecnológicas é um dos principais objetivos do Ensino de Física na atualidade. Nesse sentido, possibilitar, por meio de recursos didáticos, que o aluno possa internalizar determinado conceito, ou seja, tomar propriedade dele, é, sem dúvidas, um passo primordial para aprender física.

Para o estudo da natureza da luz, assim como a maioria dos temas do Ensino de Física, o uso de vários e diversificados meios e metodologias embasadas em pensamentos cognitivistas, que propõem a contradição ou o conflito cognitivo, possibilita o desenvolvimento de indivíduos mais ativos e reflexivos com capacidade de generalização. Isto porque essa perspectiva impõe a reformulação das estruturas cognitivas dos estudantes ao atuar de forma direta com o objeto ou com o meio que está inserido.

No caso da Unidade Didática aqui apresentada, temos: a experiência demonstrativa em sala de aula; a simulação, como agente facilitador do aprendizado para reproduzir fenômenos e comprovar conceitos e a história da ciência, como elementos contextualizadores da construção do conhecimento científico. Todos esses elementos funcionaram como ferramentas, de suma importância, para o letramento científico do aluno. A utilização da história da ciência foi fundamental para o entendimento de que um conceito científico é resultado de um longo caminho que envolve, muitas vezes, como no caso da natureza dual da luz, a inter-relação com vários estudos e pesquisas em diversas áreas da física.

Diante disso, a relevância de um trabalho como esse não está nos resultados numéricos encontrados, mas nas análises realizadas nas atividades aplicadas. Sua importância se insere no processo necessário de reflexão-ação, do trabalho docente, do professor de física. As possibilidades e os limites encontrados, devem servir de subsídios

para futuros trabalhos e para outros professores que desejem utilizar a proposta e melhorá-la.

Em relação às análises das atividades aplicadas, podemos dizer, mesmo não sendo a proposta do artigo, que os alunos obtiveram um resultado positivo na atividade posterior, o que pode atestar a eficiência das ferramentas utilizadas para provocar conflitos cognitivos e posteriores equilíbrios. A metodologia aplicada possibilitou o interesse dos alunos pela temática com a utilização de demonstrações experimentais; a contextualização histórica dos processos de construção de conceitos para a explicação de fenômenos; a utilização da história da ciência para explicar a maneira de pensar em determinado momento histórico e as simulações, que permitiam alcançar cognitivamente fenômenos de difícil visualização. Tudo isso, realizado de forma a provocar conflitos e equilíbrios cognitivos na construção do conceito de luz, das teorias clássicas às definições mais atuais (teorias modernas). Enfim, o resultado se mostrou satisfatório. Foi possível comprovar que a proposta da unidade didática é viável e eficaz e que pode provocar a motivação necessária para o estudo do comportamento dual da luz.

A atividade inicial, diagnóstica, alcançou seu objetivo. Explicitar o nível de conhecimento dos alunos em relação a conceitos que seriam necessários à aprendizagem sobre a natureza dual da luz. Na comparação dessa atividade, com a atividade posterior, foi possível perceber a evolução, em termos de aprendizado, por meio do salto qualitativo dos resultados da avaliação, ou seja, a utilização das ferramentas didático-pedagógicas provocava não somente o conflito cognitivo como, também ajudou no alcance da equilíbrio. Os resultados, da atividade inicial, auxiliaram na produção da unidade didática, apontaram para a metodologia do conflito cognitivo e a utilização das ferramentas de forma eficiente, além de ratificarem a importância de o professor sempre realizar um diagnóstico dos conhecimentos prévios da turma em relação a determinado assunto.

1318

No que concerne à atividade final, o resultado encontrado pode ser descrito como o mais importante. Isto porque provocou uma série de reflexões sobre a seriedade com que se deve encarar o processo de ensino-aprendizagem. Muitas ponderações podem ser construídas a partir da compreensão de que toda disciplina tem seus componentes didáticos (objetivos, conteúdos métodos, meios, formas de organização e avaliação), porém não se pode esquecer que esses componentes só chegam a alcançar a real dinâmica, na interação entre os protagonistas do processo de ensino-aprendizagem (professor-aluno). É fundamental a compreensão dessas interações para que sejam cumpridas as funções que foram concebidas no planejamento. Assim, todos os percalços, ajudam na compreensão do processo ensino-aprendizagem como algo também dual, assim como a natureza da luz. Nesse caso, ensino e a aprendizagem formam uma unidade assim como cognição e afetividade e estes acontecem de acordo com as subjetividades que se formam na relação entre os protagonistas desse fenômeno chamado educação científica.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n.2, jun. 2003.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018. [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/i\\_EI\\_EF\\_I1saofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/i_EI_EF_I1saofinal_site.pdf).

\_\_\_\_\_. Lei n. 9394 de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 de dez. de 1996. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm). Acesso em: 28 de ago. de 2020.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A.; PERNAMBUCO, M.M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2009.

FREITAS, Felipe Alexandre Medeiros de. **Uma proposta para o ensino do conceito de luz no ensino médio**. 2017. 136 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. [http://www2.ifrn.edu.br/mnpef/\\_dissertacoes/Dissertacao\\_Felipe\\_Freitas.pdf](http://www2.ifrn.edu.br/mnpef/_dissertacoes/Dissertacao_Felipe_Freitas.pdf).

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOURA, Wladimir Cardoso de. **Propostas de ensino de física em óptica geométrica usando uma simulação do PHET e óptica física através de experimentos**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ensino da Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2016. [http://www2.ifrn.edu.br/mnpef/\\_dissertacoes/Dissertacao\\_Wladimir.pdf](http://www2.ifrn.edu.br/mnpef/_dissertacoes/Dissertacao_Wladimir.pdf).

PIETROCOLA, M. A Matemática como linguagem estruturante do pensamento físico. In: CARVALHO, M. P. de et al. **Ensino de Física**. p. 79-106. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

SALVETTI, Alfredo Roque. **A história da luz**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

SÉRÉ, Marie-Geneviève; COELHO, Suzana Maria; NUNES, António Dias. O papel da experimentação no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, abr., 2003. <file:///C:/Users/paulo/Downloads/6560-19993-1-PB.pdf>.