UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

WILSON CARMINATTI BENAQUIO

ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM MATERIAL INSTRUCIONAL BASEADO NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

Vitória – ES
Fevereiro - 2016

WILSON CARMINATTI BENAQUIO

ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM MATERIAL INSTRUCIONAL BASEADO NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Giuseppi Gava Camiletti

Vitória - ES
Fevereiro - 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Benaquio, Wilson Carminatti, 1974-
B456e Elaboração e aplicação de um material instrucional baseado na aprendizagem significativa sobre o efeito fotoelétrico para alunos do ensino médio / Wilson Carminatti Benaquio. – 2016.
161 f. : il.

Orientador: Giuseppi Gava Camiletti.
Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Fotoeletricidade. 3. Aprendizagem significativa. 4. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). I. Camiletti, Giuseppi Gava. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

CDU: 53

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

"Elaboração e Aplicação de um Material Instrucional Baseado na Aprendizagem Significativa sobre o Efeito Fotoelétrico para Alunos do Ensino Médio"

Wilson Carminatti Benaquio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 03 de Fevereiro de 2016.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Giuseppi Gava Camiletti
(Orientador PPGEnFis/UFES)

Profa. Dra. Marisa Almeida Cavalcante
(Membro Externo PUC-SP)

Prof. Dr. Geide Rosa Coelho
(Membro Interno PPGEnFis/UFES)

Aos meus pais, por todo o amor
e apoio que sempre me deram.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por todos os dons e oportunidades que me proporciona.

Aos meus Pais, PORFIRO e DILCEIA, por terem me criado com muito amor, me ensinando a discernir entre o certo e o errado.

Aos meus irmãos, WAGNER e ELISANGELA, por serem guerreiros e continuarem entre nós apesar de tudo que passaram.

A minha companheira BRUNA, por todo afeto e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Doutor GIUSEPPI GAVA CAMILETTI, pelas orientações, ensinamentos, incentivos e conversas.

Aos Professores do PPGEnFis, por todo o conhecimento compartilhado durante as aulas e atividades do programa..

A todos os colegas de mestrado, pelas conversas, críticas e elogios, em especial aos colegas ERNANI VASSOLER RODRIGUES e ROGÉRIO OLIVEIRA SILVA.

Aos alunos e servidores do IFES Campus São Mateus, pela participação e colaboração na realização deste trabalho.

A todos aqueles que não tiveram os nomes citados, mas que de alguma maneira influenciaram positivamente minha formação.

“O que sabemos é uma gota, o
que ignoramos é um oceano.”

Isaac Newton

RESUMO

O presente trabalho é um relato da aplicação de um Material Instrucional (MI) abordando conceitos relacionados ao Efeito Fotoelétrico. O estudo foi realizado com uma turma de 13 alunos do 4° ano do Curso Técnico em Mecânica Integrado ao Ensino Médio, de uma escola federal localizada no município de São Mateus no Estado do Espírito Santo. O MI foi elaborado baseado nos aspectos teóricos da Aprendizagem Significativa de Ausubel e nas orientações para a elaboração de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas de Moreira. Como instrumentos de coleta de dados foram utilizados Mapas Conceituais, Avaliação Somativa, Questões inseridas ao longo do MI, Questionário de opinião dos alunos, e o registro das impressões do professor/mestrando sobre a aplicação do MI. O delineamento utilizado neste trabalho foi o não experimental e a análise dos dados foi realizada sob os enfoques qualitativos e quantitativos, dependendo do instrumento de coleta analisado. A análise dos Mapas Conceituais Finais, de acordo com a metodologia adotada, constatou uma evolução em todos os critérios quantitativos, no critério qualitativo Qualidade do Mapa e na representação dos conceitos relacionados ao Efeito Fotoelétrico. O bom desempenho dos alunos na Avaliação Somativa aplicada no final da intervenção demonstrou que houve domínio dos conceitos relacionados ao Efeito Fotoelétrico abordados no MI. As Questões inseridas ao longo do MI, além de promoverem a negociações de significados durante aplicação do MI tiveram o conteúdo de suas respostas analisado. O questionário de opinião dos alunos e os relatos das impressões do professor/mestrando apontaram que, os experimentos, simulações computacionais interativas e as estratégias de avaliação, contribuíram para motivar e promover a Aprendizagem Significativa do conteúdo abordado. Os resultados apresentam indícios de que o MI colaborou para a promoção da Aprendizagem Significativa dos conceitos relacionado ao Efeito Fotoelétrico, para alunos do Ensino Médio.

Palavras-chave: Aprendizagem Significativa, Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, Mapa Conceitual, Efeito Fotoelétrico, Material Instrucional.

ABSTRACT

This study is a report on an Instructional Material (IM) application covering concepts related to Photoelectric Effect. The survey was conducted with a group of 13 senior students from a high school technical course on mechanics, from a federal institution located at São Mateus, Espirito Santo state, Brazil. The IM was designed based on the theoretical aspects of Ausubel's Meaningful Learning and Moreira's guidelines for Potentially Meaningful Teaching Units. We used Concept Maps, Summative Evaluation, questions inserted within the IM, student opinion questionnaire and teacher/graduate impressions annotation on IM implementation. This work was designed as a non-experimental research and data analysis was performed using qualitative and quantitative approaches, depending on the collection instrument applied. Final Concept Maps analysis, according to the methodology, showed an evolution of all quantitative criteria, Map Quality qualitative criteria and concepts representation related to the Photoelectric Effect. The students' hight performance on Summative Evaluation applied at the end of intervention revealed that there was concepts expertise related to Photoelectric Effect addressed in the IM. The inserted questions within the IM allowed negotiation of meanings during application of IM and had their response content analyzed. The Student opinion questionnaire and reports of teacher/graduate impressions pointed out that the experiments, interactive computational simulations and assessment strategies contributed motivating and promoting Meaningful Learning of the analyzed content. The results show evidence that the IM contributed to promote Meaningful Learning of concepts related to the Photoelectric Effect, for high school students.

Keywords: Meaningful Learning, Potentially Meaningful Teaching Units, Concept Map, Photoelectric Effect, Instructional Material.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 4 - Análise de Dados

4.1 Classificação e pontuação dos MC's desenvolvidos pelos estudantes, conforme os critérios propostos por Mendonça (2012) e Novak (1999)..... 45

4.2 Comparação entre as quantidades dos Critérios Quantitativos dos mapas iniciais e finais de todos os alunos..... 46

4.3 Relação entre conceitos válidos e totais de conceitos (CV/TC) e entre proposições válidas e total de proposições (PV/PT)..... 47

4.4 Resultados do Teste de Wilcoxon 49

4.5 Número e percentual de MC desenvolvidos pelos estudantes antes e depois da instrução classificados quanto à qualidade dos Mapas (QM)..... 50

4.6 Mudanças na classificação dos mapas quanto à Qualidade do Mapa..... 51

4.7 Resultado da análise do Teste de Stuart-Maxwell..... 51

4.8 Quantidade de ocorrências dos conceitos válidos presentes nos MC's 53

4.9 Percentuais de Conceitos válidos por Campo Conceitual..... 54

4.10 Resultados obtidos pelos alunos na Avaliação Somativa Final..... 55

4.11 Análise de Variância (ANOVA) e dados de Estatística Descritiva..... 56

4.12 Índice de Acertos por Questão da Avaliação Somativa..... 56

4.13 Índice de Acertos por Conceito 58

4.14 Categorização das respostas dadas as perguntas do MI..... 59

4.15 Índice de Acertos por pergunta do MI..... 59

4.16 Índice de Acertos por Aluno..... 60

4.17 Resultados do teste de correlação de Spearman..... 61

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 3 - Metodologia

3.1 Conceitos abordados em cada seção do Material Instrucional..... 26
3.2 Componente curricular da disciplina Física IV..... 31
3.3 Critérios utilizados por Novak(1999) e Mendonça(2012) (adaptado)..... 36
3.4 Categorias para análise da Qualidade do MC estabelecidas por Mendonça (2012). 37
3.5 Categorias para análise das respostas dadas pelos alunos no MI..... 38
3.6 Conceitos abordados em cada questão da Avaliação Somativa Individual..... 39

CAPÍTULO 4 - Análise dos Dados

4.1 Conceitos e seus equivalentes encontrados nos MC's..... 52
4.2 Classificação das Correlações..... 61

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3 - Metodologia

3.1 Pergunta da seção 1.1 do Material Instrucional..... 27
3.2 Simulação computacional interativa sobre o efeito fotoelétrico..... 27
3.3 Montagem do experimento da seção complementar II..... 28
3.4 Detalhe do sensor LDR..... 28
3.5 Simulação computacional interativa sobre ondas mecânicas e eletromagnéticas..... 29
3.6 Montagem do experimento para obtenção da constante de Planck..... 30
3.7 Modelo para pontuação de mapas conceituais..... 36

CAPÍTULO 4 - Análise dos Dados

4.1 Mapa Conceitual Inicial elaborado pelo aluno A2..... 42
4.2 Mapa Conceitual Final elaborado pelo aluno A2..... 43
4.3 Gráficos comparando as quantidades de critério quantitativos nos MC’s..... 46
4.4 Boxplots comparando as pontuações dos mapas iniciais e finais..... 48
4.5 Gráfico de barras comparando a Qualidade dos Mapas..... 50

LISTA DE SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
IFES	Instituto Federal do Espírito Santo
LDB	Lei de diretrizes e Bases
MC	Mapa Conceitual
MI	Material Instrucional
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
PNLD	Programa Nacional do Livro didático
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
UEPS	Unidades de Ensino Potencialmente Significativas
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

SUMÁRIO

Resumo..... x
Abstract..... xi
Lista de Tabelas..... xii
Lista de Quadros..... xiii
Lista de Figuras..... xiv
Lista de Siglas..... xv

1 - Introdução..... 1
1.1 - A Organização da Dissertação..... 6

2 - Referencial Teórico..... 7
2.1 - A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel..... 7
2.2 - Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)..... 11
2.3 - Revisão de Literatura..... 14
2.3.1 – Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio….. 14
2.3.2 – Trabalhos desenvolvidos no PPGEnFIS-UFES.....….. 15

3 - Metodologia..... 22
3.1 - Os Enfoques da Pesquisa em Ensino..... 22
3.2 - Objetivos..... 23
3.3 - Sujeitos..... 24
3.4 - Descrição do Material Instrucional..... 24
3.5 - Como o material instrucional foi aplicado..... 31
3.6 - Instrumentos de Coleta de Dados..... 34
3.6.1 - O Mapa Conceitual..... 34
3.6.2 - As Perguntas ao Longo do Material Instrucional..... 34
3.6.3 - A Avaliação Somativa Individual..... 35
3.6.4 - Anotações Pessoais do Professor sobre a Aplicação do MI..... 35
3.6.5 - Questionário de Opinião dos Alunos sobre a Aplicação do MI..... 35
3.7 - Técnicas de Análise de Dados..... 35
3.7.1 - Técnicas de Análise do Mapa Conceitual..... 36
3.7.2 - Técnicas de Análise das Perguntas ao longo do MI..... 38

3.7.3 - Técnicas de Análise da Avaliação Somativa individual..... 39
3.7.4 - Técnicas de Análise das Anotações Pessoais do Professor sobre a aplicação do MI..... 40

4 - Análise dos Dados..... 41
4.1 - Análise dos Mapas Conceituais..... 41
4.1.1 - Discussão dos Dados Quantitativos dos Mapas Conceituais..... 45
4.1.2 - Discussão dos Conceitos Presentes nos Mapas Conceituais..... 52
4.2 - Análise da Avaliação Somativa Individual..... 54
4.3 - Análise das Respostas Dadas às Perguntas Inseridas no MI..... 58
4.4 - Análise da Anotações pessoais sobre a Aplicação do MI..... 65
4.5 - Análise das Respostas do Questionário de Opinião 67
5- Conclusão..... 74
Referências Bibliográficas..... 78
Apêndices..... 83

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Em 1998 iniciei[1] minha trajetória docente, ensinando primeiramente Matemática e depois mudando para Física, como contratado numa escola estadual, no mesmo ano fui convidado por uma escola particular para lecionar em turmas de supletivo. No ano seguinte não renovei meu contrato com o estado, pois através da indicação de colegas comecei a lecionar em outras escolas particulares. Com o passar do tempo todas as minhas aulas eram para turmas da 3ª série do ensino médio integrado ao pré-vestibular e turmas de cursinhos pré-vestibulares, que mais tarde foram transformadas em pré-ENEM.

No segmento dos cursinhos pré-vestibulares o conteúdo programático deve ser seguido a risca, as vezes com materiais didáticos elaborados por sistemas de ensino onde o sumário e o cronograma são praticamente a mesma coisa. Cada conteúdo sendo abordado em uma ou no máximo duas aulas de 50 minutos, incluindo a resolução de exercícios. Em todos esses anos sempre cumpri o conteúdo, nunca deixei de ministrar toda à matéria, mas, uma pergunta martelava minha cabeça: “Será que os alunos realmente aprenderam Física?”.

Antes mesmo de tomar conhecimento da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), me perguntava se aquilo que eu colocava na lousa e dizia para meus alunos fazia sentido para eles ou era apenas tomado como verdade por ter sido dito por um professor. Mas, no segmento dos cursinhos pré-vestibulares na realidade de uma ou duas aulas por semana em cada turma, com mais de 50 alunos por turma, essas divagações eram dissipadas, ano após ano, pelos afazeres

[1] Ao longo desta dissertação, utilizo tanto a primeira pessoa do singular quanto a primeira pessoa do plural. No primeiro caso, para dar ênfase a minhas experiências pessoais durante a aplicação do trabalho e posterior análise dos dados. No segundo caso, para frisar as interações e colaborações com o orientador e com os alunos.

relacionados à elaboração dos simulados, listas de exercícios avançadas, preparação das revisões, entre outras.

Em 2012 voltei a lecionar para turmas de 1ª e 2ª séries do ensino médio, além de assumir 5 turmas do 9° ano do ensino fundamental. Essa mudança me ejetou da zona de conforto, pois realizei várias atividades com estes alunos, tais como: Levá-los para fora do espaço formal em visitação à praça de ciências, construir e lançar foguetes de garrafa Pet, organizar uma feira de Ciências na própria escola, participar de uma noite de astronomia e preparação das olimpíadas de Astronomia e de Física.

Com a mudança de ares e o abandono da zona de conforto, veio a notícia do Mestrado Profissional em Ensino de Física ofertado pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Enxerguei a possibilidade de fazer este curso como uma oportunidade de aperfeiçoar minha prática docente. Assim, entrei no mestrado em 2014 e no início do mesmo ano, participei de um concurso para docente no Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Classificado no concurso, tomei posse em novembro de 2014 no Campus de São Mateus, local onde este trabalho em ensino foi aplicado.

Na minha trajetória docente, também percebi que os tópicos de física moderna e contemporânea ainda não são amplamente abordados na educação básica, aliás, segundo Dominguini (2012), tais tópicos são alocados nos capítulos finais dos últimos volumes das coleções de livros de física, quando não são diluídos em textos complementares e boxes de curiosidades.

Somando-se a isso, muitos professores não se sentem devidamente preparados nos cursos de licenciaturas para ministrar tais conteúdos e mesmo quando formados, geralmente a física moderna e contemporânea acaba preterida em função da física clássica, devido à quantidade de aulas incompatível com a extensão do conteúdo programático a ser trabalhado. Diante do exposto, muitos alunos terminam o ensino médio sem uma oportunidade de aprendizagem dos tópicos de física moderna e contemporânea, conforme apontado por D'Agostin (2008). Entretanto, a Lei de Diretrizes e Bases da educação Nacional (LDB), apesar de não listar conteúdos, traz a seguinte orientação:

> Os conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação serão organizados de tal forma que ao final do ensino médio o educando demonstre: I – domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna. (BRASIL, 1996, artigo 36, §1°, inciso I).

Em complemento à LDB, os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+) sugerem seis temas estruturantes para organizar o ensino de física, entre eles destacamos os temas 3 e 5, por elencarem, sob o nome de unidades temáticas, conteúdos que necessitam de tópicos de Física Moderna e Contemporânea para sua plena compreensão. No tema 3 (Som, imagem e informação), na unidade temática 4, encontramos:

> Conhecer os processos físicos envolvidos nos diferentes sistemas de transmissão de informação sob forma de sons e imagens para explicar e monitorar a utilização de transmissões por antenas, satélites, cabos ou através de fibras ópticas; Compreender a evolução dos meios e da velocidade de transmissão de informação ao longo dos tempos, avaliando seus impactos sociais, econômicos ou culturais. (PCN+, 2002, p. 75).

Já no tema 5 (Matéria e radiação), temos 3 unidades temáticas relacionáveis com a Física Moderna e Contemporânea. Na unidade temática 1 (Matéria e suas propriedades), estão estabelecidas as seguintes orientações:

> Utilizar os modelos atômicos propostos para a constituição da matéria para explicar diferentes propriedades dos materiais (térmicas, elétricas, magnéticas etc.); Relacionar os modelos de organização dos átomos e moléculas na constituição da matéria às características macroscópicas observáveis em cristais, cristais líquidos, polímeros, novos materiais etc; Compreender a constituição e organização da matéria viva e suas especificidades, relacionando-as aos modelos físicos estudados. (PCN+, 2002, p. 77-78).

A unidade temática 2 (Radiações e suas interações), que nos traz:

> Identificar diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios gama) e sua utilização através das tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de microondas, tomografia etc.); Compreender os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias; Avaliar efeitos biológicos e ambientais do uso de radiações não-ionizantes em situações do cotidiano. (PCN+, 2002, p. 78).

E a unidade temática 3 (Energia nuclear e radioatividade), listando as seguintes diretrizes:

> Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos; Conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria,

> agricultura ou medicina; Avaliar os efeitos biológicos e ambientais, assim como medidas de proteção, da radioatividade e radiações ionizantes. (PCN+, 2002, p. 78).

Recentemente, tivemos a divulgação da versão preliminar da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), prevista na Constituição inicialmente apenas para o ensino fundamental, sendo ampliada para o ensino médio pelo Plano Nacional de Educação. Com o objetivo de guiar a aprendizagem e desenvolvimento dos estudantes durante a Educação Básica. As orientações relacionadas ao tópico do efeito fotoelétrico podem ser encontradas na Unidade de Conhecimento 5 de Física, intitulada, UC5F – Matéria e Radiação em Sistemas e Processos Naturais e Tecnológicos, que orienta qual deve ser o Conhecimento Conceitual acerca do tema:

> Identificar os diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana, associando suas características físicas como freqüência, energia e comprimento de onda às diferentes fontes e usos. (BNCC, 2015, p. 217).

Ainda sobre os Conhecimentos Conceituais da Unidade de Conhecimento UC5F, temos:

> Reconhecer a natureza dual da radiação e da matéria caracterizando-as tanto como onda quanto como partícula, e associar corretamente com a natureza corpuscular e a propagação com a natureza ondulatória. (BNCC, 2015, p. 217).

Já para os Processos e Práticas de Investigação as orientações do BNCC são:

> Planejar procedimentos adequados e investigar as diferentes formas de interação onda-matéria, em função do material e do comprimento de onda da radiação. Explicar os resultados observáveis, utilizando modelos científicos explicativos. (BNCC, 2015, p. 218).

Então, para que os alunos dominem os princípios científicos e tecnológicos da produção moderna, devemos incluir, de fato, no currículo do ensino médio, os conteúdos ligados a teoria da relatividade e a teoria quântica, pois tais descobertas são importantes para entender os últimos avanços da tecnologia, Além disso, a inclusão da física moderna e contemporânea é citada nas linhas de pesquisa e desenvolvimento do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFis) da UFES, mais precisamente no item 2, *Física no Ensino Médio*, alocada na área de concentração *Ensino de Ciências e Matemática*, onde encontramos:

> Atualização do currículo de Física para o Ensino Médio de modo a contemplar resultados e teorias da Física Contemporânea visando uma compreensão adequada das mudanças que esses conhecimentos provocaram e irão provocar na vida dos

> cidadãos e desenvolvimento de atividades articuladas com espaços não formais de educação. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 2015).

Portanto, escolhemos o conteúdo do efeito fotoelétrico para ser trabalhado no ensino médio pois, além do caráter emblemático do efeito fotoelétrico na história da física moderna, temos a possibilidade do aluno realizar experimentos em complementação ás aulas expositivas, auxiliando à Aprendizagem Significativa do conteúdo. Por isso, nos baseamos na TAS de Ausubel, como principal referencial teórico para a elaboração do MI utilizado neste trabalho, por acreditarmos, assim como Ausubel (1980), que:

> A essência do processo de aprendizagem significativa é que ideias simbolicamente expressas sejam relacionadas de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária ao que o aprendiz já sabe, ou seja, a algum aspecto de sua estrutura cognitiva especificamente relevante para a aprendizagem dessas ideias. Este aspecto especificamente relevante pode ser, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito, uma proposição, já significativo. (AUSUBEL, 1980, p. 41).

Vale ressaltar que, além da escrita de uma dissertação, outra exigência dos mestrados profissionais em ensino é a elaboração de um Produto Educacional, nas palavras de Moreira e Nardi (2009):

> Ainda que se mantenha a nomenclatura de dissertação, a natureza do trabalho de conclusão do mestrado profissional é distinta da do acadêmico; trata-se do relato de uma experiência de implementação de estratégias ou produtos de natureza educacional, visando à melhoria do ensino em uma área específica de Ciências ou Matemática. O mestrando deve desenvolver, por exemplo, alguma nova estratégia de ensino, uma nova metodologia de ensino para determinados conteúdos, um aplicativo, um ambiente virtual, um texto; enfim, um processo ou produto de natureza educacional e implementá-lo em condições reais de sala de aula ou de espaços não formais ou informais de ensino, relatando os resultados dessa experiência . (MOREIRA, NARDI, 2009, p. 4).

As orientações da LDB, os temas estruturantes dos PCN’s ligados à Física Moderna, as unidades de Conhecimento do BNCC, as diretrizes e as recomendações do Mestrado Profissional em Ensino de Física, os pressupostos da TAS e os anseios ao longo da minha trajetória docente, nortearam o desenvolvimento do produto desta dissertação. Assim, o objetivo foi a elaborar, aplicar e avaliar um Material Instrucional (MI) sobre o efeito fotoelétrico, desenvolvido com base nos pressupostos da TAS (MOREIRA, 2011c), para alunos do Ensino Médio.

1.1– A Organização da Dissertação

Neste primeiro capítulo encontra-se uma introdução contendo um pouco da minha história como docente, sobre o motivo da escolha da Física Moderna, mais especificamente o efeito fotoelétrico para elaboração do MI, além do presente tópico sobre o conteúdo e a organização dos capítulos da dissertação.

No capítulo 2, Referencial Teórico, é apresentado um resumo da TAS de David Ausubel, os passos seguidos na elaboração de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), (MOREIRA, 2011c) e uma revisão bibliográfica com alguns trabalhos envolvendo o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e o uso da TAS e das UEPS.

O capítulo 3 versa sobre a Metodologia, apresentando os enfoques das pesquisas em ensino, os objetivos deste trabalho, os sujeitos, uma descrição do MI, como o MI foi aplicado, os instrumentos de coletas de dados e as técnicas de análise de dados utilizadas.

No capítulo 4, Análise de Dados, contém a análise dos Mapas conceituais, a análise da Avaliação Somativa, a Análise das Respostas Dadas às Perguntas Inseridas ao Longo do Material, a análise das minhas Anotações Pessoais sobre a Aplicação do MI e a análise qualitativa das respostas do Questionário de opinião dos alunos sobre a aplicação do MI.

O capítulo 5, conclusão, apresenta os resultados da avaliação deste trabalho, sugestões para trabalhos futuros e um relato das minhas experiências pessoais durante a realização deste trabalho.

Na sequência temos, as Referências Bibliográficas, o Apêndice A contendo os comandos usados nos software R para realizar os testes estatísticos, o Apêndice B com Questionário de Opinião, o Apêndice C com links para download dos mapas conceituais e respostas elaboradas pelos alunos e o Apêndice D com o MI, incluindo suas seções complementares, suplemento do professor e seus próprios apêndices.

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1– A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

Este trabalho baseia-se da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel et al. (1980) e Ausubel (2002) como principal referencial teórico para nortear a confecção e aplicação do Material Instrucional (MI) utilizado e a avaliar o desempenho dos alunos que o utilizaram. A teoria de Ausubel pode ser classificada como cognitivista, isto é, sua teoria estuda, principalmente, os processos mentais responsáveis pela atribuição de significados ao que é aprendido, tornando possível a compreensão e transformação das informações armazenadas pela estrutura mental do indivíduo, chamada de estrutura cognitiva, que organiza e integra essas informações em determinadas áreas de conhecimento, (MOREIRA, 2011b).

Segundo a TAS, o quesito mais importante para a promoção da aprendizagem é o que o indivíduo já sabe. Cada novo conceito a ser assimilado pelo individuo necessita interagir com um conceito pré-existente em sua estrutura cognitiva. Esse conceito pré-existente foi nomeado por Ausubel de *subsumer*, que foi traduzido para o português usando a palavra “subsunçor”. Para que a aprendizagem significativa de fato aconteça é necessário que o novo conceito encontre um subsunçor realmente relevante na estrutura cognitiva do aprendiz, pois, segundo Ausubel, o cérebro do ser humano organiza as informações por meio de uma hierarquia conceitual, onde conteúdos mais específicos são assimilados ao se ligarem com conceitos mais gerais e abrangentes.

Porém, durante o processo de assimilação da nova informação, o conceito subsunçor que serviu de base para a nova informação pode ser modificado e ampliado, o que sugere a

existência, tanto de subsunçores bem elaborados e amplos como de subsunçores rudimentares e restritos. Dependendo da quantidade de vezes que o mesmo subsunçor foi utilizado para promover a aprendizagem significativa de novos conceitos, pode ocorrer a modificação/ampliação do mesmo.

Quando o indivíduo armazena uma nova informação em sua estrutura cognitiva sem interagir com os subsunçores, dizemos, segundo a teoria de Ausubel, que ocorreu uma aprendizagem mecânica. Na aprendizagem mecânica, a nova informação não se relaciona a nenhum subsunçor específico, ficando armazenada de forma não organizada na estrutura cognitiva do aprendiz. A aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica não são antagônicas, apesar da primeira ser preferível em relação a segunda, pois, são partes integrantes de um mesmo processo.

No caso da não existência de subsunçores específicos necessários para a aprendizagem significativa de um novo tópico, o aprendiz deverá aprender, mecanicamente, alguns conceitos básicos e introdutórios que servirão de subsunçores rudimentares, mas, que vão sofrendo modificação/ampliação ao servirem de base para a assimilação de novas informações referentes ao novo tópico de estudo. Como estratégia para sanar o problema da ausência de subsunçores relevantes para a aprendizagem de determinado tópico, Ausubel propõe o uso de *organizadores prévios*, que são materiais introdutórios que visam preparar a estrutura cognitiva do aprendiz antes de apresentar o conteúdo que realmente deseja-se ensinar. Como exemplo de organizadores prévios, temos:

> Em um estudo inicial, Ausubel (1960) trabalhou com alunos de um curso de Psicologia Educacional da Universidade de Illinois e o material de aprendizagem usado consistia de um texto que tratava das propriedades metalúrgicas do aço carbono. Como este material era não familiar para os alunos envolvidos, utilizou-se um organizador, *do tipo expositivo*, que foi apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade do que o próprio material de aprendizagem posterior, em que foram enfatizadas as principais diferenças e similaridades entre metais e ligas metálicas, suas respectivas vantagens e limitações e as razões de fabricação e uso de ligas metálicas. (MOREIRA, 2011a, p. 103-104).

Além do organizador prévio do tipo *expositivo*, ilustrado pelo exemplo do texto usado por Ausubel com os alunos do curso de Psicologia Educacional, temos os organizadores prévios do tipo *comparativo*, que são materiais introdutórios que visam promover a ligação entre os conceitos que já estão formados na estrutura cognitiva do aluno e os conceitos novos que devem ser adquiridos para que o novo conteúdo possa ser aprendido de forma significativa.

Assim, após a verificação da necessidade da utilização ou não de um organizador prévio, com o objetivo de buscar a promoção da aprendizagem significativa, precisamos de um material

que apresente a(s) nova(s) informação(ões) de forma não literal, não arbitrária e elaborado de forma a ser compatível com a estrutura cognitiva do aprendiz, isto é, levando em conta os subsunçores que o aprendiz já possui e os que deva possuir, dessa forma, um material que contemple esses quesitos será potencialmente significativo.

Mas, além de um material potencialmente significativo, Ausubel destaca que, a disposição do aprendiz em aprender a nova informação de maneira substantiva e não arbitrária é outro fator importante para a promoção da aprendizagem significativa. Pois, para um aluno interessado em apenas memorizar um conteúdo, pouco importa se o material é potencialmente significativo ou não, enquanto que, para um individuo realmente disposto a aprender significativamente, um material não potencialmente significativo não promoverá a contento a aprendizagem significativa.

Vale a pena frisar que, a aprendizagem significativa, segundo Ausubel, pode ser classificada em três tipos: representacional, de conceitos e proposicional. Descreveremos abaixo, de forma sucinta, cada um dos tipos de aprendizagem significativa.

A aprendizagem representacional é a mais básica das três e ocorre através da associação de um símbolo a um único evento ou objeto, por exemplo, a palavra cadeira é um símbolo linguístico que representa o objeto cadeira.

A aprendizagem de conceitos é a aprendizagem representacional mais abrangente, associada a conceitos mais abstratos e genéricos, voltando ao exemplo da cadeira, existem vários objetos que se prestam a função da cadeira, mas são diferentes, como: sofás, banquetas, bancos e poltronas. Esses objetos podem ser agrupados num conceito mais genérico, os dos assentos.

A aprendizagem proposicional em contraste à aprendizagem representacional, ocorre quando há uma compreensão das ideais contidas numa proposição, que estão além dos significados de cada uma das palavras ou cada um dos conceitos com os quais a proposição foi redigida. A aprendizagem proposicional não é meramente a soma dos significados das palavras que formam a proposição e sim o que a preposição diz num sentido mais amplo.

Além dos tipos de aprendizagem significativa, Ausubel também preocupou-se com a forma com que cada um dos tipos de aprendizagem pode se concretizar, identificando de três formas, a saber: Subordinada, superordenada e combinatória.

Na aprendizagem subordinada, um novo conceito só se torna significativo para o aprendiz ao interagir com subsunçores mais gerais e inclusivos já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Já na aprendizagem supeordenada um conceito mais geral e inclusivo torna-se

significativo ao interagir com ideias ou conceitos mais específicos pré-existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Enquanto na aprendizagem combinatória essa nova informação não é assimilada por subsunçores mais gerais e inclusivos e nem por conceitos específicos, a nova informação é assimilada por toda a estrutura cognitiva do aprendiz por guardar uma relação com um conteúdo mais amplo relacionável a nova informação.

Tendo em mente os tipos e formas de aprendizagem significativa, podemos entender, o processo que Ausubel chamou de *assimilação*. Este é o processo pela qual a nova informação passa, desde à aquisição até a organização e retenção da nova informação na estrutura cognitiva do aluno. Nesse processo de assimilação, um conceito ou proposição potencialmente significativo é assimilado quando ancora-se num subsunçor pré-existente na estrutura cognitiva do aluno, de tal modo que, tanto o novo conceito quanto o subsunçor pré-existente são modificados/ampliados ao interagirem.

Esse processo de assimilação é o facilitador para a retenção de novos conceitos com a nova informação e o subsunçor, agora modificados por interagirem, permanecendo separados na estrutura cognitiva do aprendiz por algum tempo. Quando novas informações são assimiladas pelo aluno alterando o subsunçor relevante, ocorre o que Ausubel chama de *diferenciação progressiva* do conceito subsunçor, porém, quando a novas informações, ao interagir com os subsunçores, causam uma reorganização e alteração dos mesmos na estrutura cognitiva do indivíduo, dizemos que houve uma *reconciliação integradora.* Analisando, sobre o ponto de vista instrucional, temos:

> A diferenciação progressiva é vista como um princípio programático da matéria de ensino, segundo o qual as ideias, conceitos, proposições mais gerais e inclusivos do conteúdo devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade. [...] A reconciliação integrativa, por sua vez, é o princípio segundo o qual a instrução deve também explorar relações entre ideais, apontar similaridade e diferenças importantes e reconciliar discrepâncias reais ou aparentes. (MOREIRA, 2011b, p.169).

Porém, como a mente tende a reter conceitos mais gerais e estáveis do que ideias novas, a mesma torna as novas informações cada vez menos separadas dos subsunçores, até o ponto onde apenas a nova informação modificada prevalece na estrutura cognitiva, caracterizando um segundo momento do processo de assimilação chamado, *assimilação obliteradora*.

Para que possamos fomentar situações que contemplem a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, devemos escolher atividades colaborativas, presenciais ou virtuais, em pequenos grupos, buscando a aprendizagem significativa, pois essas atividades promovem

a *negociação de significados*, com o professor ocupando o papel de mediador (MOREIRA, 2011a).

A organização sequencial que naturalmente existe nos conteúdos de ensino deve ser aproveitada, pois ajudará na organização hierárquica dos subsunçores na estrutura cognitiva do aluno, facilitando a aprendizagem significativa. Como o que o aluno já sabe é o que mais influencia a aprendizagem significativa, é o domínio desse conhecimento prévio antes de seguir para novos conhecimentos que promove a consolidação dos conteúdos.

> A consolidação tem a ver com o domínio de conhecimentos prévios antes da introdução de novos conhecimentos. É uma consequência imediata da teoria: se o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aquisição significativa de novos conhecimentos, nada mais natural que insistir no domínio do conhecimento prévio antes de apresentar novos conhecimentos. (MOREIRA, 2011a, p.47).

A escolha das atividades também se estende ao método utilizado para a avaliação da aprendizagem significativa, evitando incentivar a aprendizagem mecânica e buscando avaliar a capacidade do aluno em usar o conhecimento adquirido para resolver situações-problemas novas. Devemos também dar oportunidades para o estudante refazer várias vezes as atividades propostas, pois a recursividade da avaliação favorece o processo de aprendizagem significativa:

> Portanto, a avaliação da aprendizagem significativa deve ser predominantemente formativa e recursiva. É necessário buscar evidências de aprendizagem significativa, ao invés de querer determinar se ocorreu ou não. É importante a recursividade, ou seja, permitir que o aprendiz refaça, mais uma vez se for o caso, as tarefas de aprendizagem. (MOREIRA, 2011a, p.52).

Como a avaliação da aprendizagem significativa demanda mais trabalho e reflexão do que as avaliações tradicionais, espera-se que professor encare a avaliação da aprendizagem significativa com a mesma postura que o aprendiz deve demonstrar a predisposição para aprender.

2.2– Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)

Tendo em vista a especificidade do Mestrado Profissional, de elaboração de um Produto Educacional, e a proposição de discussão dos conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico no Ensino Médio, desenvolvemos um MI tendo como base os pressupostos da TAS. Mais especificamente, nos baseamos na sequencia proposta pelas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, idealizada por Moreira (2011c).

A UEPS está fundamentada, principalmente, na TAS de David Ausubel (1968,2000), mas utilizando elementos de outras teorias, como: teoria de educação de Novak e Gowin; teoria do interacionismo de Vygotsky; teoria dos campos conceituais de Vergnaud; teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird e Teoria da aprendizagem crítica de Moreira. A UEPS a ser elaborada deve seguir os seguintes passos, conforme orientado por Moreira (2011c):

1. Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. Criar/propor situação(ções) - discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
3. Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações-problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizado prévio; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;
4. Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;

5. Em continuidade, retornar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;
6. Concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação de significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um áudio-visual, etc.; o importante não é a estratégia em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;
7. A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá ser baseada, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

8. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

Seguindo as orientações de Moreira (2011), além de seguir os passos listados acima, a UEPS deve contemplar os seguintes aspectos transversais:

I. Em todos os passos, os materiais e as estratégias de ensino devem ser diversificados, o questionamento deve ser privilegiado em relação às respostas prontas e o diálogo e a crítica devem ser estimulados;
II. Como tarefa de aprendizagem, em atividades desenvolvidas ao longo da UEPS, pode-se pedir aos alunos que proponham, eles mesmos, situações-problema relativas ao tópico em questão;
III. Embora a UEPS deva privilegiar as atividades colaborativas, a mesma pode também prever momentos de atividades individuais.

Na elaboração da UEPS, levando em consideração que só há ensino quando há aprendizagem, o adjetivo potencialmente em seu nome exige uma investigação de evidências da ocorrência de aprendizagem significativa. Na UEPS elaborada e aplicada neste trabalho, questões ao longo do material, mapas conceituas elaborados pelos alunos antes e depois do uso da UEPS e uma avaliação somativa foram usados na busca de evidências de promoção de aprendizagem significativa.

2.3– Revisão de Literatura

Nesta seção é apresentada uma breve revisão bibliográfica a respeito do ensino de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, incluindo alguns trabalhos envolvendo o uso da TAS e das UEPS desenvolvidos no PPGEnFis-UFES.

2.3.1– Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Segundo um trabalho de revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa *Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio* de Ostermann e Moreira (2000), existem muitos trabalhos

sobre física moderna e contemporânea em forma de divulgação, mas um pequeno número de trabalhos apresentando propostas de aplicação em sala de aula com divulgação de resultados.

Pesquisando publicações direcionadas ao ensino de física moderna e contemporânea (FMC), desde as revisões bibliográficas de Ostermann e Morreira(2000), Pereira e Ostermann (2009) classificaram os trabalhos publicados entre 2001 e 2006 em quatro categorias: (1) Propostas didáticas testadas em sala de aula; (2) levantamento de concepções; (3) bibliografia de consulta para professores; (4) análise curricular. Analisando artigos publicados nas principais revistas de ensino de ciências do Brasil, resultando numa amostra de 102 trabalhos.

Classificando 52 trabalhos na categoria 3, ou seja, como bibliografia de consulta para professores e os 50 restantes nas demais categorias, sendo que, dentre esses 50 artigos, 22 referiam-se a inserção de temas de FMC no ensino médio. Apesar de constatar um constante aumento no número de trabalhos publicados sobre FMC, Pereira e Ostermann perceberam uma escassez de trabalhos investigando as concepções dos alunos, além de observarem que a maioria dos artigos se referem a bibliografia para consultas dos professores de nível médio.

Já uma análise dos livros didáticos do PNLD no período de 2012-2014, feita por Dominguini et al. (2012), mostra que, mesmo que todos os autores dos livros didáticos para o ensino médio abordem a Física Moderna, cada autor usa uma estratégia distinta. Apesar de uma expressiva evolução na inserção dos conteúdos de FMC nos livros do ensino médio, ainda precisamos incentivar os professores a abordar esses temas em sala de aula.

2.3.2– Trabalhos desenvolvidos do PPGEnFIS-UFES

Este trabalho está inserido em uma proposta de implementação e avaliação de Materiais Instrucionais (MI) desenvolvidos com base na TAS e nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), de Moreira (2011). Estas atividades têm sido desenvolvidas por alguns alunos do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 12/SBF (www.ensinodefisca.ufes.br) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), com o objetivo de elaborar, aplicar e avaliar Materiais Instrucionais (MI) embasados teoricamente.

Até o momento já foram desenvolvidos na UFES três trabalhos de mestrado dentro da perspectiva da TAS seguindo as orientações propostas pela UEPS. O primeiro trabalho foi elaborado por Diego Libardi (2014), com o título “A utilização de um MI potencialmente significativo para o ensino do conceito de Temperatura: um estudo com alunos do Ensino

Médio". O segundo foi desenvolvido por Claytor Silva (2014) e intitulado "Uma investigação sobre a elaboração e a utilização de um MI, baseado na TAS, para o estudo de um tópico de Mecânica no contexto rural". O terceiro foi proposto por Rogério Oliveira Silva (2015), sob o título, "A utilização de um MI baseado na TAS para aprendizes-marinheiros: Uma introdução ao estudo do movimento dos corpos".

O estudo de Libardi (2014) foi realizado com 27 Alunos da 2ª série do Ensino médio do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Campus de Cachoeiro do Itapemirim, abordando conceitos relacionados ao tema temperatura. A turma onde ocorreu a intervenção dispunha de 3 horas-aula semanais, e o planejamento da aplicação do material previa de 12 a 16 horas a 16 horas-aula para trabalhar todos os conceitos referentes a temperatura. Mas, segundo foi relatado pelo autor, devido a falta de experiência com a realização desse tipo de trabalho e à alterações na organização da distribuição da aulas antes do final do ano letivo, o andamento foi prejudicado aumentando para 23 horas-aula a carga horária destinada as atividades do MI.

Os conteúdos relacionados à Temperatura foram abordados num MI dividido em três partes: Conceitos ligados a Temperatura e alguns fenômenos; Dilatação dos corpos e Escalas Termométrica e suas devidas transformações. Utilizando exemplos e situações do cotidiano dos estudantes, em nível introdutório, foram norteadas as discussões inicias. Depois desta introdução os alunos, que já haviam realizado atividades de construção de mapas conceituais, foram orientados a construir um mapa conceitual sobre o entendimento acerca dos exemplos e situações do cotidiano apresentadas no início do MI.

No decorrer da aplicação do MI, o aluno encontrou, exercícios resolvidos e exercícios propostos para serem resolvidos dentro e fora do ambiente escolar, buscando a negociação de significados com mediação do professor. É recorrente no MI a retomada de conceitos mais gerais e estruturantes, cada vez num nível de maior complexidade, buscando promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

Além dos exercícios resolvidos e propostos, o MI também conta com perguntas que devem ser respondidas durante as aulas num certo tempo estipulado pelo professor, seguido de uma discussão mediada pelo professor sobre as respostas dadas pelos alunos. Destacamos também algumas seções do MI que apresentam experimentos e vídeos/simulações computacionais, chamadas, respectivamente, de "MÃO NA MASSA COM O PROFESSOR" e "USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR".

Ao final das atividades o aluno foi orientado a confeccionar um segundo mapa conceitual sobre o tema do MI.

Foram utilizados como instrumentos de coleta de dados: Os mapas conceituais; As respostas dadas pelos alunos as questões ao longo do material; Uma avaliação constituída de 7 questões objetivas e uma de "verdadeiro" o "falso"; Questionário de opinião e Diário de bordo.

Em seu trabalho, Libardi (2014), observou que os mapas conceituais finais, em relação ao mapas inicias, apresentaram: uma melhora na hierarquia conceitual, um aumento na quantidade de preposições e conceitos válidos e uma maior quantidade de conceitos ligados a fenômenos. Quanto à avaliação somativa individual, houve um aumento na média da turma.

O autor atribuiu a melhora na hierarquia conceitual à ocorrência dos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora, visto que, o aumento do número de conceitos válidos incluiu mais conceitos centrais do conteúdo, além do aparecimento de ligações cruzadas.

Quanto à avaliação somativa individual, aplicada após o uso do MI, apresentou uma resultado com 80,4% de aproveitamento. Esse índice, em conjunto com a análise de algumas questões da avaliação, forneceram evidências de êxito da UEPS, segundo Moreira (2011c). Analisando as respostas dos estudantes às Questões contidas no MI, Libardi (2014) não encontrou diferenças estatísticas significativas entre as notas dos alunos que responderam corretamente ou não tais questões.

As respostas dos alunos ao Questionário de Opinião indicaram uma boa aceitação dos experimentos e simulações, levando os alunos a apresentarem uma maior "disposição para aprender significativamente". Já o Diário de Bordo do professor/mestrando apontou a utilização de exemplos e situações do cotidiano e as discussões entre as atividades como pontos positivos principais. Como ponto negativo, observou uma redistribuição da carga horária da disciplina de Física, que tornou escasso o tempo para resolução de exercícios e revisões.

O segundo foi desenvolvido por Silva, C. (2014) com o título "Uma investigação sobre a elaboração e a utilização de um MI, baseado na TAS, para um estudo de um tópico de Mecânica no contexto rural", é o relato do, então mestrando, Claytor Silva, sobre a aplicação e avaliação dos impactos de um MI sobre o princípio da conservação da energia mecânica para uma turma de 21 alunos da 2ª série do Ensino médio de uma escola estadual localizada no Município de Santa Leopoldina, na zona rural do estado do Espírito Santo.

O trabalho foi realizado em 25 horas-aula, numa turma com carga horária de física igual a 2 horas-aula semanais, porém, devido a ocorrência de dias sem aulas devido a fortes chuvas na região e a um acidente sofrido pelo professor/mestrando, o estudo acabou sendo realizado em um trimestre e meio, ao invés de um trimestre como planejado.

Logo no início do MI, desenvolvido segundo as orientações da UEPS, a primeira atividade é uma visita a um Quitungo, local onde se fabrica a farinha de mandioca, fubá e o beneficiamento de outros produtos agrícolas. Com maquinário movido por uma roda d'água e muitos dispositivos artesanais simples, o Quitungo serviu para propor situações problema em nível introdutório.

Ao utilizar o MI, o aluno é instruído a confeccionar mapas conceituais sobre o conceito de Energia, um logo após a visita ao Quitungo e outro após o término da aplicação do MI. Ao longo do material existem questões com espaços para a resposta dos alunos e possível correção após a discussão com o professor em sala, com intenção de promover negociação de significados com a mediação do professor. Além das questões, existem seções com exercícios resolvidos e exercícios propostos para serem resolvidos em sala de aula,

Os conceitos mais gerais e estruturantes são retomados pelo MI, em níveis mais complexos, visando promover o processo de diferenciação progressiva e reconciliação integradora pelos alunos que o utilizam, o que também foi explorado em atividades experimentais na seção intitulada "MÃO NA MASSA COM O PROFESSOR", em simulações computacionais contidas da seção "USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR".

Além dos mapas conceituais e das questões encontradas ao longo do material, foram realizadas três avaliações, a primeira contemplando os conceitos de trabalho e energia, a segunda abrangia os cálculos sobre trabalho e energia e a terceira continha todo o conteúdo das duas avaliações anteriores adicionado ao conteúdo Transformação e Conservação de Energia e Potência.

Analisando os mapas conceituais confeccionados pelos alunos, antes e depois da utilização do MI, Silva, C. (2014), encontrou uma melhora em todos os critérios quantitativos e qualitativos propostos por Mendonça (2012). Vale ressaltar que, após a classificação dos conceitos presentes nos mapas em categorias (grandezas físicas, fenômenos físicos, utilização de energia e geração de energia), foi encontrado um aumento significativo do número de grandezas físicas encontradas no segundo mapa, cerca de três vezes maior que o número encontrado no mapa inicial.

E, quanto ao resultado de cada uma das três avaliações, na primeira encontrou indícios que houve um aprendizado dos conceitos isolados de trabalho e energia, na segunda avaliação, obteve evidências que reforçaram o observado na primeira avaliação bem como capacidade de explicar e aplicar os conceitos para resolução de situações problemas. Na terceira avaliação, o professor/mestrando, notou uma queda de rendimento em comparação as duas avaliações anteriores, que numa análise mais detalhada foi atribuído a uma possível deficiência em matemática nos cálculos envolvendo a transformação de um tipo de energia em outro.

O terceiro, escrito por Silva, R. (2015), sob o título, "A utilização de um MI baseado na TAS para aprendizes-marinheiros: Uma introdução ao estudo do movimento dos corpos", relata a aplicação e o impacto de um MI sobre os movimentos dos corpos numa turma de apoio escolar (reforço) formada por 22 alunos da Escola de Aprendizes-Marinheiros do Espírito Santo (EAMES), no município de Vila Velha, comparando o resultado com outra turma de apoio escolar utilizada como grupo controle.

O MI elaborado pelo professor/mestrando é divido em cinco tópicos, a saber: 1° Grandezas físicas, sistema internacional de unidades e notação científica; 2° Exemplificação de conceitos físicos no contexto naval através de um texto e um vídeo; 3° Discussão sobre a importância do estudo da Mecânica para compreensão dos conceitos relacionados ao repouso e ao movimento; 4° O conceito de força e seu caráter vetorial e 5° as equações do movimento dos corpos.

Utilizando 18 horas-aula, o professor/mestrando, desenvolveu atividades utilizando o MI elaborado por ele em conjunto com o seu orientador, apresentando os cinco tópicos na forma de uma UEPS, segundo as orientações de Moreira (2011). Usando perguntas envolvendo situações-problema com o objetivo de fomentar discussões e possibilitar o processo de Negociação de Significados, sempre partindo de um nível mais introdutório, partindo do geral para o mais específico o MI contém várias seções, como por exemplo, a seção "USANDO O EXPERIMENTO COMO O PROFESSOR", onde foram realizados experimentos demonstrativos, geralmente utilizando materiais de baixo custo.

Além de experimentos demonstrativos, o MI também conta com uma atividade que utilizada uma simulação computacional sobre o movimento vertical e horizontal de um submarino, bem como as forças que atuam no mesmo, que pode ser encontrada na seção "USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR".

Vale a pena citar os exercícios propostos para serem resolvidos em sala de aula, que se encontram numa seção com um nome curioso, “FAXINANDO A FÍSICA”, onde o termo *faxinando* constituí uma gíria utilizada pelos marinheiros que significa o ato de trabalhar, fazer uma atividade, uma limpeza.

Buscando avaliar os impactos de sua proposta, Silva, R. (2014) aplicou uma avaliação somativa (pré-teste) antes da utilização do MI na turma experimental e do ensino dos tópicos na turma controle. Na turma controle foi utilizando o livro: Física - Volume Único de Gaspar (2002), livro texto adotado pelos professores em todas as aulas de física ministrada na EAMES. Enquanto a turma controle recebia instrução pelos métodos e materiais usais da EAMES, a turma experimental foi submetida, durante o uso do MI, a: confecção de dois mapas conceituais, um antes da aplicação do MI e um depois da aplicação, perguntas presentes ao longo do MI e indicações do Estado de Humor, a um questionário de opinião e uma entrevista semiestruturada. Após o término da abordagem todos os alunos, turma controle e turma experimental, fizeram uma avaliação somativa (pós-teste).

Na análise dos dados, o professor/mestrando, contando com a colaboração do departamento de estatística da Ufes, via Laboratório de Estatística da Universidade Federal do Espírito Santo (Lestat), realizou vários testes de inferência estatística.

Após as análises, ficou constatado que o grupo experimental obteve menor rendimento que o grupo controle no pré-teste, porém, no pós-teste o desempenho do grupo experimental foi superior ao do grupo controle, com uma diferença estatisticamente significativa.

O estudo das respostas fornecidas pelos alunos às perguntas contidas ao longo do material, bem como as correções feitas pelos mesmos, possibilitou ao professor/mestrando entender como acontecia a reorganização do novo conhecimento e sua interação com o conhecimento já existente.

Quanto à análise dos mapas conceituais, encontrou-se uma melhora na representação dos conceitos centrais envolvidos na compreensão do fenômeno do Movimento e os testes estatísticos que compararam os mapas conceituais iniciais e finais do grupo experimental apontaram uma melhora significativa na hierarquia conceitual e na qualidade do mapa.

Vale ressaltar que, apesar da melhora nos critérios hierarquia conceitual e na qualidade dos mapas, os testes indicaram que apenas os alunos que obtiveram melhores classificações no segundo critério apresentaram melhores rendimentos no pós-teste.

Os trabalhos citados nesta revisão de literatura serviram de fonte de inspiração para algumas ideias utilizadas na elaboração de um MI que aborda os conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico. Pois, nos trabalhos de Libardi (2014), Silva. C., (2014) e Silva. R., (2015), a utilização de vários tipos de recursos instrucionais como vídeos, Experimentos e simulações computacionais interativas, foram bem recebidos pelos alunos, contribuindo para a promoção de diferenciação progressiva e da reconciliação integradora dos conceitos estudados por meio da negociação de significados.

O mapeamento conceitual, usado como instrumento de avaliação nos três trabalhos analisados na revisão de literatura, foi incorporado ao MI sobre efeito fotoelétrico elaborado por mim e foi usado antes e depois da aplicação do MI. Mas, algumas modificações na análise dos critérios qualitativos foram feitas com base nos resultado obtidos por Libardi (2014), Silva. C., (2014) e Silva. R., (2015) acerca da relação entre os critérios qualitativos, Qualidade do Mapa e Hierarquia Conceitual.

Além disso, aplicamos uma avaliação somativa individual no final da intervenção e inserimos perguntas ao longo MI com o objetivo de fomentar a negociação de significados, a exemplo do que feito por Libardi (2014), Silva. C., (2014) e Silva. R., (2015). O diário de bordo foi inspiração para o instrumento de coleta chamado ANOTAÇÕES PESSOAIS SOBRE A APLICAÇÃO DO MI, onde o professor/mestrando registrou suas percepções ao aplicar o estudo. E, a entrevista semiestruturada aplicada por Silva, R. (2015) forneceu ideias para a elaboração do QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO aplicado no final do trabalho.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Seguindo a filosofia de que, só há ensino se houver aprendizagem, e esta deve ser significativa (MOREIRA, 2011c), um Material Instrucional (MI) elaborado ou adotado pelo professor deve conter estratégias e atividades que visem fomentar este tipo de aprendizagem sobre o assunto que se deseja abordar. Assim, este capítulo apresenta a metodologia utilizada na elaboração e avaliação do MI. São descritos o enfoque utilizado para a avaliação, os sujeitos, o próprio MI, o contexto de sua aplicação, os instrumentos de coleta de dados e as técnicas de análise.

3.1 – Os Enfoques da Pesquisa em Ensino

Numa pesquisa em ensino, são focalizados episódios, acontecimentos, situações, relativos ao ensino, aprendizagem, currículo, contexto e avaliação ou a combinação deles, que podem ser representados por eventos como: uma aula, um procedimento de avaliação, um experimento de laboratório, entre outros (MOREIRA, 2011c).

Na pesquisa com enfoque qualitativo, o pesquisador ocupa-se de interpretar os significados que os indivíduos conferem as suas ações no convívio em sociedade, com a participação do próprio pesquisador enquanto investiga, mas isso não o impede de coletar e transformar dados, pois:

> O pesquisador qualitativo também transforma dados e eventualmente faz uso de sumários, classificações e tabelas, mas a estatística que usa é predominantemente descritiva. Ele não está preocupado em fazer inferências estatísticas, seu enfoque é

> descritivo e interpretativo ao invés de explanatório ou preditivo. (MOREIRA, 2011c, p. 50).

Já na abordagem da pesquisa educacional quantitativa, o pesquisador procura analisar estatisticamente as variáveis dependentes obtidas através da conversão dos registros das influências das variáveis independentes dos seus experimentos, pois, segundo Moreira (2011c, p. 19), "... a ideia básica do enfoque quantitativo é a manipulação e controle objetivo de variáveis.".

A utilização de um MI, elaborado com base nos pressupostos estabelecidos na UEPS, abordando o Efeito fotoelétrico, possibilitaram a coleta de dados, tanto para um tratamento estatístico com um enfoque descrito e interpretativo, quanto para uma abordagem quantitativa. Neste trabalho, não foi possível utilizar um grupo controle, assim, utilizando apenas o grupo experimental, o tipo de delineamento da pesquisa mais indicado é o não experimental do tipo 2, (MOREIRA, 2011d), que tem a forma:

$$O_1 \ X \ O_2$$

Onde O_1 é um pré-teste aplicado antes de um tratamento X e O_2 simboliza um pós-teste aplicado após o referido tratamento. Como os alunos confeccionaram dois mapas conceituais, um antes da utilização do MI e outro após a utilização do mesmo, estes mapas conceituais foram utilizados como pré e pós-testes, com a utilização do MI representando o tratamento X. Isto foi possível devido à pontuação atribuída aos mapas conceituais, conforme os critérios que serão descritos na seção 3.7.1.

3.2 – Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral:

- Elaborar, aplicar e avaliar um MI sobre o efeito fotoelétrico desenvolvido com base nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) para alunos do ensino médio.

Como objetivos específicos, temos:

- Analisar os Mapas Conceituais sobre o efeito fotoelétrico elaborados pelos alunos, antes e depois da aplicação do MI;
- Analisar as respostas fornecidas pelos alunos ao longo do MI;

- Analisar o rendimento dos alunos na Avaliação Somativa Individual aplicada após a utilização do MI;
- Comparar o resultado dos alunos na Avaliação Somativa com a análise dos Mapas Conceituais;
- Avaliar o processo de utilização do MI através das anotações pessoais do professor sobre a aplicação do material e do questionário utilizado para pesquisar de opinião dos alunos.

3.3 – Sujeitos

Este trabalho foi desenvolvido com uma turma de 13 alunos do ensino médio do quarto ano integrado com o curso técnico em mecânica, do turno vespertino, no Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), no Campus de São Mateus. A turma, composta de 7 meninos e 6 meninas, possuía média de idade de 19,3 anos à época da realização do trabalho. Dois alunos moravam em municípios vizinhos a São Mateus, três moravam no mesmo bairro onde a escola estava situada e os outros oito alunos moravam, em média, a 4,6 km da escola, com distâncias variando entre 1e 12 quilômetros.

3.4 – Descrição do Material Instrucional

A instituição onde este trabalho foi desenvolvido adota, para o 3° e 4° ano do Ensino médio integrado ao curso técnico em mecânica, a 1ª edição do livro Física para o Ensino médio - Volume 3 - Eletricidade e Física moderna, dos autores Kazuhito Yamamoto e Luiz Felipe Fuke - Editora Saraiva. Apesar de ser um livro que pertence ao ciclo trienal 2012, 2013, 2014 do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), foi usado em 2015 devido ao ajuste do calendário acadêmico após uma greve de professores.

O livro citado aborda os temas ligados a física moderna e contemporânea na última das suas quatro unidades, sendo que, de um total de 19 capítulos, o livro reserva apenas os três últimos para a Física Moderna. O tema efeito fotoelétrico é encontrado no Capítulo 18, “Teoria Quântica”, que também aborda, a radiação do corpo negro, o espectro magnético, a dualidade da luz e da matéria, o princípio da complementaridade, o modelo atômico de Bohr e o princípio da incerteza.

Vale ressaltar que, em apenas duas páginas e meia do capítulo 18 é apresentada toda a teoria do efeito fotoelétrico, incluindo dois exercícios resolvidos, basicamente treinando a utilização

das fórmulas. Quanto à quantidade de exercícios propostos, no final do capítulo 18 são encontrados 11 exercícios relacionados a todo o conteúdo do capítulo.

O exposto contribuiu como mais um fator motivador para a aplicação do MI utilizado neste trabalho, que foi elaborado por mim, em parceria com o orientador e constituí o Produto Educacional, atendendo a um dos requisitos básicos do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Durante a elaboração do MI aconteceram várias discussões interessantes nos encontros com meu orientador, pois enquanto os tópicos de física clássica se valem de exemplos que utilizam fenômenos naturais, objetos e situações comuns do cotidiano do aluno, os tópicos de física moderna e contemporânea exigem uma procura mais criteriosa de exemplos e fenômenos para efetuar a transposição para o ensino médio. Por isso, na elaboração do MI utilizado neste trabalho, fez-se necessário buscar exemplos, situações-problemas, experimentos de baixo custo e simulações computacionais interativas gratuitas.

Abordando os conteúdos relacionados ao efeito fotoelétrico ao longo de 10 seções, o MI possuí a seguinte distribuição: Na seção 1.1, INTRODUÇÃO, são apresentados os objetivos do MI e vídeos sobre o fenômeno do efeito fotoelétrico, definindo o tópico específico a ser abordado e propondo situações conforme os passos 1 e 2 da orientações da UEPS. Na seção 1.2, O QUE É O EFEITO FOTOELÉTRICO, apresentamos a definição do efeito fotoelétrico e a tentativa de explicá-lo pelo eletromagnetismo clássico, propondo situações-problema sem começar a ensinar a explicação do efeito fotoelétrico tal como aceito no contexto da Física Moderna. Na seção 1.3, O PAPEL DA INTENSIDADE, investigamos o papel da intensidade da luz na ocorrência do efeito fotoelétrico através de uma simulação computacional sobre o efeito fotoelétrico. Na seção 1.4, O PAPEL DA FREQUÊNCIA, estudamos o papel da frequência da luz no fenômeno do Efeito Fotoelétrico com o auxílio de uma simulação sobre interferência de ondas, que seguida da reutilização da simulação sobre o efeito fotoelétrico utilizada na seção 1.3, propõem situações que darão sentido aos novos conhecimentos relacionados ao efeito fotoelétrico.

Na seção 1.5, A QUESTÃO DO TEMPO, é a vez de abordar a questão do lapso de tempo previsto na teoria eletromagnética clássica utilizando um exercício resolvido, visando retomar o assunto, porém num nível mais alto de complexidade. Na seção 1.6, TEORIA QUÂNTICA, apresentamos um breve relato do nascimento da teoria quântica e como suas bases tornaram possível a explicação do efeito elétrico por Einstein, preparando o terreno para as próximas seções. Na seção 1.7, EXPLICAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO, apresentamos a

explicação do efeito fotoelétrico à luz da teoria quântica. Na seção 1.8, DUALIDADE DA LUZ, tratamos da natureza dual da luz, ou seja, o conceito da Dualidade da Luz é apresentado aos alunos. Na seção 1.9, A CONSTANTE DE PLANCK, propomos um experimento que possibilita calcular a constante de Planck. Na sequência, temos a seção 1.10 com EXERCÍCIOS PROPOSTOS. Vale ressaltar que o MI, que pode ser encontrado no Apêndice D desta dissertação, também conta com seções complementares, suplemento do professor e seus próprios apêndices.

No estágio de planejamento do MI, fizemos também um mapeamento dos conceitos a serem abordados. O Quadro 3.1, indicamos os conceitos abordados e a respectiva seção do MI em que ele deve ser abordado.

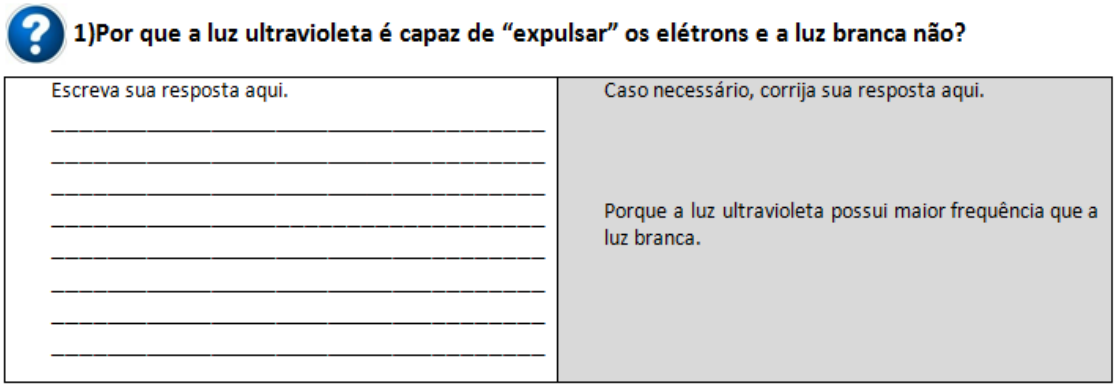
Conceitos	**Seções do Material Instrucional**								
	1.1	**1.2**	**1.3**	**1.4**	**1.5**	**1.6**	**1.7**	**1.8**	**1.9**
Carga elétrica	**x**								
Eletrização	**x**								
Luz	**x**				**x**				
Quantum de Energia				**x**		**x**	**x**		
Intensidade da luz		**x**	**x**	**x**	**x**				
Frequência da luz				**x**					
Constante de Planck						**x**			**x**
Fótons							**x**		**x**
Limiar de frequência				**x**					**x**
Função Trabalho							**x**		**x**
Fotoelétron		**x**		**x**					**x**
Energia Cinética Máxima							**x**		
Dualidade da Luz								**x**	

Quadro 3.1: *Conceitos abordados em cada seção do Material Instrucional.*

Dando continuidade a descrição do MI, conforme foi visto no capítulo 2, referencial teórico, o MI foi desenvolvido baseado principalmente na TAS de Ausubel (1980), seguindo os oito passos que orientam o desenvolvimento de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), segundo Moreira (2011c).

Então, no início do MI, na seção USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR, são mostrados três vídeos sobre o fenômeno do efeito fotoelétrico, inclusive com situações do cotidiano, e o aluno é convidado a externalizar o conhecimento prévio através de um mapa conceitual. Na sequência, o 3° vídeo é revisitado, mas agora com uma pausa entre a ação da luz ultravioleta e da luz branca em um eletroscópio carregado negativamente e a repetição do experimento para o eletroscópio carregado positivamente, essas pausas têm como objetivo direcionar a observação do aluno preparando-o para responder as perguntas que estão por vir.

Caso seja necessário, o MI possui a **seção complementar I,** sobre os processos de eletrização, como sugestão de organizador prévio para compreensão do vídeo. Após revisitar o vídeo, o aluno é instruído a responder perguntas a respeito do que foi observado. Essas perguntas são oportunidades de promover a negociação de significados através da discussão das respostas dadas e possíveis correções posteriores. Ao todo, foram inseridas sete perguntas no MI e a Figura 3.1 mostra um exemplo de uma pergunta tal como ela foi colocada no material.


1)Por que a luz ultravioleta é capaz de "expulsar" os elétrons e a luz branca não?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____	Porque a luz ultravioleta possui maior frequência que a luz branca.

Figura 3.1 - *Pergunta da seção 1.1 do Material Instrucional.*

Em seguida, na seção 1.2, é apresentado um texto resumindo o que foi estudado até o momento, para servir de base para a apresentação de possíveis explicações que a física clássica possa fornecer ao efeito fotoelétrico, partindo das previsões obtidas com os conceitos da teoria eletromagnética. Na seção 1.3, encontramos orientações de como instalar e usar uma simulação computacional interativa para investigar a influência da intensidade da luz na ocorrência do efeito fotoelétrico. A simulação, obtida gratuitamente no site do *Physics Education Technology, University of Colorado*, (PhET Colorado), é mostrada na Figura 3.2.

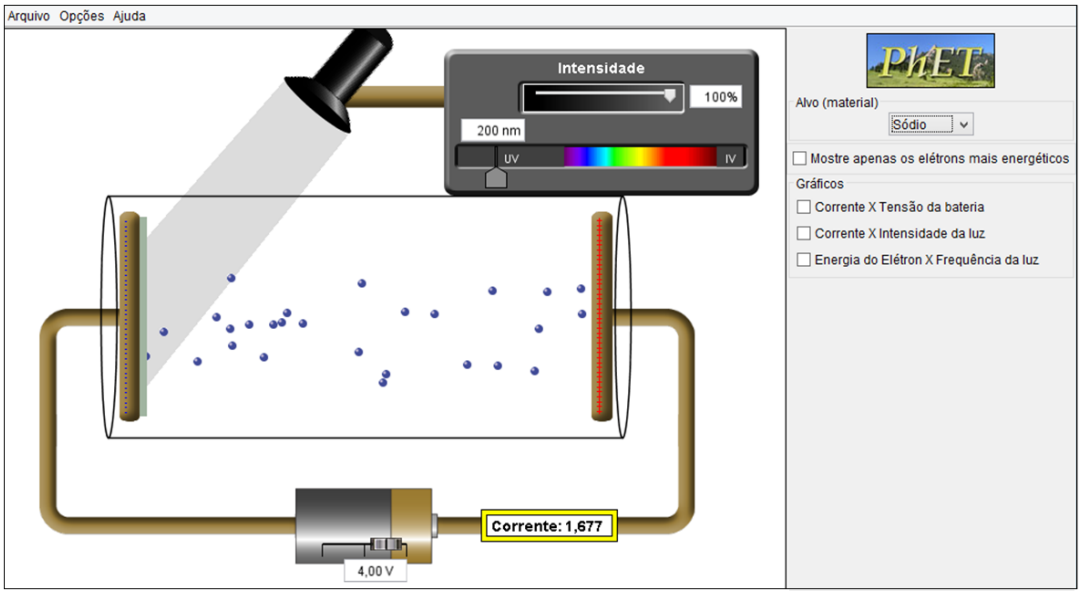


Figura 3.2 - *Simulação computacional interativa sobre o efeito fotoelétrico.*

Esta simulação encontra-se disponível para download no site:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric

Para auxiliar a compreensão dos conceitos abordados na seção 1.3, podemos utilizar a **seção complementar II,** com conteúdo sobre a intensidade das ondas. Nessa seção complementar também encontramos instruções de experimento que investiga como a intensidade da luz varia com a distância até a fonte utilizando um LED e um sensor LDR conectados a plataforma Arduino, conforme mostrado nas Figuras 3.3 e 3.4.

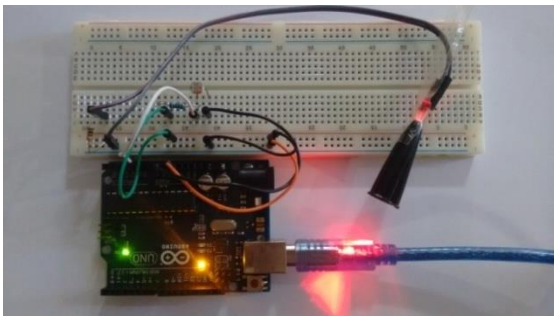


Figura 3.3 – *Montagem do experimento da seção complemetar II*

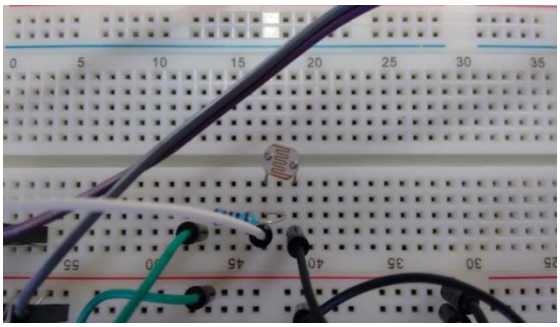


Figura 3.4 – *Detalhe do sensor LDR.*

Na simulação e no experimento, trabalhamos a diferenciação progressiva do papel da intensidade no efeito fotoelétrico, o que também é feito na seção 1.4, porém desta vez com a frequência da luz, através de outra simulação computacional interativa obtida gratuitamente no site do *Physics Education Technology, University of Colorado*, (PhET Colorado), que pode ser vista na Figura 3.5.

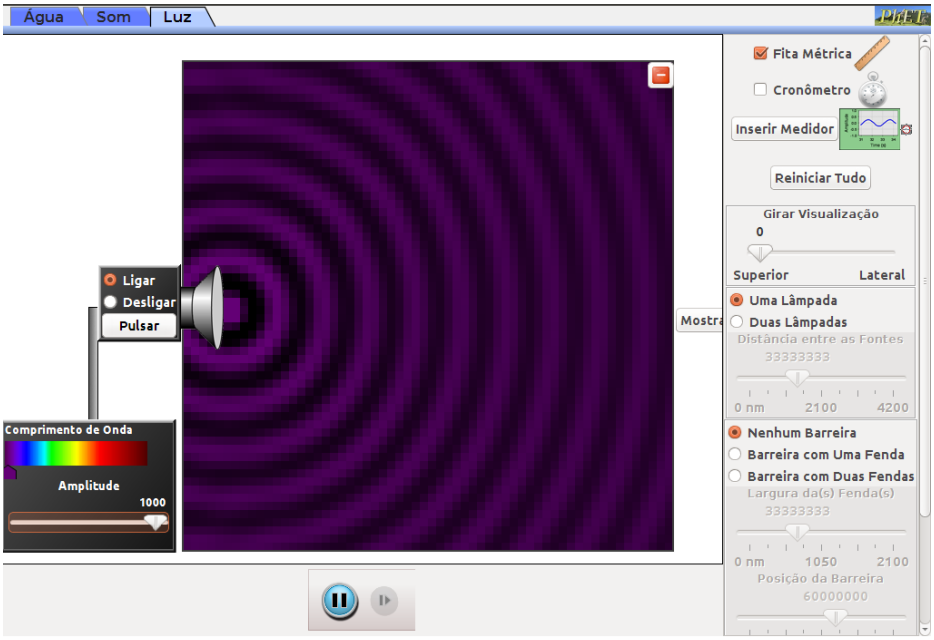


Figura 3.5 - *Simulação computacional interativa sobre ondas mecânicas e eletromagnéticas.*

A simulação em questão, encontra-se disponível para utilização e download no site:

https://phet.colorado.edu/pt/simulation/wave-interference

Utilizando a simulação obtemos o comprimento de onda de cada componente do espectro visível, do vermelho ao violeta, podendo calcular suas frequências e prever o comportamento dessa grandeza na zona ultravioleta. Utilizamos outra vez a simulação interativa sobre efeito fotoelétrico (Figura 3.2), mas desta vez para investigar a existência de um limiar de frequência para a ocorrência do efeito fotoelétrico e incentivar a reconciliação integradora, através da diferenciação progressiva dos conceitos de intensidade e frequência da luz.

A questão do tempo, ou seja, a ausência do lapso de tempo para a ocorrência do efeito fotoelétrico, é trabalhado no MI na seção 1.5 por meio de um exercício resolvido adaptado do livro de Física 4 (HALLIDAY, RESNICK e KRANE, 1992), após observar como o cálculo baseado na previsão clássica é incoerente com o que foi observado anteriormente, damos subsidio para o aluno alcançar uma reconciliação integradora. Frisando que, a relação entre intensidade da luz e distância da fonte pode ser encontrada na seção complementar II do MI.

Chegamos ao tópico Teoria Quântica, na seção 1.6, contendo um curto relato histórico sobre como o problema do espectro do corpo negro foi estudado por Max Planck, passando pela catástrofe ultravioleta, ou seja, a gênese da teoria quântica, que foi a base da explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico. Na seção 1.7, a explicação do efeito fotoelétrico, com base na teoria quântica, constituí mais um momento de reconciliação integradora. No próximo passo, na seção 1.8, é comentado o caráter dual da luz, evidenciado por fenômenos quânticos,

como o efeito fotoelétrico, e finalizando o tópico, temos três exercícios resolvidos sobre o efeito fotoelétrico.

Como preparação para o experimento, “DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CONSTANTE DE PLANCK (h)” temos, na seção 1.9, um pequeno texto com o objetivo de fornecer noções sobre o funcionamento de um LED, abordando termos como semicondutores, dopagem, junção PN, entre outros. No experimento propriamente dito, o aluno ao seguir um roteiro, obtém dados para preencher tabelas que relacionam as tensões e as correntes ao quais LEDS de cores diferentes são submetidos. E, através da montagem de gráficos ou cálculos de geometria analítica do nível médio, obtém a constante de Planck. A montagem do experimento pode ser vista na Figura 3.6.

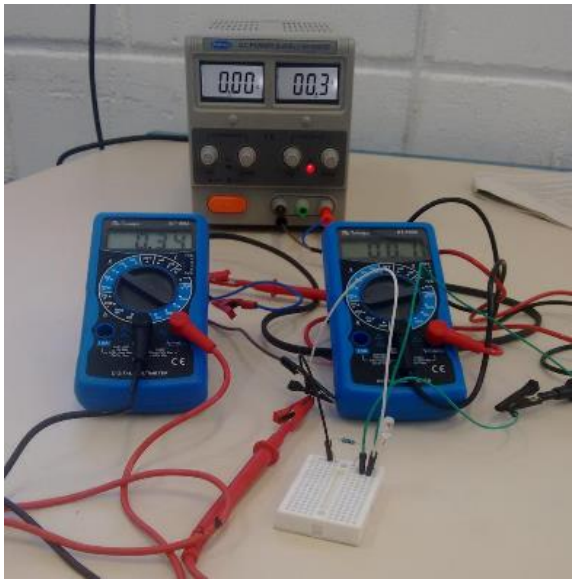


Figura 3.6 - *Montagem do experimento para obtenção da constante de Planck.*

Depois do último experimento é solicitado ao aluno a confecção de um novo mapa conceitual sobre o efeito fotoelétrico, com o objetivo de coletar dados que permitam analisar o desempenho do aluno em comparação ao mapa conceitual feito antes da aplicação do MI.

Finalizando o MI temos dez exercícios. O MI, incluindo suplemento do professor com todas as respostas e soluções, em conformidade com as normas do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), está disponível para uso público, e encontra-se no Apêndice D desta dissertação.

3.5 – Como o material instrucional foi aplicado.

O MI, inicialmente, seria aplicado em duas turmas da 3ª série do ensino médio de uma instituição particular de ensino situada em Vitória-ES, porém, com a minha aprovação em concurso público para docência na rede federal de ensino, o MI foi aplicado na 4ª série do Curso Técnico de Mecânica Integrado ao Ensino médio do IFES, Campus São Mateus. A escolha desta turma em particular se deve a componente curricular Física IV do Projeto do Curso Técnico Integrado em Mecânica de São Mateus, que se encontra no Quadro 3.2.

Curso: Técnico de Nível Médio Mecânica	**Componente Curricular:** Física IV
Período Letivo: 4ª Série	**Carga horária Prevista:** 60 h (72 aulas)
Competências: Fazer uso de tabelas, gráficos e relações matemáticas para interpretar fenômenos físicos; Interpretar as informações científicas divulgadas na imprensa; Identificar objetos, sistemas e fenômenos que produzem imagens para reconhecer o papel da luz e as características dos fenômenos físicos envolvidos; Conhecer os diferentes instrumentos ou sistemas que servem para ver, melhorar e ampliar a visão: olhos, óculos, telescópios, microscópios etc., visando utilizá-los adequadamente. Conhecer os processos físicos envolvidos nos diferentes sistemas de transmissão de informação sob forma de sons e imagens para explicar e monitorar a utilização de transmissões por antenas, satélites, cabos ou através de fibras ópticas. Utilizar os modelos atômicos propostos para a constituição da matéria para explicar diferentes propriedades dos materiais (térmicas, elétricas, magnéticas etc.); Identificar diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana; Compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos.	
Conteúdo: Conceitos básicos de óptica geométrica; Reflexão da luz nos espelhos planos; Reflexão da luz nos espelhos esféricos; Refração luminosa; Lentes; Instrumentos ópticos; Física atômica; Relatividade; Radioatividade e física nuclear; Partículas elementares; Cosmologia.	
Procedimentos Metodológicos e Recursos Didáticos: As aulas serão ministradas com tempo mínimo de 50 minutos onde o professor desenvolverá os conteúdos propostos para esta etapa, durante o ano letivo. Poderão ser utilizadas várias estratégias como aulas expositivas, dialogadas, trabalhos em grupo, individuais, exposição, apresentação de seminários, dinâmicas de grupo entre outras conhecidas. A seleção dos recursos didáticos a serem utilizados, assim como a metodologia devem ser realizadas após a análise dos conteúdos, para sua respectiva adequação. Podem ser utilizados: mídias, computador, retroprojetor, filmes, quadro e outros.	
Avaliação: A avaliação da disciplina deverá ser realizada segundo orientações previstas no Regulamento de Organização Didática (ROD), Título IV, Da Avaliação Escolar, Secção II - Da avaliação do aluno. De forma sistemática por meio de observação das situações de vivência, de perguntas e respostas formuladas durante as aulas; De forma específica, em provas, pesquisas, relatórios, apresentações etc.	
Referências Bibliográficas: Básica: 1. CARRON, Wilson. GUIMARÃES, Osvaldo. As Faces da Física: volume único. 3ª ed São Paulo: Moderna. 2. RAMALHO JUNIOR, Francisco. FERRARO, Nicolau Gilberto. SOARES, Paulo Antônio de Toledo Soares. Os Fundamentos da Física. São Paulo: Moderna 2007. v.II e v.III. 3. ALVARENGA, Beatriz. MÁXIMO, Antônio. Curso de Física. São Paulo: Scipione, 2005. v.II e v.III. Complementar: 4. GASPAR, Alberto. Física Térmica. São Paulo: Àtica, 2003. v.2 e v.3. 5. GRUPO REELABORAÇÃO DE FÍSICA. São Paulo: Edusp, 1993. 6. R. Resnick, D. Halliday, e J. Merril, Fundamentos de Física, V.4 Óptica e Física Moderna, 7ª ed., LTC (2006).	

Quadro 3.2*: Componente curricular da disciplina Física IV. Fonte:IFES.*

Na ocasião deste trabalho, eu assumi as turmas no segundo semestre de 2014, que devido a uma greve de professores, foi estendido até o início do segundo trimestre de 2015.

A orientação dada pelo setor pedagógico era que os conteúdos ligados a ótica geométrica e a ondulatória fossem alocados em 30 horas-aula, enquanto a parte ligada à física moderna e contemporânea ocupasse em torno de 12 horas-aula. Mas, como o planejado era aplicar o MI em 12 horas-aula, combinamos com o setor pedagógico e com a coordenadoria do curso técnico em mecânica usar também algumas aulas vagas devido a um hiato entre o afastamento de alguns professores e a contratação de substitutos. Então, conseguimos a seguinte carga horária para aplicar o MI: oito horas-aula da carga horária de física, 6,5 horas-aulas cedidas pela coordenadoria do curso técnico em mecânica (4 horas-aulas dentro do planejado + 2,5 horas-aulas que extrapolaram o planejado).

Então, como antes da aplicação do MI era necessário explicar aos alunos o que são mapas conceituais e como confeccioná-los, usamos para esse fim, quatro aulas extras. Na primeira aula, baseando-se no artigo “Mapas conceituais como instrumento de eliciação do conhecimento” (FERRACIOLI, 2007), apresentamos uma sequência de slides, que se encontra reproduzida no Apêndice III do MI. Nos slides é explicado o que são conceitos, palavras de ligação, níveis hierárquicos e exemplos. No final da primeira aula analisamos um Mapa Conceitual sobre as Leis de Newton, apresentado num slide. Na segunda Aula, os alunos receberam um pequeno texto sobre Termodinâmica onde foram orientados a listar palavras que significavam conceitos e as que representavam palavras de ligações, logo em seguida foram instruídos a se concentrar no parágrafo sobre a primeira lei da Termodinâmica e construir o primeiro mapa conceitual.

Durante a terceira aula exibi um mapa conceitual sobre a Primeira Lei da Termodinâmica elaborado por mim, momento onde foi feita a análise e discussão dos mapas conceituais sobre a primeira lei da termodinâmica feitos pelos alunos no encontro anterior. Na quarta aula repetimos o processo, desta vez com um tema mais amplo, hidrostática, gerando o segundo mapa conceitual confeccionado por cada aluno.

Julgamos necessárias essas quatro aulas iniciais pois, pensamos que, ao construir os mapas conceituais iniciais e finais sobre efeito fotoelétrico, o segundo mapa poderia ficar melhor que o primeiro apenas pela influência do treino em mapeamento conceitual e não devido a contribuição do MI, a confecção de mapas conceituais sobre outros tópicos não relacionados ao efeito fotoelétrico tinha como objetivo minimizar essa influência.

Na quinta e sexta aulas, começamos de fato a usar o MI, apresentando o planejamento, os objetivos e os três vídeos, convidando os alunos a elaborarem e comentarem o primeiro mapa sobre efeito fotoelétrico, com o objetivo de levar o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, propondo situações-problema envolvendo o fenômeno do efeito fotoelétrico, mas sem começar a ensiná-lo.

Na sétima aula, voltamos a exibir o vídeo 3, com pausas em instantes específicos para os alunos responderem e discutirem as respostas dadas as duas primeiras perguntas encontradas, enquanto na oitava aula foi utilizada a simulação computacional sobre o efeito fotoelétrico e realizado o experimento sobre intensidade da luz proposto na seção complementar II, quando investigamos a intensidade da luz e sua influência no efeito fotoelétrico.

Na nona aula, utilizamos as simulações computacionais interativas sobre ondas e sobre o efeito fotoelétrico, para saber mais sobre a frequência da luz. Nessa aula também utilizamos momentos de negociação de significados estimulados pelas perguntas contidas no material, buscando diferenciação progressiva e reconciliação integradora a respeito dos papéis da intensidade e frequência da luz, assim como para o limiar de frequência, pois para diferentes metais temos diferentes limiares.

Na décima aula, analisamos os exercício resolvido sobre a questão do tempo, abordando como o lapso de tempo previsto pela teoria eletromagnética clássica não é verificado no vídeo 3 e buscamos formular uma explicação para a ocorrência do efeito fotoelétrico com base nas atividades realizadas nas aulas anteriores.

Na décima primeira aula, discutimos o nascimento da Teoria Quântica, com a ideia do quantum de energia e abordamos a dualidade da luz, trabalhamos também o texto a respeito do funcionamento do LED.

Na décima segunda aula, realizamos o experimento para medir o valor da Constante de Planck, diferenciando ainda mais os conceitos relacionados aos experimentos e simulações anteriores, porém, em um grau de complexidade mais elevado.

Extrapolando em duas horas-aula e meia o cronograma, a décima terceira foi ocupada com a confecção do mapa conceitual final, enquanto o restante, 1,5 horas-aula, foi reservado para a realização da avaliação somativa final.

3.6 – Instrumentos de Coleta de Dados

Nesta seção, são apresentados os instrumentos utilizados para coletar os dados, que permitirão avaliar o MI, e serão analisados no capítulo 4. Serão descritos os critérios de avaliação e classificação dos dados e os momentos de aplicação ao longo do desenvolvimento da intervenção.

3.6.1 – O Mapa Conceitual

A ferramenta mapa conceitual, usada neste trabalho como meio do aluno externalizar seus conhecimento prévios e como método de avaliação, tanto do desempenho do aluno quanto do impacto do MI, é definido, nas palavras de Moreira (2011a, p.123), "De um modo geral, mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são apenas diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos.".

Mas, o uso de Mapas Conceituais também permite identificar evidências da Negociação de Significados entre professor e aluno, pois de acordo com Novak (1999):

> Uma vez que os mapas conceituais constituem uma representação explícita e manifesta dos conceitos e das preposições que uma pessoa possui, eles permitem aos professores e alunos trocar os seus pontos de vista sobre a validade de uma determinada ligação preposicional, ou reconhecer a falta de ligação entre conceitos que sugerem a necessidade de uma nova aprendizagem. (NOVAK, 1999, p. 35-36).

Como existem vários modelos de mapas conceituais, optamos, neste trabalho, em orientar os alunos a seguir um modelo hierárquico, ou seja, conceitos mais inclusivos no topo da hierarquia e os conceitos mais específicos em níveis mais inferiores. Os conceitos devem ser representados no interior de figuras geométricas (retângulos, quadrados, elipses ou círculos) e a indicação de relação entre eles feita através de linhas que os unem, acompanhadas ou não de palavras ou frases de ligação.

3.6.2 – Perguntas ao Longo do Material Instrucional

Com o objetivo de promover a negociação de significados dos conceitos em estudo, entre os alunos e o professor/mestrando, foram distribuídas ao longo do MI sete perguntas, todas com espaço para que o aluno responda no próprio MI. Vale ressaltar que, todas as perguntas continham, além do espaço para resposta, um espaço para que o aluno fizesse a correção da

mesma, caso fosse necessário, conforme pode ser visto na Figura 3.1 da seção 3.4, Descrição do Material Instrucional.

3.6.3 – Avaliação Somativa Individual

Composta por dez questões, a avaliação somativa individual, aplicada após a utilização do MI, encontra-se disponível no Apêndice I do MI. Ela é composta de questões de múltipla escolha com apenas uma opção correta, questões de múltipla escolha com mais de uma opção correta e questões discursivas, sendo que todas elas foram retiradas de vestibulares de universidades e faculdades brasileiras. A avaliação somativa individual também serviu para compor a nota dos alunos no segundo semestre de 2014/2, atendendo as orientações do setor pedagógico do IFES Campus São Mateus.

3.6.4 – Anotações Pessoais do Professor sobre a Aplicação do MI

Durante a aplicação do material eu anotei minhas impressões sobre o desenrolar dos trabalhos, nos moldes de um diário (CAÑETE, 2010), observando as reações dos alunos, suas dificuldades, o tempo gasto na execução das atividades, os pontos positivos e negativos apontados pelos alunos após cada aula, entre outros fatores.

3.6.5 – Questionário de opinião dos Alunos sobre a aplicação do MI

Para dar voz aos alunos e complementar as minhas observações, foi aplicado um questionário aberto para levantar a opinião dos estudantes sobre o MI, que se encontra disponível do Apêndice B. O questionário foi aplicado por servidores do IFES Campus São Mateus, sem a minha presença, após o término da aplicação do material. Não foi exigido que os alunos se identificassem, de forma a não inibir possíveis críticas e/ou comentários negativos sobre o MI ou as atividades executadas sobre minha supervisão.

3.7 – Técnicas de Análise de Dados

Nesta seção serão descritas as técnicas utilizadas para analisar os dados obtidos com os instrumentos de coleta de dados especificados na seção 3.6.

3.7.1 – Técnicas de Análise do Mapa Conceitual

Para realizar a classificação e análise dos mapas conceituais, utilizamos os critérios propostos por Novak (1999) e por Mendonça (2012), que encontram-se detalhados no Quadro 3.3.

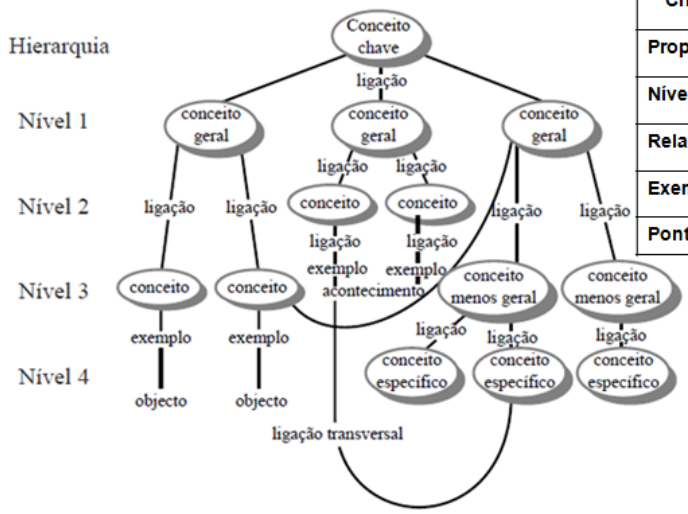
Critérios	Definição
Conceitos	Palavras inseridas nos mapas que estão no interior de um quadrado ou círculo.
Conceitos Válidos	São palavras que estão relacionados direta ou indiretamente ao assunto. Verbos não são considerados conceitos válidos assim como frases que não possuem sentido claro.
Proposições	Foram consideradas as "linhas" que fazem a ligação entre dois ou mais conceitos. Nessas proposições podem haver palavras de ligação, mas não são obrigatórias.
Proposições Válidas	São as "linhas" com ou sem palavras de ligação que possuem sentido na união entre dois conceitos.
Relações Cruzadas	São proposições que atravessam níveis hierárquicos, realizando uma ligação direta entre os lados.
Exemplos	Referem-se a modelos que servem para indicar uma aplicação direta do tema.
Hierarquia	Refere-se a organização hierárquica dos conceitos apresentados no mapa, onde cada um dos conceitos subordinados é mais específico e menos geral que o conceito escrito acima dele, ou seja, o mapa apresenta níveis hierárquicos distinguíveis.

Quadro 3.3: *Critérios utilizados por Novak(1999) e Mendonça (2012) (adaptado).*

Novak propôs um método de atribuir um score para cada mapa conceitual, definindo pontuações para alguns dos critérios descritos no Quadro 3.3, da seguinte maneira:

- 1 ponto para cada proposição válida e significativa.
- 5 pontos para cada nível hierárquico válido.
- 10 pontos para cada relação cruzada que seja válida.
- 1 ponto para cada exemplo válido.

Na Figura 3.7, temos uma representação de um mapa hierárquico como modelo para pontuação, com seus conceitos no interior de elipses, ligações (relações), ligações transversais (relações cruzadas), exemplos e Níveis Hierárquicos.



Critérios (válidos)	Qtde	Valor	Pto
Proposições	14	1 ponto	14
Níveis Hierárquicos	4	5 pontos	20
Relações Cruzadas	2	10 pontos	20
Exemplos	4	1 ponto	4
Pontos no total			58

Figura 3.7: *Modelo para pontuação de mapas conceituais. Fonte: Novak (1999)*

Mendonça (2012), levando em conta a hierarquia, a relevância dos conceitos, as ligações adequadas, o aparecimento ou não de ligações cruzadas e a presença de exemplos, categorizou os mapas conceituais através de um critério qualitativo que batizou de Qualidade do Mapa, cujas descrições de suas categorias encontram-se no Quadro 3.4.

Categorias	Características	Informações relevantes
MC Bom (MB) Indica maior compreensão do tema.	Contém informações conceituais relevantes; está bem hierarquizado, com o conceito inclusor no topo, em seguida os intermediários e posteriormente os mais específicos e os exemplos.	Palavras de ligação adequadas; com ligações cruzadas; ausência de repetição de conceitos e informações supérfluas; proposições corretas, presença ou não de exemplos.
MC Regular (MR) Indica pouca compreensão do tema.	Apresenta alguns conceitos centrais do tema, mas com uma hierarquia apreciável.	As palavras de ligação e os conceitos não estão claros. Pode realizar ligações cruzadas ou não. Muitas informações detalhistas e a repetição de conceitos.
MC Deficiente (MD) Indica ausência de compreensão do tema.	Não apresenta os conceitos centrais do tema; muito pobre em conceitos sobre o conteúdo trabalhado.	Hierarquia básica, demonstrando sequências lineares e conhecimentos muito simples. Faltam relações cruzadas, com palavras de ligação; são simples.

Quadro 3.4: *Categorias para análise da Qualidade do* MC, *estabelecidas por Mendonça (2012).*

Utilizando os critérios anteriormente descritos, vamos comparar as pontuações obtidas pelos alunos nos mapas iniciais e finais e através do uso de gráficos do tipo *Boxplot*[1]. Além dos gráficos, vamos utilizar um teste não paramétrico de amostras dependentes chamado, *Wilcoxon Signed Rank Test*, para complementar a análise das pontuações dos mapas conceituais.

Tanto no *Wilcoxon Signed Rank Test* quanto nos demais testes estatísticos utilizados nesse trabalho para a realização de comparações, as inferências estatísticas decorrentes são realizadas para testar hipóteses sobre um determinado parâmetro populacional. Neste sentido, Triola aponta que:

> Em estatística, uma hipótese é uma afirmativa sobre uma propriedade da população. Um teste de hipóteses (ou teste de significância) é um procedimento padrão para se testar uma afirmativa sobre uma propriedade da população. (TRIOLA, 2008, p. 304).

Um teste de hipótese formal possuí, uma hipótese nula (H_0) e uma hipótese alternativa (H_1). A hipótese nula afirma que o valor de um parâmetro populacional é igual a algum valor específico, enquanto a hipótese alternativa afirma que o parâmetro populacional tem um valor que, de alguma forma, é diferente da hipótese nula. Supondo a hipótese nula verdadeira, testamos a mesma, que poderá ser rejeitada ou não. O teste é feito através da análise de um

[1] Diagramas de caixa em português

valor, um score típico de cada teste, chamado **estatística do teste**, que é usado para tomar a decisão de rejeitar ou não a hipótese nula (TRIOLA, 2008).

Verificaremos também, se existe concordância ou não, entre as classificações dos mapas iniciais e finais quanto ao critério qualitativo Qualidade do Mapa através do Teste Stuart-Maxwell para homogeneidade marginal, contido no pacote DescTools: Tools for descriptive statistics. R package version 0.99.16 (SIGNORELL, A, 2016). A frequência de ocorrência dos conceitos presentes nos mapas finais e iniciais serão analisados após agrupados de acordo com a Teoria dos campos conceituais de Vergnaud (MOREIRA, 2002).

Todos os testes estatísticos serão realizados com o software de domínio público (gratuito) e aberto chamado R software (R Core Team, 2015).

3.7.2 – Técnicas de Análise das Perguntas ao Longo do MI

Para classificar as respostas dados pelos alunos às perguntas ao longo do MI, utilizamos os critérios que estão descritos no Quadro 3.5, proposto inicialmente por Silva, C., (2014) e Libardi (2014).

Categorias	Características	Informações Relevantes.
Correta (C)	Resposta que coincide com a esperada, de acordo com o estabelecido pelo conhecimento científico aceito.	Utilização de conceitos e grandezas corretas, com proposições corretas.
Parcialmente Correta (PC)	Resposta que contém ideia geral correta ou próxima à esperada, porém com utilização de grandezas ou conceitos incorretos.	Demonstra possuir conceitos alternativos ou falha na compreensão do significado da grandeza utilizada. Por isso, as proposições utilizadas podem estar incorretas.
Incorreta (I)	Resposta que não possui as informações necessárias para explicação do fenômeno ou que diverge do estabelecido pelo conhecimento científico.	Demonstra não possuir conhecimento acerca do assunto abordado, ou inverte as características dos conceitos/grandezas analisados na questão.
Branco (B)	Resposta em Branco	-

Quadro 3.5: Categorias para análise das respostas *dadas pelos alunos no MI. (Fonte: Silva,C., (2014) e Libardi, (2014))*

Após a classificação das respostas, analisaremos esses resultados para verificar os conceitos subsunçores, as concepções alternativas e as relações com o rendimento dos alunos e o impacto do MI na assimilação dos conceitos abordados. Também realizaremos uma Análise das respostas baseada no Método da Análise de Conteúdo proposto por Bardin (1977).

Para verificar se o índice acertos nas questões inseridas ao longo no material apresenta correlação com a nota na avaliação somativa individual utilizamos o teste de correlação de

Spearman, que é um teste não paramétrico que mede a intensidade da relação entre variáveis ordinais.

3.7.3 – Técnicas de Análise da Avaliação Somativa Individual

Utilizando as mesmas categorias do Quadro 3.5, atribuímos um ponto para cada questão correta, meio ponto para cada questão parcialmente correta e nenhum ponto para questões incorretas ou em branco. Além da nota, a avaliação somativa final foi utilizada para pesquisar como os conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico abordados ao longo das seções do material foram assimilados pelos alunos. Os conceitos que foram cobrados em cada questão estão indicados no Quadro 3.6.

Conceitos	**Questões da Avaliação Somativa Final**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Carga elétrica		x								
Eletrização		x							x	
luz	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Quantum de Energia	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Frequência da luz	x									
Constante de Planck			x		x	x		x		
Fótons	x	x	x	x		x	x			
Limiar de frequência	x	x						x	x	x
Função trabalho	x	x		x	x			x	x	x
Fotoelétron	x	x			x					
Energia Cinética máxima				x	x			x	x	x
Dualidade da Luz			x			x	x			

Quadro 3.6: *Conceitos abordados em cada questão da Avaliação Somativa Individual.*

No quadro 3.6, observe que na questão 1 da avaliação somativa individual, exige-se do aluno os conceitos de luz, Quantum de Energia, frequência da luz, Fóton, limiar de frequência, função trabalho e Fotoelétron; Note que alguns conceitos não são necessariamente usados para responder a questão 1 corretamente, a saber: Carga elétrica, eletrização, intensidade da luz, Constante de Planck, Energia cinética máxima e Dualidade da Luz.

Na análise estatística vamos usar a análise de variância (ANOVA). A análise de variância ANOVA é um método para se testar a igualdade de três ou mais médias populacionais através da análise das variâncias amostrais (TRIOLA, 2008). Neste trabalho usaremos a ANOVA

como objetivo de comparar as notas obtidas na avaliação com a classificação dos mapas finais quanto ao critério qualitativo Qualidade do Mapa.

3.7.4 – Técnicas de Análise das Anotações Pessoais do Professor sobre a Aplicação do MI

As reflexões originadas a partir da leitura posterior destas impressões me permitem avaliar o MI, visando guiar possíveis alterações para a versão do produto educacional que se encontra anexo à dissertação, além de auxiliar na avaliação da intervenção como um todo. Pois, dossiês, cadernos reflexivos e diários de aula permitem registrar as práticas docentes dando condições de (re)pensá-las, segundo Cañete (2010).

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo, é apresentada a análise dos dados coletados com os instrumentos descritos no capítulo 3, com o objetivo de buscar indícios da promoção de Aprendizagem Significativa, devido a utilização de um produto educacional, desenvolvido por mim e pelo meu orientador, na forma de um Material Instrucional (MI), que aborda os conceitos do Efeito Fotoelétrico no ensino médio.

Primeiro, na seção 4.1, os Mapas Conceituais (MC's) confeccionados pelos alunos, antes e depois da aplicação do MI, são classificados e analisados. Na sequência, na seção 4.2, são analisados os resultados dos alunos na avaliação somativa individual realizada após a aplicação do MI e confecção do mapa conceitual final. Na seção 4.3, são analisadas as respostas dadas pelos alunos às questões contidas ao longo do MI. Na seção 4.4, discutimos as minhas impressões sobre todo o processo de aplicação do MI. E, encerrando esse capítulo, temos, na seção 4.5, a discussão acerca das respostas dos alunos ao questionário de opinião aplicado após o término das atividades.

4.1 – Análise dos Mapas Conceituais

Neste trabalho, o mapeamento conceitual foi utilizado como uma forma de avaliar a evolução do aluno e os possíveis impactos do MI para o aprendizado dos conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico. Analisando os MC's elaborados pelos alunos antes e depois da intervenção utilizando o MI e minha participação, pode-se ter um indicativo dos conceitos sobre o efeito

fotoelétrico pré-existentes na estrutura cognitiva do aluno, cientificamente aceitos ou não, e buscar entender como o MI contribuiu para a possível evolução dos conceitos relacionados ao tópico estudado.

Os MC's desenvolvidos pelos alunos foram classificados utilizando-se o critério qualitativo, Qualidade do Mapa (QM), e critérios quantitativos, propostos por Mendonça (2012), a saber: O Total de Conceitos (TC), os Conceitos Válidos (CV), o Total de Proposições (TP), as Proposições Válidas (PV), as Relações Cruzadas (RC), número de Exemplos (EX). Realizamos também uma classificação segundo a quantidade de Níveis Hierárquicos (NH) e atribuímos a cada mapa uma pontuação, conforme proposto por Novak (1999). As características e definições destes critérios estão descritos nos Quadros 3.3 e 3.4 da seção 3.7

Para ilustrar como foi realizada a classificação dos MC's, vamos utilizar o MC, inicial e final elaborados pelo aluno A2. A Figura 4.1, mostra, o mapa inicial do referido aluno.

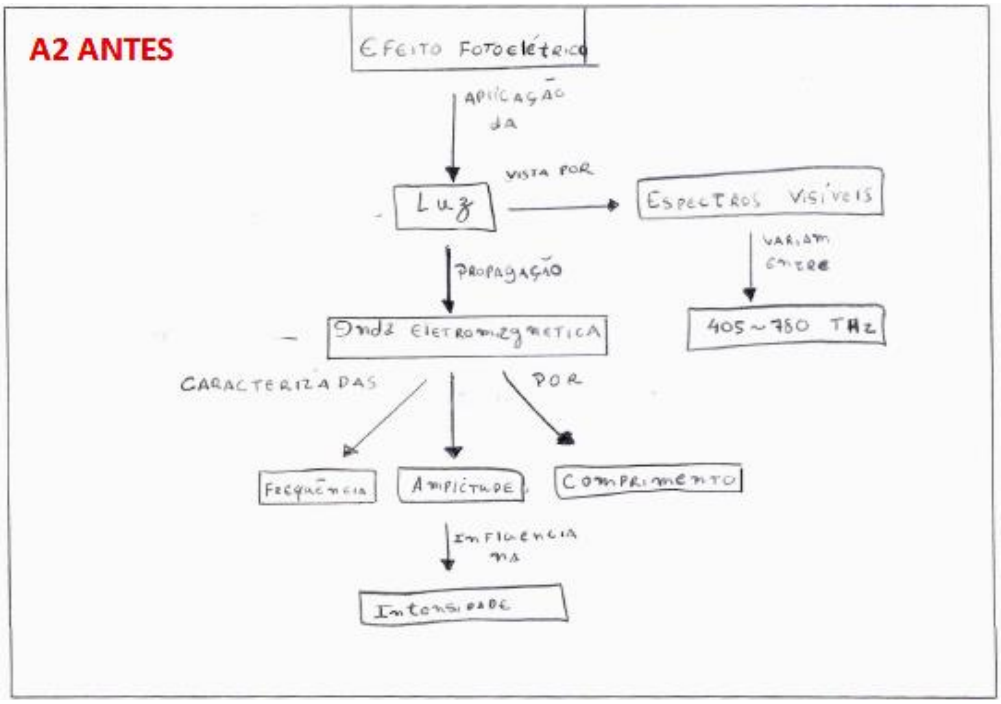


Figura 4.1: *Mapa Conceitual Inicial elaborado pelo aluno A2.*

Logo no topo do mapa, o aluno A2 coloca o tema central "Efeito Fotoelétrico" como uma aplicação da "Luz". O educando entende esta luz como sendo compreendida na faixa dos "Espectros Visíveis" que variam de "405 ~ 780 THz" e se propaga como uma "Onda eletromagnética", caracterizada por "Frequência", "Amplitude" e "Comprimento" de onda, possuindo uma "intensidade", que é influenciada pela amplitude.

Segundo os critérios de Mendonça (2012), estabelecidos na seção 3.6.1, o mapa possui oito conceitos, todos ligados diretamente ou indiretamente ao conceito chave Efeito Fotoelétrico,

portanto, considerados como válidos (TC=CV=9). Todas as oito proposições possuem sentido ao ligar conceitos (TP=PV=8), não possui nenhuma relação cruzada (RC=0) e nenhum exemplo (EX=0). Este mapa apresenta os conceitos centrais, Frequência e Intensidade, acompanhado de uma hierarquia apreciável e foi classificado como tendo uma qualidade regular (QM=MR).

Segundo os critérios de Novak (1999), o mapa inicial elaborado pelo aluno possui 4 níveis hierárquicos (NH=4) e a pontuação atingida pelo mapa do aluno pode ser calculada como mostrado abaixo:

$$PTO = (1 \times PV) + (5 \times NH) + (10 \times RC) + (1 \times EX)$$

$$PTO = (1 \times 8) + (4 \times 5) + (10 \times 0) + (1 \times 0)$$

$$PTO = 28$$

A Figura 4.2, mostra o MC confeccionado pelo aluno A2, após a aplicação do MI.

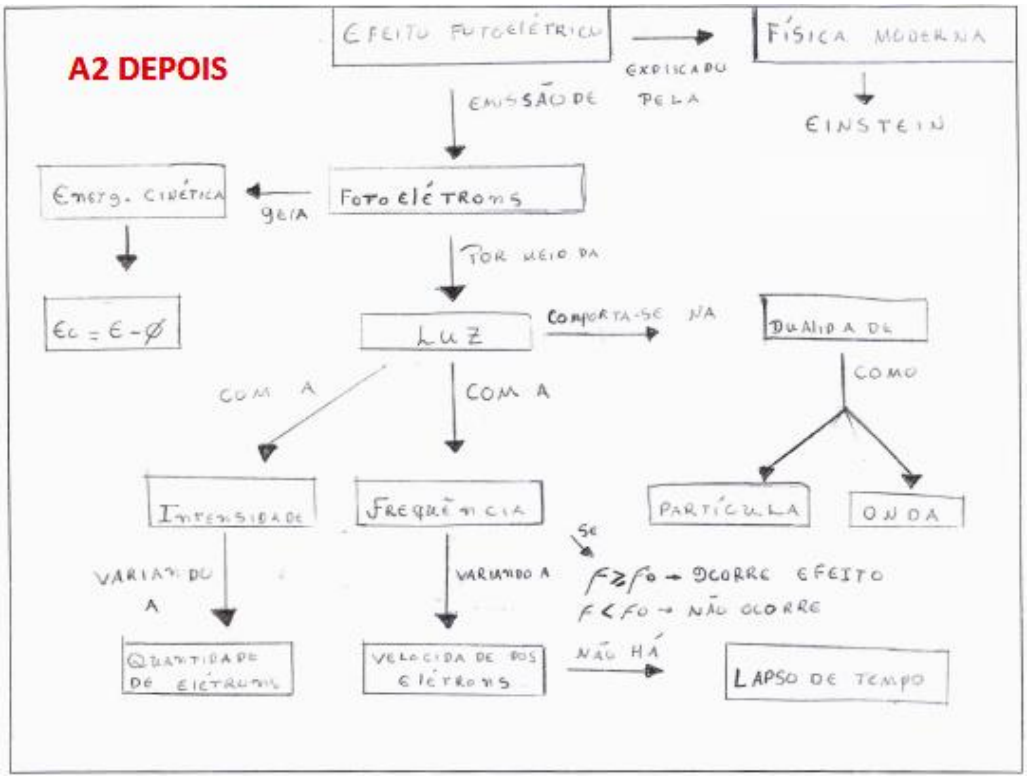


Figura 4.2: *Mapa Conceitual Final elaborado pelo aluno A2.*

Neste mapa, o aluno A2 demonstra que o conceito central "Efeito Fotoelétrico" é caracterizado pela emissão de "Fotoelétrons" e explicado pela "Física Moderna", associando esse ramo da física ao célebre físico Albert "Einstein". Na sequência, esses fotoelétrons são relacionados à "Energia cinética", que pode ser calculada descontando a função trabalho da energia total incidente "$E_c = E - \Phi$", o aluno também explica que, estes fotoelétrons são

emitidos por meio da incidência de “Luz”, cuja “Intensidade” influência a “Quantidade de Elétrons” ejetados, enquanto a “Frequência” é a responsável por variar a “Velocidade dos Elétrons”.

Apesar do conceito Frequência de corte não ser colocado num retângulo, o aluno explica que a frequência de corte deve ser menor ou igual a frequência da luz incidente para a ocorrência do efeito fotoelétrico. É interessante observar que o conceito “Lapso de tempo” também é citado apesar de não constar o de Física Clássica em contraponto ao de Física Moderna e por último, notamos o conceito da “Dualidade da luz” associado ao comportamento de “Partícula” e de “Onda”.

O mapa analisado apresenta, de acordo com os critérios estabelecidos por Mendonça (2012) na seção 3.6.1, quatorze conceitos (TC=14), todos os conceitos apresentam relação direta ou indireta com o tema estudado, por isso considerados válidos (CV=14), treze proposições ao total (TP=13), todas as proposições possuem sentido ao ligar os conceitos, logo são válidas (PV = 13), nenhuma relação cruzada (RC=0) e ausência de exemplos (EX=0). Qualitativamente, o mapa analisado apresenta informações relevantes e está bem hierarquizada, mas, infelizmente sem relações cruzadas e exemplos, categorizando como um Mapa Bom (QM=MB).

Observamos também que o mapa possuí 4 níveis hierárquicos (NH=4), que de acordo com os critérios de Novak (1999), confere a seguinte pontuação do mapa Final elaborado pelo aluno A2:

$$PTO = (1 \times PV) + (5 \times NH) + (10 \times RC) + (1 \times EX)$$

$$PTO = (1 \times 13) + (4 \times 5) + (10 \times 0) + (1 \times 0)$$

$$PTO = 33$$

Comparando os dois mapas elaborados pelo aluno A2 notamos um aumento de 18% na pontuação e um aumento de mais de 50% na maioria dos quesitos quantitativos (TC, CV, TP e PV), além de um avanço no quesito qualitativo Qualidade do Mapa (QM), partindo de um mapa inicial regular (MR) para um mapa final bom (MB). Nota-se, que o mapa inicial associava os conceitos relevantes Intensidade e Frequência ao conceito de ondas, enquanto que no mapa final esses mesmos conceitos ainda estão associados a luz, mas agora também relacionados a causas e consequências do fenômeno do efeito fotoelétrico, a física moderna e a dualidade da luz, isso mostra indícios de que os conceitos intensidade e frequência da luz sofreram diferenciação progressiva ao serem usados para obter novos significados relacionados as efeito fotoelétrico e como mantiveram relações com o conteúdo de

ondulatória também verificamos uma reconciliação integradora, de acordo com Moreira (2011a).

Tendo como base o que foi feito para a classificação dos MCs do aluno A2, classificamos os mapas dos demais alunos. Os resultados estão compilados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: *Classificação e pontuação dos* MC's *desenvolvidos pelos estudantes, conforme os critérios propostos por Mendonça (2012) e Novak (1999).*

Alunos	Mapa	Critérios								
		TC	CV	TP	PV	RC	EX	NH	PTO	QM
A1	Inicial	6	6	9	7	0	0	3	22	MD
	Final	12	11	16	14	0	0	6	44	MR
A2	Inicial	9	9	8	8	0	0	4	28	MR
	Final	14	14	13	13	0	0	4	33	MB
A3	Inicial	12	8	17	12	0	2	4	34	MR
	Final	12	9	13	13	0	2	5	40	MR
A4	Inicial	3	3	6	1	0	0	1	6	MD
	Final	9	9	8	7	0	0	4	27	MD
A5	Inicial	10	9	11	8	0	0	5	33	MR
	Final	14	13	15	12	0	0	5	37	MR
A6	Inicial	8	6	7	5	0	0	3	20	MD
	Final	21	13	21	17	1	0	7	62	MR
A7	Inicial	8	8	7	6	0	0	2	16	MD
	Final	16	13	16	15	1	0	3	40	MD
A8	Inicial	3	1	2	1	0	0	2	11	MD
	Final	7	5	10	6	0	0	4	26	MB
A9	Inicial	10	10	12	10	0	0	3	25	MD
	Final	14	11	16	16	0	0	4	36	MR
A10	Inicial	3	3	3	1	0	0	2	11	MD
	Final	10	9	10	8	0	0	6	38	MR
A11	Inicial	7	6	7	5	0	0	3	20	MD
	Final	8	8	8	7	0	0	4	27	MR
A12	Inicial	17	15	17	14	0	0	4	34	MD
	Final	12	10	7	7	0	2	5	34	MR
A13	Inicial	7	7	6	2	0	0	3	17	MD
	Final	15	11	16	16	0	0	4	36	MB

Legenda: **TC** = Total de Conceitos; **CV** = Conceitos Válidos; **TP** = Total de Proposições; **PV** = Proposições Válidas; **RC** = Relações Cruzadas; **EX** = Exemplo; **NH** = Nível Hierárquico; **PTO** = Pontuação; **A** = Alta; **M** = Média; **B** = Baixa; **N** = Nula; **QM** = Qualidade do Mapa; **MB** = Mapa Bom; **MR** = Mapa Regular e **MD** = Mapa Deficiente.

4.1.1 – Discussão dos Dados Quantitativos dos Mapas Conceituais

A primeira análise sobre os dados quantitativos dos MC's dos alunos pode ser feita comparando-se os resultados dos MC's antes e depois da instrução. A soma dos valores numéricos dos critérios TC, CV, TP, PV, RC, EX e NH, nos mapas iniciais e finais estão mostradas na Tabela 4.2

Tabela 4.2: *Comparação entre as quantidades dos Critérios Quantitativos dos mapas iniciais e finais de todos os alunos. Para o cálculo da diferença percentual, foi considerado o menor valor entre eles como referência (100%).*

Critérios	Conceitos, proposições, relações cruzadas, exemplos, níveis hierárquicos e pontuação							
	TC	**CV**	**TP**	**PV**	**RC**	**EX**	**NH**	**PTO**
Inicial	103	91	112	80	0	2	39	277
Final	164	136	169	151	2	4	61	480
Diferença	61 (59,2%)	45 (49,5%)	57 (50,9%)	71 (88,8%)	-	2 (100,0%)	22 (56,4%)	203 (73,2%)

Legenda: **TC** = Total de Conceitos; **CV** = Conceitos Válidos; **TP** = Total de Proposições; **PV** = Proposições Válidas; **RC =** Relações Cruzadas **EX** = Exemplo; **NH** = Níveis Hierárquicos e **PTO** = Pontuação dos mapas.

A Figura 4.3 abaixo apresenta um gráfico de barras com os resultados das somas destes critérios, com exceção das pontuações dos MC's.

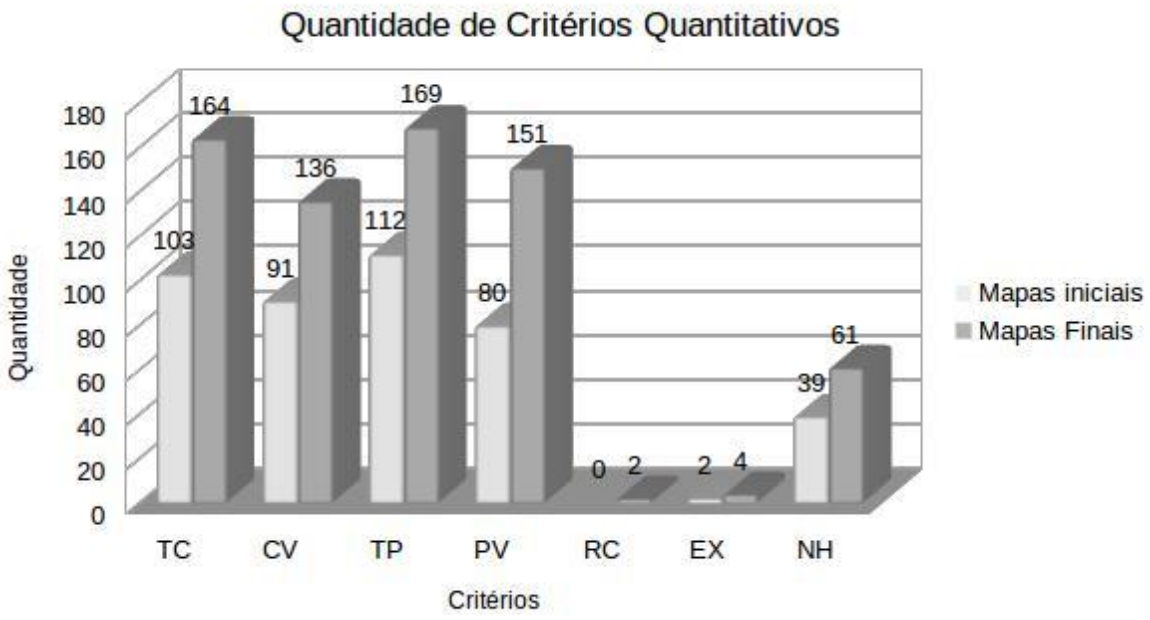


Figura 4.3: Gráfico comparando as quantidades de critérios quantitativos nos MC's.

Os resultados da Tabela 4.2, ilustrados no gráfico da Figura 4.3, mostram que todos os valores dos critérios quantitativos dos mapas finais aumentaram em comparação aos mapas iniciais, corroborando os resultados também encontrados por (LIBARDI, 2014; SILVA, C., 2014; SILVA, R., 2015). Estes resultados são desejados após a aplicação do MI, pois esperamos que os alunos tenham uma natural necessidade de utilizar uma maior quantidade de níveis hierárquicos para acomodar os novos conceitos e consequentemente os mapas apresentam um aumento na quantidade de proposições que podem ser formuladas, válidas ou não.

Outro aspecto importante é que o número de proposições válidas aumentou mais que os outros critérios, sugerindo uma melhora na habilidade do aluno em relacionar os conceitos direta ou indiretamente ligados ao tema estudado. Essa melhora pode ter sido causada pela utilização do MI, dando subsídio ao aluno para realizar a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos conceitos presentes em seus mapas iniciais resultando em mapas finais mais consistentes. Isso pode ser exemplificado a partir da constatação de que alguns alunos citaram o conceito frequência da luz nos mapas iniciais apenas para diferenciar a cor da luz, não associando esse conceito a causa do efeito fotoelétrico. No entanto, esses alunos mantiveram o conceito de frequência da luz nos seus mapas finais, mas agora relacionando seu valor à causa do efeito fotoelétrico, ou seja, o limiar de frequência. Mais discussões sobre os conceitos presentes nos mapas conceituais serão feitas na seção 4.1.2.

Comparamos também a relação entre a quantidade de Proposições Válidas e o Total de Proposições (PV/TP) e a relação entre a quantidade de Conceitos Válidos e o Total de Conceitos (CV/TC). Os valores estão mostrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: *Relação entre conceitos válidos e totais de conceitos (CV/TC) e entre proposições válidas e total de proposições (PV/PT).*

Mapa	PV/TP (%)	CV/TC (%)
Inicial	71,4%	88,3
Final	89,3%	82,9%
Diferença	17,9%	- 5,4%

Legenda: **CV/TC** = Razão entre o número de Conceitos Válidos e o número de Total de Conceitos; **PV/TP** = Razão entre o número de Proposições Válidas e o número de Total de Proposições.

Houve uma diminuição de 5,4 % na relação entre a quantidade de Conceitos Válidos e o Total de Conceitos. Uma possível explicação é que, o processo de assimilação ainda não havia sido concluído para todos os conceitos novos, que mesmo assim, foram citados por alguns alunos em seus mapas finais. Por outro lado, observou-se um aumento de 17,9 % na relação entre as Proposições Válidas e o Total de Proposições, indicando a ocorrência da diferenciação progressiva dos conceitos subsunçores relevantes encontrados nos mapas iniciais e de ligações mais consistentes entre esses conceitos. Estes resultados parecem estar de acordo com a proposição de Moreira (2011a) sobre a ocorrência da aprendizagem dos conceitos:

> A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual, um campo de situações, é progressivo, com rupturas e continuidades, e pode levar um tempo relativamente grande. A consolidação ausebeliana não deve ser confundida com a aprendizagem para o domíno behaviorista. (MOREIRA, 2011a, p. 47).

Os resultados da Tabela 4.2 indicam também a ausência de relações cruzadas nos mapas iniciais e um baixo número delas nos mapas finais, o que pode indicar que a reconciliação

integradora dos conceitos direta ou indiretamente ligados ao fenômeno do efeito fotoelétrico não foi tão evidente quanto a diferenciação progressiva.

Isto pode ter sido influenciado pelo fato de que, foi durante a aplicação deste trabalho que os alunos conheceram a técnica de mapeamento conceitual. Além disso, a diferenciação progressiva é mais comum do que a reconciliação integradora, pois a primeira está mais relacionada com a aprendizagem significativa subordinada enquanto a segunda a aprendizagem significativa superordenada, segundo Moreira (2011a).

E, quanto ao baixo número de exemplos encontrados nos MC's, mesmo que a quantidade tenha dobrado (de 2 para 4), atribuímos isso o pouco contato que os alunos tiveram com os conteúdos ligados a física moderna e contemporânea, pois os mesmos não são tratados durante a educação básica como os conteúdos clássicos da Física, conforme exposto por D'Agostin (2008). Esta constatação nos convida a revisar o MI de modo a apresentar ao aluno mais exemplos relacionados ao Efeito Fotoelétrico.

Considerando a utilização dos MC's iniciais e finais como ferramentas de avaliação (pré-teste e pós- teste), vamos analisar estatisticamente a evolução das pontuações obtidas pelos alunos em tais mapas. Na Figura 4.4 abaixo temos a comparação entre as pontuações dos mapas iniciais e finais através de *boxplots*.

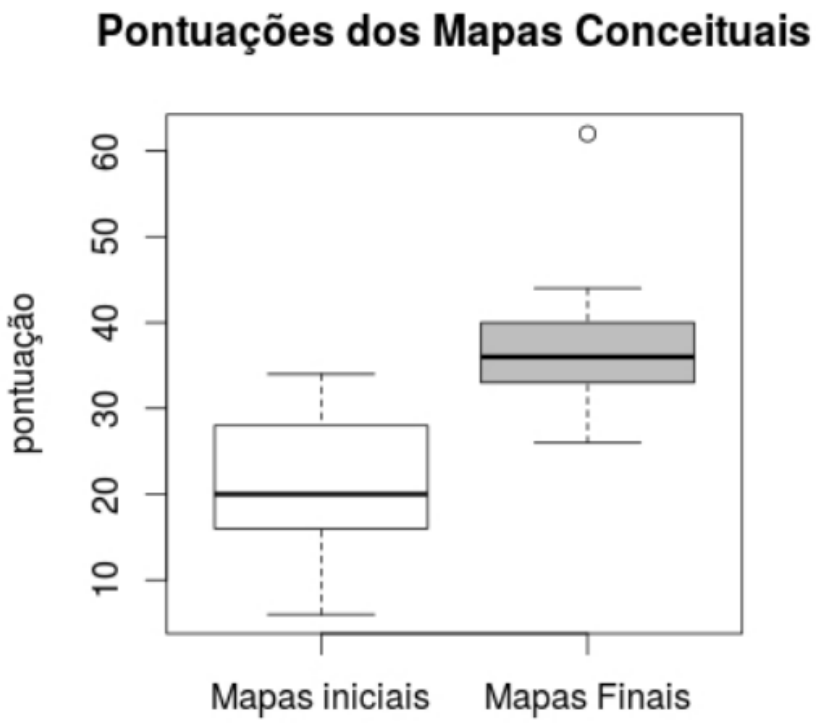


Figura 4.4: *Boxplots* comparando as pontuações dos mapas iniciais e finais.

O gráfico chamado *Boxplot*, apresenta alguns parâmetros descritivos de um conjunto de dados. Neste tipo de gráfico, 50% dos valores do conjunto de dados encontram-se no retângulo, a linha no meio do retângulo indica a mediana, as linhas que representam o lado inferior e superior do retângulo indicam, respectivamente, o primeiro e o terceiro quartil, enquanto as linhas fora do retângulo informam sobre a cauda da distribuição. O pequeno círculo representa um *outilier*, que nada mais é do que um ponto com um afastamento muito grande dos demais pontos de uma série de dados.

Os gráficos *boxplots* da Figura 4.4 indicam que o desempenho dos alunos na confecção dos mapas finais, em média, foi maior que o desempenho destes mesmos alunos ao confeccionar os mapas iniciais. Podemos perceber também que, a distribuição das pontuações nos mapas finais apresentam um distribuição quase simétrica, enquanto a distribuição das pontuações nos mapas iniciais indica uma assimetria positiva.

Continuando a análise estatística, vamos comparar os rendimentos dos alunos nas pontuações dos mapas iniciais e finais utilizando o teste *Wilcoxon Signed Rank Test.*

A hipótese nula a ser testada é:

H_0 = Os rendimentos dos alunos no mapa inicial e final são os mesmos.

Na Tabela 4.4, temos os resultados do teste estatístico *Wilcoxon Signed Rank Test*.

Tabela 4.4: Resultados do Teste de Wilcoxon.

Mapas	**Média**	**DP**	**N**	**P-valor**
Inicial	21,31	9,20	13	0,0025
Final	36,92	9,31	13	

DP = Desvio Padrão; **N** = N° de Mapas.

Como o p-valor é menor que 0,05, rejeitamos a hipótese nula, então podemos inferir que existe uma diferença estatisticamente significativa entre as médias das pontuações dos alunos nos mapas finais em relação aos mapas iniciais.

Olhando agora para o critério Qualidade do Mapa, na última coluna da Tabela 4.1, pode-se perceber a evolução após a aplicação do MI.

A Tabela 4.5 apresenta os percentuais de mapas iniciais e finais classificados nas categorias da seção 3.6.1

Tabela 4.5: *Número e percentual de* MC *desenvolvidos pelos estudantes antes e depois da instrução classificados quanto à qualidade dos Mapas (QM).*

Qualidade dos Mapas	MD (%)	MR (%)	MB (%)	Total (%)
Mapa inicial	10 (76,9%)	3 (23,1%)	0 (0,0%)	13 (100%)
Mapa final	2 (15,4%)	8 (61,5%)	3 (23,1%)	13 (100%)

Legenda: **MD** = Mapa Deficiente; **MR** = Mapa Regular; **MB** = Mapa Bom.

A Figura 4.5 apresenta os resultados da comparação entre as qualidades dos iniciais e finais através de um gráfico de barras.

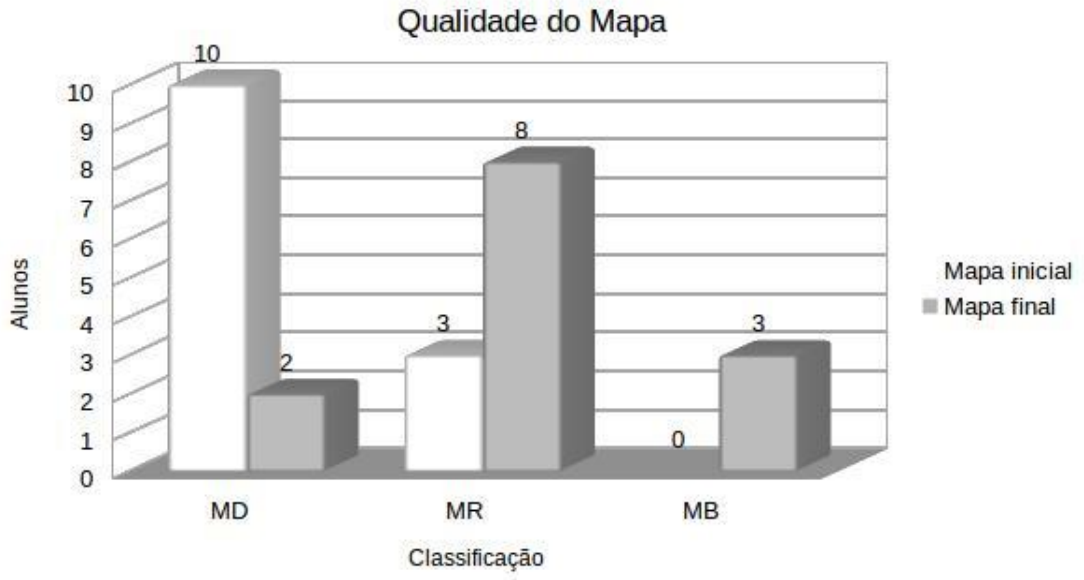


Figura 4.5: Gráfico de barras comparando a Qualidade dos Mapas.

Lançando um olhar sobre os dados da Tabela 4.5, percebemos uma evolução das qualidades dos MC's após a aplicação do MI, observe que quantidade de mapas que pertenciam a categoria de Mapa Deficiente (MD) foi reduzida nos mapas finais e a categoria Mapa Bom, que não possuía representantes entre os mapas iniciais, passou a ter 3 mapas finais enquadrados nessa categoria.

Essa melhora nas qualidades dos mapas finais em relação aos iniciais pode ser relacionada ao aumento na quantidade de Níveis Hierárquicos, pois segundo os critérios apresentados no Quadro 3.4, da seção 3.7.1, quanto mais hierarquizado um mapa melhor sua categorização no critério Qualidade do Mapa. Além disso, conforme visto na Tabela 4.3, a relação entre as Proposições Válidas e o Total de Proposições é maior nos mapas finais do que nos mapas iniciais, influenciando positivamente a classificação da Qualidade dos Mapas finais.

O critério para a classificação dos Mapas quanto a sua Qualidade apresenta três níveis. Assim, compilamos na Tabela 4.6 as mudanças ocorridas em relação à Qualidade dos Mapas inicial e

final e realizamos o Teste Stuart-Maxwell para homogeneidade marginal, com o objetivo de avaliar diferenças neste critério entre os dois mapas elaborados pelos alunos.

Tabela 4.6: Mudanças na classificação dos mapas quanto à Qualidade do Mapa.

		QM FINAL			
		MB	**MR**	**MD**	**Total**
QM INICIAL	**MB**	0	0	0	0
	MR	1	2	0	3
	MD	2	6	2	10
	Total	3	8	2	13

***QM**: Qualidade do Mapa: **MB**: Muito Bom. **MR**: Regular. **MD**: Deficiente.*

Na tabela acima, o numero 1 (um) da primeira coluna e segunda linha significa que, o mapa inicial de um aluno foi classificado como regular (MR) e o mapa final deste mesmo aluno foi classificado como mapa bom (MB). Esta mesma leitura pode ser estendida para as demais células da referida tabela.

A hipótese nula do Teste de Stuart-Maxwell é:

H_o = Não existe diferenças quanto ao critério Qualidade do Mapa (QM) entre os Mapas Conceituais iniciais e Finais.

Na Tabela 4.7 apresentamos o resultado do Teste de Stuart-Maxwell.

Tabela 4.7: Resultado da análise do Teste de Stuart-Maxwell.

Variável	(X^2)	$X^2_{0,05}$	df	p-valor
Qualidade do Mapa	8,4	0,103	2	0,015

***X^2**: Qui-quadrado **df**: grau de liberdade.*

Para grau de liberdade 2 (df=2), o valor esperado para Qui-quadrado (X^2), a nível de significância 0,05 é de 0,103 ($X^2_{0,05}$= 0,103). Como $X^2 > X^2_{0,05}$, rejeitamos a hipótese nula, ou seja, existe uma diferença quanto ao critério Qualidade do Mapa (QM) entre os Mapas Conceituais iniciais e finais. Os resultados encontrados no Teste de Stuart-Maxwell e os resultados do gráfico da Figura 4.5, fornecem indícios da influência do uso do MI na promoção de aprendizagem significativa dos conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico, que resultou em mapas finais melhores.

4.1.2 – Discussão dos Conceitos Presentes nos Mapas Conceituais

Todos os conceitos presentes nos MC's iniciais e finais elaborados pelos alunos foram contabilizados e classificados com o objetivo de investigar os subsunçores que os alunos possuíam antes da aplicação do MI, os conceitos adquiridos após a intervenção e indícios da realização de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

Os conceitos são expressos por palavras e expressões específicas cientificamente aceitas, mas os alunos podem expressá-los através de sinônimos ou expressões equivalentes. Assim, criamos o Quadro 4.1 associando cada conceito as suas palavras ou expressões equivalentes encontradas nos MC's elaborados pelos alunos.

A elaboração do Quadro 4.1 requereu atenção especial ao agrupar algumas palavras, como por exemplo, a palavra elétron, ela pode tanto representar o conceito de carga elétrica quanto o conceito de fotoelétrons, dependendo da sua posição no mapa ou da maneira com que ela foi ligada a outros conceitos.

Conceitos	Palavras ou expressões equivalentes
Carga elétrica	Corpos carregados; Positiva; Negativa; Prótons; Elétrons.
Eletrização	Neutraliza; Não altera a carga; Eletrização por atrito; Eletrização por contato; Eletrização por indução; Carregado positivamente; Carregado negativamente.
Ondas eletromagnéticas	Espectros visíveis; Luz branca; Luz ultravioleta; Branca; Ondas eletromagnéticas; Radiação eletromagnética; Ultravioleta; Luz sobre elétrons; Radiação da luz; Radiação luminosa; Radiações; Eletromagnética; Energia eletromagnética.
Quantum de energia	Energia incidente; Energia quântica; Energia da luz incidente; Energia.
Constante de Planck	Planck; Teoria de Planck.
Fótons	Fóton; Partícula.
Limiar de frequência	Frequência de corte, Frequência mínima; Frequência adequada; $f_{0.}$
Função trabalho	Energia mínima; Energia mínima exigida; Φ.
Fotoelétron	Elétrons arrancados; Emissão de elétrons; Elétrons; Arranca elétrons; Quantidade de elétrons arrancados.
Energia cinética máx.	Energia cinética; Velocidade dos elétrons; $E_{C.}$
Dualidade da Luz	Dualidade; Onda-Partícula; Dualidade onda partícula.
Cientistas	Hertz; Lenard; Planck; Einstein.
Ondas em geral	Meio material; Ondas; Mecânica; Energia mecânica; Transversais; Longitudinais; Vácuo.
Outros	Indiferente; Metal; Metais; Trabalho; Resistência.

Quadro 4.1: Conceitos e seus equivalentes encontrados nos MC's.

Neste trabalho identificamos entre os conceitos considerados válidos, não só conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico, mas conceitos relacionados à eletricidade, à ondulatória e alguns sem definição, de modo que, resolvemos agrupa-los com base na teoria dos campos conceituais de Vergnaud.

> Campo conceitual é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição. (VERGNAUD apud MOREIRA 2002, p. 8).

Isto posto, analisamos as frequências dos conceitos válidos presente nos MC's iniciais e finais dos alunos respeitando as relações descritas no Quadro 4.1, agrupando-os de acordo com o campo conceitual ao qual pertencem, como podemos ver na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Quantidade de ocorrências dos conceitos válidos presentes nos MC's.

Campo conceitual	Conceitos	Mapas iniciais	Mapas Finais
Efeito Fotoelétrico	Efeito fotoelétrico	13	13
	Quantum de Energia	0	4
	Constante de Planck	0	4
	Fótons	2	6
	Limiar de Frequência	0	8
	Função Trabalho	0	7
	Fotoelétron	1	11
	Energia Cinética máxima	0	15
	Dualidade da Luz	0	4
	Lapso de tempo	0	2
Ondas eletromagnéticas	Ondas eletromagnéticas	20	17
	Amplitude da onda	2	1
	Comprimento de onda	2	1
	Intensidade da luz	7	7
	Frequência da luz	6	14
Eletrização	Carga elétrica	14	1
	Eletrização	19	4
	Corrente elétrica	0	3
Outros	Física clássica	0	3
	Física moderna	0	2
	Cientistas	0	0
	Ondas em geral	5	5
	Outros	0	4
	TOTAL	91	136

A Tabela 4.9, mostra como foi a evolução de conceitos nos mapas finais em relação aos mapas inicias para cada campo conceitual.

Tabela 4.9: Percentuais de Conceitos válidos por Campo Conceitual.

Campo Conceitual	MAPA INICIAL	MAPA FINAL
Efeito Fotoelétrico	17,6%	54,4%
Ondas Eletromagnéticas	40,7%	29,4%
Eletrização	36,3%	5,9%
Outros	5,5%	10,3%
TOTAL	**100%**	**100%**

Podemos observar que os conceitos relacionados ao campo conceitual do efeito fotoelétrico sofreram uma evolução, passando de 17,6% para 54,4 % dos conceitos válidos, enquanto os conceitos classificados como Outros, apesar de também aumentarem, passaram a representar apenas 10,3% dos conceitos válidos dos mapas finais. Já os conceitos relacionados aos campos conceituais de Ondas Eletromagnéticas e Eletrização apresentaram redução de frequências nos mapas finais em relação aos iniciais, em especial os conceitos relacionados à Eletrização, pois passaram de 36,6% dos conceitos válidos para 5,9%. Essas mudanças podem ter sido influenciadas pelo uso das simulações e experimentos presentes no MI, que relacionaram a frequência e intensidade da luz com a ocorrência do efeito fotoelétrico, fomentando a diferenciação progressiva e reconciliação integradora dos conceitos relacionados à Ondas eletromagnéticas. Logo, ao vincular à frequência da luz a ocorrência ou não do efeito fotoelétrico, através do conceito limiar de frequência, os alunos deixaram de atribuir cargas elétricas à luz como causa do efeito fotoelétrico.

Destacamos que, além do aumento da frequência de conceitos sobre efeito fotoelétrico trabalhados na aplicação do MI nos MC's finais, tivemos o aparecimento de conceitos sobre o tema estudado que não foram colocados nos mapas iniciais. Provavelmente os conceitos sobre o efeito fotoelétrico que só aparecem nos MC's finais não faziam parte dos subsunçores dos alunos, indicando uma possível contribuição do MI.

4.2 - Análise da Avaliação Somativa Individual

Para verificar se a aplicação do MI proporcionou ao aluno a compreensão, explicação e aplicação do novo conhecimento na resolução de situações-problemas diferentes daquelas discutidas ao longo da instrução é sugerido a realização de uma avaliação somativa individual, a ser aplicada no final da utilização do MI. Assim, nesta seção serão analisados os resultados da aplicação desta avaliação (MOREIRA, 2011c).

A avaliação aplicada aos alunos é composta de dez questões retiradas de vestibulares, sendo 7 questões de múltipla escolha com apenas uma opção correta, 2 questões de múltipla escolha com mais de uma opção correta e 2 questões discursivas. Ela está disponível para consulta no Apêndices I do MI. Esta avaliação somativa individual também fez parte dos instrumentos de avaliação dos alunos na disciplina de Física, no segundo semestre de 2014.

Para sua correção e pontuação, utilizou os seguintes critérios: 1 ponto para cada questão correta, 0,5 ponto para cada questão parcialmente correta e nenhum ponto para as questões incorretas ou em branco. Ressaltamos que apenas três questões podem ser classificadas como parcialmente corretas, as questões 2 e 6 por serem discursivas e as questões 8 e 9 por serem de múltipla escolha com mais de uma alternativa correta. Na Tabela 4.10 apresentamos os resultados da correção da Avaliação Somativa Individual de cada aluno.

Tabela 4.10: Resultados obtidos pelos alunos na Avaliação Somativa Final.

Alunos	**QUESTÕES DA AVALIAÇÃO SOMATIVA FINAL**										**Nota**
	1	**2***	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8***	**9***	**10**	
A1	C	C	C	C	I	I	I	PC	PC	C	6,0
A2	C	PC	C	C	C	I	C	C	C	C	8,5
A3	C	C	C	C	I	I	C	C	C	C	7,0
A4	C	C	C	C	I	C	C	I	C	C	8,0
A5	C	PC	C	I	C	I	I	C	PC	C	6,0
A6	C	I	C	C	C	I	I	PC	PC	C	6,0
A7	C	I	C	C	I	I	C	I	C	C	6,0
A8	C	C	I	C	I	I	C	PC	PC	C	6,0
A9	C	C	C	C	C	I	C	PC	C	C	8,5
A10	C	PC	I	C	I	I	I	C	PC	I	4,0
A11	C	C	I	C	C	I	C	PC	C	C	7,5
A12	C	C	I	I	I	I	I	I	PC	C	3,5
A13	C	C	C	C	C	I	C	PC	PC	C	8,0
Média da Turma											**6,5**

Legenda: C - correta, PC - Parcialmente correta, I - Incorreta ou em branco.* Questões que admitem respostas parcialmente corretas.

Uma análise mais geral destes resultados no permite observar que apenas dois alunos (15%) obtiveram notas abaixo de 6,0 e dos onze alunos restantes, tivemos 6 que alcançaram notas acima de 6,5, ou seja, 46% dos alunos possuem nota acima da média da própria turma. A média obtida pela turma foi de 6.5, o que consideramos como um bom resultado, pois nas instituições de ensino médio brasileiras, particulares ou públicas, a média para aprovação em geral é 6,0 ou 60% de aproveitamento. Em outras palavras, podemos dizer que este é mais um indício de que o MI proporcionou uma aprendizagem significativa dos conceitos relacionados ao tema efeito fotoelétrico.

Com o objetivo de verificar se as notas na avaliação somativa final possuem correlação com a classificação dos mapas quanto ao critério Qualidade do Mapa utilizamos a análise de variância (ANOVA).

A hipótese nula a ser testada é:

H_0: O critério Qualidade do Mapa não está correlacionado a nota obtida na avaliação somativa.

Os resultados da ANOVA e alguns dados de estatística descritiva encontram-se na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Análise de Variância (ANOVA) e dados de Estatística Descritiva.

Fator	Classificação Mapa Final	N	Média	DP	F	p-valor
Qualidade	MB	3	7,50	1,32	0,994	0,404
	MR	8	6,06	1,68		
	MD	2	7,00	1,41		

N**: Número de alunos, **DP**: Desvio Padrão, **F: Estatística de Teste.

Para o nível de significância de 5%, aceitamos a hipótese nula, ou seja, o critério Qualidade do Mapa não está correlacionado com a nota obtida na avaliação somativa, pois a análise de variância apresentou um p-valor alto (0,404). Este resultado não corrobora o encontrado por Silva, R. (2015), que comprovou estatisticamente que o critério Qualidade do Mapa possuía correlação com as notas dos alunos relativas às questões do Pós-teste. Observa-se também que, entre os dois alunos com mapas classificados como deficiente (MD), o aluno A4 obteve média alta na avaliação somativa (8,0), conforme visto na Tabela 4.10. Este fato, junto com uma amostra pequena (13 alunos), influenciou o p-valor.

Com base nos dados da Tabela 4.10, compilamos os índices de acertos por Questão, que estão listados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Índice de Acertos por Questão da Avaliação Somativa.

Índice de Acertos por Questão (%)										
	1	**2***	**3**	**4**	**5**	**6***	**7**	**8***	**9***	**10**
C	100,0	61,5	69,0	85,0	46,0	7,7	61,5	23,1	46,2	92,3
I	0,0	15,4	30,8	15,4	53,8	92,3	38,5	30,8	0,0	7,7
PC	-	23,1	-	-	-	-	-	46,2	53,8	-

Legenda: C - correta, I - Incorreta ou em branco, PC - Parcialmente correta. *As questões que admitem respostas parcialmente corretas.

Notamos que as questões 5, 6, 8 e 9 possuem índice de acerto abaixo de 50%, lembrando que duas delas do (8 e 9) são do tipo múltipla escolha com mais de uma opção correta o que dificulta o acerto ao acaso.

A questão 6 apresentou o mais baixo índice de acerto entre as 10 questões da avaliação, e foi considerada pelos alunos a mais difícil de toda a avaliação. Acreditamos que este resultado se deve à necessidade de cálculos para transformações das unidades de energia (elétron-volt e Joule) e as associações entre a potência e área de absorção para a radiação incidente. Mesmo tendo trabalhado a unidade elétron-volt no material, resolvemos fazer modificações na referida questão para a versão do MI que acompanha essa dissertação de modo a tornar o enunciado mais claro.

As questões 2, 3, 7 apresentaram índice de acerto entre 60% e 80% e as questões 1, 4 e 10 apresentaram índices de entre 80% e 100%. Analisando os enunciados destas questões observamos que a questão 2 é uma discursiva que aborda em boa parte dela os conteúdos relacionados a eletrização, enquanto as demais, apesar de abordarem conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico apresentam enunciados mais claros.

As análises das questões com base nos índices de acertos, nos levou a recordar que o MI é potencialmente significativo, possuindo pontos positivos e pontos negativos, como qualquer material, mas que a avaliação também deve estar alinhada com a proposta de trabalho sugerida pelo MI. Assim, do mesmo modo que aluno é levado a realizar uma avaliação recursiva, o mesmo princípio deve ser adotado pelo professor em relação a elaboração e aplicação do MI.

Outra análise realizada, tendo como base os resultados da avaliação somativa foi a relação entre o resultado da avaliação somativa e a assimilação dos conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico.

Observando o Quadro 3.6 na página 39, sabemos quais conceitos foram cobrados em cada questão e consultando a Tabela 4.10 na página 55 temos os índices de acertos por cada questão, então, relacionando as informações do Quadro 3.6 com os dados da Tabela 4.10, obtemos os índices de acertos por conceitos que, após serem compilados foram organizados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13: Índice de Acertos por Conceito.

Índice de Acertos por Conceito(%)											
	Ondas Eletromagnéticas	Quantum de Energia	Fóton	Constante de Planck	Fotoelétron	Função Trabalho	Limiar de frequência	Energia Cinética Máxima	Dualidade da Luz	Carga elétrica	Eletrização
C	51,0	59,2	64,1	36,5	69,2	64,8	64,6	58,5	46,2	61,5	53,8
I	33,6	28,6	32,1	51,9	23,1	17,6	10,8	21,5	53,8	23,1	7,7
PC	15,4	12,3	3,8	11,6	7,7	17,6	24,6	20,0	0,0	15,4	38,5

Legenda: C - correta, I - Incorreta ou em branco, PC - Parcialmente correta.

De um modo geral, a maioria dos conceitos trabalhados no MI e cobrados nas questões da avaliação somativa apresentaram índice de acertos acima de 50%, mostrando consistência com a média geral obtida pela turma. A exceção foi para os conceitos de Constante de Planck e Dualidade da luz, com índices 36,5% e 46,2%, respectivamente. Estes índices sugerem que deve-se avaliar a forma como eles foram apresentados no MI e discutidos ao longo das aulas.

Para a seção que contém as discussões sobre a Constante de Planck, entendemos que devem ser acrescentados mais exercícios resolvidos envolvendo cálculos, pois das 4 questões da avaliação somativa que abordam a constante de Planck 3 delas o fazem através de cálculos.

No caso do conceito Dualidade da luz, avaliamos que a seção que trata do mesmo é muito pequena, apesar do índice de acerto ser igual a 46,2% foi o único que não obteve respotas com classificação Parcialmente Correta (PC). Assim, acreditamos que a inclusão de alguns exercícios propostos, possa trazer mais clareza para o entendimento dos alunos sobre o referido conceito.

Utilizando os resultados desta análise como subsídio e visando melhoria da qualidade do MI desenvolvido a ser disponibilizado para possível utilização por outros professores, estas mudanças serão implementadas na versão final do MI que será publicado como anexo destacável a esta dissertação.

4.3 - Análise das Respostas Dadas às Perguntas Inseridas no MI

Conforme foi descrito na seção 3.6.2, ao longo do MI foram inseridas sete perguntas com espaço para resposta e possível correção da mesma. A dinâmica consiste em solicitar ao aluno

que leia a questão e responda de acordo com o seu entendimento sobre o assunto. Em seguida, o professor deve promover uma discussão sobre as respostas apresentadas e cada aluno deve decidir se deve ou não corrigir a resposta dada inicialmente, em espaço adequado. Estas atividades visam promover a consolidação dos conteúdos através da negociação de significados possibilitada pela atividade (MOREIRA, 2011a).

De posse das respostas dadas pelos alunos a cada uma das questões utilizamos o método de Análise de Conteúdo proposto por Bardin (1977) e segundo os critérios de correção apresentados no Quadro 3.5 na página 38, elaboramos uma classificação das respostas cujos resultados estão apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Categorização das respostas dadas as perguntas do MI.

Aluno	**Perguntas Inseridas no Material Instrucional.**						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
A1	I	C	C	C	I	PC	B
A2	I	C	C	C	C	C	C
A3	I	I	C	C	C	I	C
A4	PC	B	C	B	I	C	I
A5	C	I	C	I	I	C	I
A6	I	I	C	C	I	C	C
A7	I	I	C	B	I	C	I
A8	I	B	C	C	I	I	I
A9	I	C	C	C	I	C	C
A10	I	I	B	B	I	I	B
A11	I	C	C	C	I	C	B
A12	I	I	C	C	I	C	C
A13	I	I	C	C	C	C	I

Legenda: C - correta, PC - Parcialmente Correta, I - Incorreta, B - Em Branco.

Com base na Tabela 4.14, obtemos os índices de acertos por perguntas mostrados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15: Índice de Acertos por pergunta do MI.

Índice de Acertos por pergunta (%)							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
C	7,7 %	30,8%	92,3%	69,2%	23,1%	69,2%	38,5%
PC	7,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	0,0%
I	84,6%	53,8%	0,0%	7,7%	76,9%	23,1%	38,5%
B	0,0%	15,4%	7,7%	23,1%	0,0%	0,0%	23,0%

Legenda: C - correta, PC - Parcialmente Correta, I – Incorreta, B - Em Branco.

Ao observar a Tabela 4.15, notamos que o índice respostas corretas passa de 7,7% na primeira pergunta para 30,8% na segunda pergunta, possivelmente motivado pelo primeiro momento de negociação de significados proporcionado pelas perguntas inseridas no MI. Já no caso das perguntas 3 e 4, o alto índice de acerto parece se dever aos recursos utilizados imediatamente antes de responde-las, pois, as simulações forneceram dados numéricos ao alunos.

O segundo menor índice de acerto é o da questão 5, o que pode ser justificado pela sua complexidade, pois nesta pergunta é solicitado ao aluno formular uma explicação para o efeito fotoelétrico após a realização das atividades propostas até a seção 1.5 do MI. Para chegar a essa seção do MI, o aluno foi confrontado com as previsões da teoria eletromagnética clássica que os resultados de exercícios e simulações colocaram em xeque, solicitando do aluno um esforço cognitivo mais elevado do que todas as outras perguntas.

Ainda com base nos dados da Tabela 4.14, elaboramos também um índice de acertos por aluno e os resultados estão mostrados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Índice de Acertos por Aluno.

Aluno	**Respostas às perguntas inseridas no MI**			
	Corretas	**PC**	**Incorretas**	**Branco**
A1	42,8%	14,3%	28,6%	14,3%
A2	85,7%	0,0%	14,3%	0,0%
A3	57,1%	0,0%	42,9%	0,0%
A4	28,6%	14,3%	28,6%	28,5%
A5	42,9%	0,0%	57,1%	0,0%
A6	57,1%	0,0%	42,9%	0,0%
A7	28,6%	0,0%	57,1%	14,3%
A8	28,6%	0,0%	57,1%	14,3%
A9	71,4%	0,0%	28,6%	0,0%
A10	0,0%	0,0%	57,1%	42,9%
A11	57,1%	0,0%	28,6%	14,3%
A12	57,1%	0,0%	42,9%	0,0%
A13	57,1%	0,0%	42,9%	0,0%

Analisando esses resultados observamos que 7 alunos (53,8%) apresentaram índice de acerto acima de 50,0%, e os demais alunos (46,2%) acertaram menos da metade das questões, inclusive com uma aluno sem nenhum acerto. A média de acertos obtida pela turma foi de 47,2%. Observa-se ainda que, entre os alunos com índice de acertos abaixo de 50,0%, os alunos A4 e A10 apresentaram índices altos de respostas em branco.

Para verificar se a nota da Avaliação somativa final tem relação com os índices de acertos nas perguntas inseridas ao longo do MI, realizamos o teste estatístico da correlação de *Spearman*.

O teste de correlação de *Spearman* mede a intensidade da relação entre variáveis ordinais através de um coeficiente (ρ) que varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1, mais diretamente correlacionadas são as variáveis, um zero significa ausência de correlação e quanto mais próximo de -1 mais as variáveis estão inversamente correlacionada. No Quadro 4.2 apresentamos a classificação das correlações proposta por Santos (2007).

Coeficiente de Correlação	Correlação
$\rho = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq \rho < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq \rho < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq \rho < 0,5$	Fraca positiva
$0 < \rho < 0,1$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,1 < \rho < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < \rho \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < \rho \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < \rho \leq -0,8$	Forte negativa
$\rho = -1$	Perfeita negativa

Quadro 4.2: Classificação das Correlações. *Fonte: Santos (2007)*

Na Tabela 4.17 apresentamos o resultado do teste, com nível de significância de 5%.

Tabela 4.17: Resultados do teste de correlação de Spearman

Variável	Média	DP	ρ	p-valor
Índice de acerto nas perguntas	0,472	0,221	0,560	0,0465
Nota na Avaliação Somativa	6,538	1,587		

Segundo a classificação da correlação linear proposta por Santos (2007), o índice de acertos das perguntas e a nota apresentam uma correlação **moderada positiva**, ou seja, existe uma relação entre o índice de acertos nas perguntas inseridas no MI e a nota obtida na Avaliação Somativa Individual. Esse resultado diverge do encontrando por Silva. R. (2015), pois para um nível de significância de 5% (p = 0,05),o mesmo não encontrou uma correlação estatística significativa entre o índice de acerto nas perguntas inseridas ao longo do MI e a notas do pós-teste. Para um nível de significância de 10% (p = 0,10), Silva. C. (2014) também não encontrou relação entre os índices de acertos das questões inseridas no MI e as notas dos alunos no pós-teste.

Por fim apresentamos também algumas respostas dadas pelos alunos às perguntas, com o objetivo de discutir as concepções alternativas e investigar como transcorreu o processo de diferenciação progressiva, reconciliação integradora e negociação de significados durante a aplicação do MI.

Na seção 1.1 do MI, Introdução, são feitas duas perguntas logo após o momento em que revisitamos o vídeo 3, que mostra os efeitos da luz ultravioleta e da luz branca em um eletroscópio carregado negativamente, repetindo o experimento logo em seguida, para o eletroscópio carregado positivamente. Vejamos algumas respostas dadas pelos alunos a primeira pergunta durante a sétima aula da intervenção.

Pergunta 1: Por que a luz ultravioleta é capaz de "expulsar" o elétrons e a luz branca não?

Apenas o aluno A5 respondeu corretamente a primeira pergunta presente no MI dizendo que a frequência da luz ultravioleta é maior que a da luz branca. O aluno A4 respondeu que a frequência da luz ultravioleta era a responsável, mas não especificou se era maior ou menor.

Mas, analisando as respostas incorretas, observamos que 6 alunos (A1, A6, A7, A8, A10 e A13) apresentaram respostas que atribuíram à luz a capacidade de transportar cargas elétricas, como podemos ver na resposta do aluno A7:

> ***Resposta do aluno A7:*** *"Porque a luz ultravioleta é carregada eletricamente positiva, logo ela em contato com os elétrons, tende a ficar neutro. A luz branca acontece o mesmo processo, porém o contrário."*.

Os alunos (A3, A11 e A12), associaram a intensidade da luz como causador do efeito fotoelétrico, vejamos uma resposta com essa característica.

> ***Resposta do aluno A11:*** *"Sua intensidade é superior, o que descarrega o eletroscópio."*.

Tivemos ainda um aluno, A9, atribuindo à amplitude da luz ultravioleta, a causa do efeito fotoelétrico.

> ***Resposta do aluno A9:*** *"Pois a amplitude e a frequência das luz ultra violeta e luz branca são e influencia nas cargas elétricas."*

Uma resposta que chamou a atenção foi dada pelo aluno A2, pois não articulou corretamente nem os conceitos acerca da propagação da luz, como pode ser observado na transcrição abaixo:

> ***Resposta do aluno A2:*** *"Porque ela se propaga no meio, concentradamente, enquanto a luz branca se propaga no vácuo, independe do meio. Os elétrons são móveis nos átomos."*.

Agora, vamos investigar as respostas dadas à segunda pergunta da seção 1.1, na sétima aula.

Pergunta 2: Por que a luz branca e a ultravioleta não são capazes de "descarregar" o eletroscópio positivamente carregado?

Nesta pergunta obtivemos quatro respostas corretas (A1, A2, A9 e A11), um aumento em comparação ao obtido na pergunta anterior. Provavelmente, após a negociação de significados realizada na discussão e apresentação resposta correta da primeira pergunta, esses quatro alunos foram instigados a rever suas próprias concepções a respeito da causa do efeito fotoelétrico. Dois alunos (A4 e A8), deixaram o espaço para a resposta em branco, possivelmente por não apresentarem segurança em responder, após serem confrontados com a resposta correta na primeira pergunta.

Os alunos A3, A7, A12 e A13, insistiram na resposta em que a luz transporta carga elétrica para carregar ou neutralizar os eletroscópios, como podemos ver na resposta do aluno A13:

> ***Resposta do aluno A13:*** *"As cargas positivas do eletroscópio seriam atraídas pelas cargas negativas da luz ultravioleta, portanto não expulsa os elétrons.".*

Quanto aos 3 outros alunos (A5, A6 e A10), os dois primeiros tentam associar a frequência, mas o fazem de forma inadequada, enquanto o terceiro deixa seu pensamento em aberto:

> ***Resposta do aluno A10:*** *"porque assim como o eletroscópio a luz é...".*

A pergunta 3, na seção 1.4, trabalhada durante a nona aula, foi associada a simulações interativas e apresentou alto índice de acerto, salvo o caso do aluno A10, que precisou se ausentar antes do término da simulação e deixou em branco a resposta da pergunta 3.

Pergunta 3: Qual luz apresentou a maior frequência?

A pergunta número quatro da seção 1.5, na décima aula, aborda a previsão da teoria eletromagnética para explicação do efeito fotoelétrico confrontando com o que foi observado no vídeo 3.

Pergunta 4: Lembrando-se do vídeo 3 e considerando o que foi realizado nas atividades propostas neste material, o que você diria sobre a previsão da teoria do eletromagnetismo e o que você observou?

Três alunos deixaram a pergunta 4 em branco e apenas um aluno respondeu incorretamente escrevendo uma frase que parece faltar uma parte, reproduzindo o que foi constatado na resposta da pergunta 3, o que podemos confirmar olhando o recorte abaixo;

> ***Resposta do aluno A10****: "As partes que compõe a luz branca é a mais forte e a que tem maior frequência é a azul sendo".*

Na quinta pergunta, ainda na décima aula, o aluno é instruído a formular uma explicação do efeito fotoelétrico após o uso da simulação e posterior discussão dos resultados:

Pergunta 5: Formule uma explicação para ocorrência do efeito fotoelétrico com base nas simulações computacionais interativas e atividades realizadas ao longo do material?

Apenas 3 alunos formularam explicações classificadas como corretas, os outros 10 alunos responderam de forma incorreta, nenhuma resposta foi considerada parcialmente correta. Entre as respostas incorretas, algumas relacionavam a frequência de maneira errônea, outras apenas definiam o que é o efeito fotoelétrico sem relacionar as grandezas estudadas as causas e/ou efeitos, resultando em explicações simples e rasas, como por exemplo, a resposta categorizada como errada dada pelo aluno A11.

> ***Resposta do aluno A11:*** *"O efeito ocorre quando se incide uma luz sobre a superfície de um metal.".*

As perguntas 6 e 7 da seção 1.9, trabalhadas na décima segunda aula, estão relacionadas ao experimento para determinar o valor da constante de Planck.

Pergunta 6: Pela tabela 5 percebemos que o valor da tensão para a qual a corrente deixa de ser nula são diferentes para cada led. Por que você acha que isso acontece?

Desta vez, nove alunos responderam corretamente, o aluno A1 escreveu uma resposta classificada como parcialmente correta, pois apesar de relacionar a tensão e a energia, não deixou claro qual a relação entre as cores (frequências e a energia). Quanto às respostas incorretas, o aluno A8 disse que a tensão é diretamente proporcional a frequência, com a frequência ocupando o lugar da corrente medida no experimento e o aluno A10 respondeu que a intensidade da luz é proporcionada pela cor e o aluno A3 fez menção a uma quantidade de energia cinética, mas não a relacionou com a frequência (cor) ou a tensão.

> ***Resposta do aluno A3****: "Porque há diferença na quantidade de energia cinética necessária para fazer cada tipo de led acender.".*

Na pergunta sete, após realizar todas as medidas e plotar os gráficos dos led's, é pedido para que o aluno aponte as diferenças e o significado matemáticos das mesmas no processo de cálculo da constante de Planck, que foi calculada de duas maneiras diferentes.

Pergunta 7: Quais as principais diferenças entre os 3 gráficos? Como podemos explicar matematicamente estas diferenças?

Três alunos deixaram em branco, cinco responderam de forma correta e os cinco alunos restantes apresentaram respostas incorretas, descrevendo apenas uma diferença nas características dos gráficos sem explicações, como por exemplo, as respostas dos alunos A5 e A8:

> ***Resposta do aluno A5****: "A diferença de corrente."*.
>
> ***Resposta do aluno A8****: "As distâncias entre os pontos marcados nos gráficos."*.

Após a análise das respostas dadas pelos alunos às perguntas inseridas no MI, notamos que, a quantidade de respostas que utilizavam ideias associadas ao campo conceitual eletrização diminuíram, sendo substituídas por respostas conciliando os campos conceituais do efeito fotoelétrico e ondas eletromagnéticas. Essa observação mostra que o MI ajudou na diferenciação progressiva dos conceitos ligados ao campo conceitual das ondas eletromagnéticas em conjunto com o campo conceitual do efeito fotoelétrico.

Porém, no caso da pergunta 3, associada a uma simulação, deveria ter sido feita antes da realização da atividade e só depois ter sua resposta confrontada com o resultado para promover a negociação de significados, mudança que foi implementada na versão final do MI que acompanha esta dissertação.

4.4 - Análise das Anotações Pessoais sobre a Aplicação do MI

Ao assumir a turma e comunicar nossa intenção de utilizar pequenos vídeos, experimentos, simulações e novas técnicas de ensino/avaliação, os alunos foram tomados por um grande entusiasmo, pela possibilidade experimentar algo diferente da rotina. Mas, a possibilidade de participar efetivamente das aulas, demonstrando aquilo que aprenderam e não apenas cobrados pelo que erravam, trouxeram um clima de trabalho agradável, lembrando que eu tinha acabado de assumir uma turma no final do ano letivo.

A introdução do mapa conceitual foi bem recebida pela turma, principalmente por utilizarmos conteúdos comuns às matérias técnicas, como a primeira Lei da Termodinâmica e Hidrostática. Porém, na elaboração do mapa conceitual inicial sobre Efeito fotoelétrico alguns alunos demonstraram sentir saudades dos métodos tradicionais, pois não tinham recebido as definições como tradicionalmente acontece nos materiais didáticos tradicionais.

Essa observação sugere que deveríamos ter feitos mais MC's com os alunos para que os mesmos adquirissem segurança em utilizar esta nova técnica. Mas, como conciliar uma carga horária muito grande, para apenas um tópico de física moderna seria inviável para maioria dos cursos de física voltados para o ensino médio, uma opção seria a utilização da técnica por professores de outras disciplinas visando promover o domínio da ferramenta mapa conceitual pelos alunos.

Quanto às perguntas inseridas ao longo do MI, podemos notar que os alunos, mesmo depois de instruídos a utilizarem os espaços reservados para a correção das respostas, sentiam-se tentados a corrigir seus erros diretamente na resposta dada. Esse comportamento exigiu que eu interrompesse o trabalho e prometesse que os erros constatados nas primeiras respostas não afetariam, em hipótese alguma, a nota que seria atribuída no final do semestre.

Porém, durante a realização dos experimentos e simulações, bem como nas discussões entre as etapas dos mesmos, os alunos se mostraram bem motivados, em parte pela novidade, mas também por constatar por si mesmos quais respostas eram confirmadas ou não. Os acertos eram comemorados enquanto que os erros, agora livres da punição da nota, eram gatilhos para outra rodada de questionamentos.

No experimento para a determinação da constante de Planck, realizada após a explicação do funcionamento do led, alguns alunos ficaram empolgados apenas em aprender a ler e operar os multímetros e apesar das dificuldades que apresentaram no desenvolver da atividade mantiveram a motivação. Mas, no momento de responder a pergunta sobre as interpretações dos gráficos gerados pelo experimento o desempenho da turma não acompanhou a empolgação inicial.

Refletindo sobre o caso dos gráficos da determinação experimental da constante de Planck, se antes da utilização do MI o professor de matemática da turma fosse consultado, poderíamos ter realizado essa atividade através de uma proposta interdisciplinar, o que com certeza seria bem recebida pelo setor pedagógico.

Na elaboração do segundo mapa conceitual sobre o efeito fotoelétrico, os alunos se sentiram mais a vontade do que no primeiro, mas a ferramenta mapa conceitual já não foi recebida pelos alunos com tanta empolgação, pois a princípio o mapeamento conceitual pode parecer muito mais simples que as avaliações tradicionais, mas parece requerer um conhecimento mais consistente, diferenciando-se da metodologia que os alunos demostravam estar acostumados.

Como última atividade avaliativa os alunos fizeram a avaliação somativa final e um fato que chamou a atenção foi a falta de perguntas a respeito das questões da prova. Em conversas com os professores que lecionaram para os mesmos alunos, foi constatado que esse comportamento não era comum. Podemos inferir que, para a maioria dos alunos, o número de aulas reservado para abordar o efeito fotoelétrico e as várias atividades sobre tema fizeram com que a avaliação somativa não trouxesse grandes surpresas.

Com base no que foi exposto na análise das minhas anotações sobre a aplicação do MI, podemos contabilizar como pontos positivos o uso de simulações e experimentos que além do potencial de promoção de aprendizagem significativa também mostraram a capacidade de motivar e desafiar os alunos.

A própria estruturação do MI, abordando um tópico de física moderna, baseando na Teoria da Aprendizagem Significativa e construído na proposta idealizada por Moreira (2011) é outro ponto forte deste trabalho em ensino de Física, pois a preocupação em promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora através dos momentos de negociação de significados tornaram a aula mais dinâmica.

Como pontos negativos, podemos citar o uso da ferramenta mapa conceitual, por requerer um tempo grande para que os alunos dominassem as técnicas necessárias e a maneira com que as perguntas foram inseridas ao longo do MI. Como alternativa, um reformulação futura mais profunda do MI pode incluir atividades da metodologia do *peer instruction* (instrução pelos colegas) proposta por ARAUJO e MAZUR (2013), que tem mostrado resultados de melhoria no rendimento e desempenho dos estudantes sobre o tópico em estudo.

4.5 - Análise das Respostas do Questionário de Opinião

Conforme consta na seção 3.6.5, no capítulo 3, após a avaliação somativa final foi aplicado um questionário composto por 5 perguntas abertas. Todos os alunos que participaram deste estudo responderam o questionário, que foi aplicado por servidores do IFES Campus São Mateus, sem a minha presença. Vale ressaltar que, com o objetivo de não inibir críticas, não foi requisitada a identificação dos alunos nesta etapa do trabalho, então, criamos uma nova identificação das respostas dadas pelos 13 alunos, utilizando algarismos romanos. Vejamos algumas respostas dadas pelos alunos:

Pergunta 1: Em sua opinião, como a utilização da Material Instrucional Utilizado, contribuiu para o seu aprendizado dos conceitos sobre o efeito fotoelétrico?

Apenas um dos alunos não respondeu que o MI contribui para o seu aprendizado, conforme veremos em sua resposta:

> ***Resposta do aluno IX:*** *"Como foi algo novo não foi muito aproveitado e pelo fato de pouco tempo, entretanto foi bom e ajudou para aprender mais fácil."*.

Podemos observar que mesmo assim no final de sua resposta o aluno IX disse que o MI o ajudou a aprender o conteúdo de maneira mais fácil. Os outros 12 alunos disseram que o material contribuiu para o aprendizado do efeito fotoelétrico, como podemos ver em algumas respostas:

> ***Resposta do aluno III:*** *"sim, pois além de ser um método mais dinâmico, permite observar os erros cometidos e corrigi-los."*.
>
> ***Resposta do aluno V:*** *"Os mapas conceituais fizeram com que eu buscasse mais conteúdo para construção destes, tornando possível melhor fixação de ambos."*
>
> ***Resposta do aluno VI:*** *"Contribuiu na melhor fixação dos conteúdo e por estimular meu entendimento mesmo antes de saber o conceito de fato."*.
>
> ***Resposta do aluno XII:*** *"Contribuiu sim, bastante. Apesar de ter demorado um tempo para me adaptar."*.
>
> ***Resposta do aluno XIII:*** *"Contribuiu com os conceitos bases de conteúdo, além de fornecer uma intervenção histórica sobre como ocorreu os estudos de Planck e Einstem. Os experimentos que continham no material também foi de grande utilidade para o entendimento."*.

Em concordância com o que foi relatado em minhas Anotações Pessoais sobre a aplicação do MI, as respostas mostram que o reconhecimento da profundidade que o mapeamento conceitual exige, além da motivação ao perceber a evolução ao corrigir os próprios erros. Uma das respostas cita as partes históricas sobre a evolução dos estudos acerca do efeito fotoelétrico, parte que eu acreditava que não ter sido muito apreciada pelos alunos.

Passando para a segunda pergunta do questionário:

Pergunta 2: Que tipos de dificuldades você encontrou ao longo da utilização do Material instrucional sobre o Efeito Fotoelétrico?

Dois dos alunos disseram não ter tido nenhuma dificuldade ao longo da utilização do MI e dentre os outros 11 alunos, uma resposta chamou a minha atenção, vamos a ela.

> ***Resposta do aluno IX: "****Como foi rápido, não houve aprofundamento, logo não tive muito interesse".*

Nessa resposta o aluno expressa que a intervenção foi rápida, mesmo que eu tenha levado um tempo maior que o usado em aulas expositivas tradicionais. O aluno também alega que devido à falta de aprofundamento, o mesmo não teve interesse. Vamos observar outras dificuldades relatadas em algumas das respostas de outros 5 alunos.

> ***Resposta do aluno I: "****No mapa conceitual, a organização dos conceitos.".*

> ***Resposta do aluno II: "****A falta de tempo dificultou o estudo e alguns conceitos que não aprendi bem de anos passados.".*

> ***Resposta do aluno III:*** *"Responder as perguntas sem muito conhecimento do assunto.".*

> ***Resposta do aluno VI: "*** *Insegurança inicial por responder perguntas com base no meu entendimento, mesmo podendo corrigir posteriormente.".*

> ***Resposta do aluno XIII: "*** *Na concepção dos mapas textuais.".*

As respostas do aluno III e VI corroboram a análise feita na seção 4.3 sobre o índice de acerto da segunda pergunta inserida no MI. A resposta do Aluno II, provavelmente, se deve a falta de tempo após as aulas, visto que todas as atividades foram realizadas durante o horário das aulas. Os alunos I e XIII relataram dificuldade no mapeamento conceitual, o que também foi percebido e teve a causa identificada por mim na seção 4.4.

Agora, vamos analisar as respostas dadas para a terceira pergunta do questionário.

Pergunta 3: O Material Instrucional apresentou os seguintes Recursos: Vídeos, experimentos e simulações. Em sua opinião, qual você mais gostou? Qual você gostou menos gostou? Por quê?

Quatro alunos gostaram de todos os recursos, conforme suas respostas abaixo:

> ***Resposta do aluno VI: "****Gostei de todos os recursos, principalmente, por eles juntos proporcionarem mais noção do conteúdo e sua aplicação."*

> ***Resposta do aluno X: "****Tudo isso junto tem um papel muito importante para o aprendizado, todos esses métodos foram muito bons."*

Resposta do aluno XI: "*Todo, a relação experimento-teoria-prática-simulação, ajuda a compreensão, pela visualização do teórico."*

Resposta do aluno XIII: "*Gostei de todos os recursos, pois dinamizou as aulas."*

Outros quatro alunos gostaram mais das simulações, três deles não relataram do que gostaram menos, como podemos ver pelos conteúdos de suas respostas:

Resposta do aluno I: "*A simulações. Permitem um conhecimento prévio, auxiliando até mesmo para a execução de um experimento.".*

Resposta do aluno IV: "*O que mais gostei foram as simulações, as achei bem didáticas e interessantes. Os que menos gostei foram os vídeos, não por serem ruins, apenas porque gostei mais dos outros recursos, acredito que todos são convenientes e adequados."*

Resposta do aluno VII: "*Gostei mais**: s**imulações; permite ver o funcionamento do efeito fotoelétrico. Gostei menos:nenhum."*

Resposta do aluno XII: "*A simulação foi a melhor do método, ajuda a visualizar os conceitos."*

Dois alunos preferiram os experimentos, sendo que um deles demonstrou não ter gostado dos vídeos, pelo conteúdo de suas respostas:

Resposta do aluno III: "*Experimentos, todos eram bons."*

Resposta do aluno IX: "*Experimentos, porque é sempre melhor fazer para entender. Vídeos, não é muito explicativo.".*

Quanto aos demais alunos, temos: o aluno II gostou mais dos vídeos e menos das simulações, o aluno VIII gostou mais dos experimentos com os Led's e menos da parte teórica do material e o aluno V gostou dos experimentos e das simulações e não houve nada que ele tenha gostado menos. A maioria das respostas dadas pelos alunos confirmam as minhas impressões a respeito do papel motivador da utilização dos experimentos e simulações no MI

Arguindo sobre os pontos positivos e negativos do MI, temos a quarta pergunta do questionário.

Pergunta 4: Que pontos, no material instrucional, você destacaria como positivos? E como negativos?

Dois alunos apontaram o mapeamento conceitual como ponto positivo do MI, conforme análise de suas respostas, que podem ser lidas, na integra, abaixo:

> ***Resposta do aluno II: "****O mapa conceitual, e a explicação com paciência. Que a participação seja espontânea.".*

> ***Resposta do aluno VIII: "****A parte do mapa conceitual que fizermos e depois poder refazê-lo para consertar nossos erros e ver o nosso próprio desenvolvimento.".*

Na resposta do aluno II encontramos um ponto negativo destacado através da sugestão que a participação seja espontânea, pois durante a utilização do MI a participação nas discussões era constantemente incentivada para fomentar a negociação de significados e alguns alunos sentiram-se pressionados. Podemos, a partir da análise desta resposta, trabalhar mais o diálogo durante as discussões para não pressionar demasiadamente alunos mais introspectivos. Já a resposta do aluno VIII é um exemplo de como os alunos tomaram conhecimento da própria evolução através do uso da ferramenta mapa conceitual.

Alguns alunos citaram com ponto positivo o material em si, com podemos verificar nas seguintes respostas:

> ***Resposta do aluno III: "****Em geral gostei muito deste método.".*

> ***Resposta do aluno IV: "****Como ponto positivo a adequação dos materiais ao nosso nível de conhecimento, a apresentação dos métodos avaliativos alternativos. Como negativo acredito que apenas um: seria melhor se houvesse mais conteúdo apresentado.".*

Em relação ao uso da palavra método, vale ressaltar que eu não disse em momento algum que usaria um ”método”, e sim um MI na foram de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Inclusive alunos de outras séries perguntaram se esse novo “método” era apenas usado nos conteúdos de física moderna. Mas, analisando do aluno IV, percebemos que o mesmo acredita que a quantidade de conteúdo foi pequena, provavelmente essa impressão tenha sido causada pela recursividade nas avaliações e pelos momentos de negociação de significado visando à diferenciação progressiva de alguns conceitos.

O aluno XI destacou os experimentos e a maneira com que os mesmos colaboraram para a compreensão dos conteúdos, conforme podem ver em suas próprias palavras:

> ***Resposta do aluno XI: "****Positivos: Experimentos, a visualização e aplicação do saber prático, um material de fácil compreensão pelo aluno. Negativos: Não vi pontos negativos.".*

O aluno IX, que havia comentado do tempo escasso ao responder a primeira pergunta do questionário, citou a alta velocidade do conteúdo como ponto negativo conforme resposta transcrita abaixo:

> ***Resposta do aluno IX: "****Positivo: A dinâmica apresentada pelo professor junto ao conteúdo. Negativo: A velocidade do conteúdo.".*

E, finalizando a atividade, temos a quinta pergunta a respeito da possibilidade de utilização do MI no IFES.

Pergunta 5: Em sua opinião, o Material instrucional poderia ser utilizado nas aulas de Física ministradas, ao longo do ano, no IFES?

A resposta foi positiva por unanimidade, destacamos algumas respostas, duas delas contendo ressalvas.

> ***Resposta do aluno II: "****Com certeza e sem dúvida traria resultados melhores pois teria mais tempo para ambas as partes se acostumarem com os métodos utilizados."*
>
> ***Resposta do aluno VI:*** *"Deve! Por ser lúdico, explicativo, demonstrativo e promover um maior envolvimento do aluno.".*
>
> ***Resposta do aluno VIII:*** *"Sim, é um método bom, que não nos deixa com preguiça e mais interativo na aula, tirando a parte da aula teórica.".*
>
> ***Resposta do aluno IX:*** *"Sim, porém depende do perfil do aluno/sala de aula.".*

A julgar pelas respostas dadas pelos alunos às questões, acreditamos que o MI apresentou uma boa aceitação. Mas, tão importante quanto essa informação foi descobrir quais impressões relatadas por mim estavam alinhadas com o ponto de vista dos alunos e quais situações escaparam das observações durante a aplicação MI. Pois através dessas informações

é que podemos melhorar a prática docente e evitar os mesmos erros e tentar maximizar os acertos nos trabalhos futuros.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

O presente trabalho teve com objetivo principal descrever e analisar o impacto da utilização de um Material Instrucional (MI), abordando o estudo dos conceitos relacionados ao Efeito Fotoelétrico, numa turma de quarto ano do curso técnico de mecânica, integrado ao ensino médio do Instituto Federal de Educação do Espírito Santo, Campus São Mateus. Este MI foi elaborado, principalmente, com base nos princípios da Aprendizagem Significativa de Ausubel et al (1980) e Ausubel (2002) e na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) proposta por Moreira (2011c).

Neste capítulo apresentaremos as considerações finais deste trabalho bem como correções e sugestões de melhorias com base nas observações durante a utilização do material e a escrita da presente dissertação, com o intuito de orientar trabalhos futuros que sigam propostas similares a que foi apresentada nesta dissertação. Recordando os objetivos específicos deste trabalho, temos:

- Analisar os Mapas Conceituais sobre o efeito fotoelétrico elaborados pelos alunos, antes e depois da aplicação do MI;
- Analisar as respostas fornecidas pelos alunos ao longo do MI;
- Analisar o rendimento dos alunos na Avaliação Somativa aplicado após a utilização do MI;
- Comparar o resultado dos alunos na Avaliação Somativa com a análise dos Mapas Conceituais;
- Avaliar o processo de utilização do MI tendo como base as Anotações Pessoais do Professor/Mestrando e do Questionário de Opinião dos alunos.

A análise das pontuações dos Mapas Conceituais, estabelecidas com base nos critérios de Mendonça (2012) e Novak (1999), indicou um aumento nos valores dos critérios quantitativos dos mapas finais em relação aos mapas iniciais, resultando numa maior quantidade de níveis hierárquicos e de proposições válidas. O teste estatístico de *Wilcoxon* apontou que essas diferenças entre as pontuações são estatisticamente significativas, dando sustentação à melhoria observada nos mapas finais em relação aos iniciais.

A evolução dos mapas também pode ser notada observando o critério qualitativo Qualidade do Mapa, evidenciada pelo gráfico de barras da Figura 4.5 e pelo resultado do Teste Stuart-Maxwell, apontando uma diferença estatisticamente significativa na qualidade dos Mapas Finais em relação aos iniciais. Este resultado complementa os impactos positivos da aplicação do MI na melhora na qualidade dos mapas conceituais desenvolvidos pelos alunos após a instrução.

Observamos também o aparecimento de conceitos relacionados ao campo conceitual Vergnaud (MOREIRA, 2002), do Efeito Fotoelétrico que não foram citados nos mapas iniciais e o aumento da frequência daqueles que constavam no primeiro mapa. Em contrapartida, conforme visto na Tabela 4.8 na página 53, registramos uma diminuição dos conceitos ligados ao campo conceitual da eletrização mais acentuada que a redução dos conceitos ligados ao campo conceitual das Ondas eletromagnéticas. A essa redução, diferente dos conceitos relacionados aos campos conceituais da eletrização e das ondas eletromagnéticas, associamos uma possível diferenciação progressiva e reconciliação integradora promovida pelo MI, que podem ter colocado em xeque as concepções alternativas dos alunos sobre a atribuição de cargas elétricas à luz.

Além do mapa conceitual, outro instrumento utilizado para avaliar o rendimento dos alunos e o impacto do MI, foi a Avaliação Somativa Final. A média alcançada pela turma foi 65% da pontuação máxima. Verificamos, através na análise de variância (ANOVA), se as notas obtidas pelos alunos na Avaliação Somativa Final apresenta uma relação com a classificação dos mapas finais quanto ao critério Qualidade do Mapa. O resultado da ANOVA indicou que, para um nível de significância de 5%, as notas não apresentam relação com o critério Qualidade do Mapa.

A Avaliação Somativa Final, também permitiu a análise da assimilação dos conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico, tendo como base as notas obtidas pelos alunos. Isto foi possível devido a compilação dos conceitos cobrados em cada questão, que se encontra no Quadro 3.6 da seção 3.7.3. A análise do índice de acertos por conceito, mostrou que a maioria dos conceitos trabalhados no MI obtiveram índices de acerto acima de 50%. Os conceitos constante de Planck e Dualidade da luz, abordados nas seções 1.8 e 1.9, respectivamente, foram os únicos conceitos trabalhados no MI com índices abaixo de 50%, motivando mudanças no número de exercícios propostos em que eram abordados no MI.

Com o objetivo de promover a negociação de significados através da discussão dos conteúdos estudados, foram inseridas 7 perguntas ao longo do MI. Tais perguntas contavam com um espaço para resposta e outro espaço distinto para o aluno efetuar a correção, caso o aluno julgasse que fosse necessário. O índice de acertos nas referidas perguntas foram comparados

com as notas obtidas pelos alunos na Avaliação Somativa Final, em busca de uma correlação através do teste estatístico de correlação de *Spearman*. A um nível de significância de 5%, o resultado do teste indicou uma correlação moderada e positiva, ou seja, as notas estão relacionadas com o índice de acertos nas perguntas inseridas ao longo do material.

A análise de conteúdo das respostas dadas pelos alunos a essas perguntas mostrou que a quantidade de respostas associadas ao campo conceitual da eletrização diminuíram, enquanto as respostas relacionando os campos conceituais do efeito fotoelétrico e das ondas eletromagnéticas começara a sobressair. Esse resultado concorda com o que foi observado nos conceitos válidos presentes nos mapas conceitos finais em relação aos mapas finais.

Na seção que aborda as minhas impressões sobre a aplicação do material, foi relatado que do meu ponto de vista os experimentos e simulações foram às ferramentas que mais motivaram e contribuíram para despertar o interesse dos alunos para o tema do MI. Além disso, as mudanças que eu senti em relação ao entusiasmo dos alunos ao tomar contato com novas técnicas, como o mapeamento conceitual e a recursividade das avaliações, mostrou-se coerente com as respostas dadas pelos alunos no questionário de opinião.

Essa percepção levou a constatação de que o mapeamento conceitual deveria ser amadurecido antes de ser usado, inclusive numa proposta que englobasse outros do plano de curso. Outro ponto destacado nas minhas impressões foi dificuldade dos alunos em se adaptarem a estratégia de responder/corrigir as perguntas inseridas ao longo do MI, que inclusive consta em uma das respostas do questionário de opinião que foi transcrita na seção 4.5.

As respostas dadas pelos alunos as perguntas do questionário de opinião, demonstram que o MI foi bem recebido, com destaque para as citações dos experimentos e simulações como pontos positivos do MI e atividades das quais os alunos mais gostaram de realizar. Por outro lado, os vídeos parecem não terem sido bem aceitos pelos alunos. Adicionalmente, nas entrelinhas das respostas dos alunos, podemos notar um certo apego ao métodos tradicionais e uma tendência a cobrar dos docentes respostas prontas e definições ditadas.

De um modo geral, considerando os resultados positivos encontrados após a análise dos Mapas Conceituais, da avaliação somativa individual, das respostas às questões, das Anotações Pessoais acerca da utilização do MI e da análise das respostas do questionário de opinião dos alunos, podemos dizer que o MI contribuiu para aprendizagem de conceitos relacionados ao Efeito Fotoelétrico para os 13 alunos da turma do quarto ano do curso técnico integrado ao ensino médio do Campus de São Mateus do Instituto Federal do Espírito Santo.

Trabalho Futuros

Durante a aplicação do MI e posteriormente ao analisar os dados obtidos, observamos que algumas mudanças podem ser implementadas para possivelmente se alcançar melhores resultados, as quais são citamos abaixo:

◆ Planejar um estudo piloto, onde o MI possa ser testado e verificar no campo se o que foi concebido pelo professor/mestrando produzirá dados consistentes para análise.

◆ Trabalhar o Mapeamento Conceitual de uma forma mais suave, porém constante, em conteúdos anteriores ao conteúdo alvo a ser trabalhado ou substituí-lo por outras ferramentas, como questionários por exemplo.

◆ Substituir as perguntas escritas ao longo do material por perguntas realizadas com base no método *peer instruction*, ARAUJO e MAZUR (2013).

◆ Inserir questões resolvidas com diferentes níveis de dificuldades nas seções que apresentem conceitos considerados mais difíceis.

Experiência pessoal

Em primeiro lugar, vale ressaltar que entrar em sala de aula munido de um MI confeccionado por mim com a colaboração do orientador foi uma experiência engrandecedora proporcionada pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Essa experiência me tirou da zona de conforto, pois cada atividade teve que ser pensada e planejada almejando promover uma aprendizagem significativa.

A busca de vídeos curtos e contextualizados com a proposta do MI, a apresentação do arduino para uma turma do curso técnico em mecânica, a utilização de componentes de eletrônica e simulações computacionais, ao invés dos tradicionais pincel, quadro e slides, promoveram o desenvolvimento de novas habilidades pelo professor/mestrando.

Não consigo mais lecionar do mesmo jeito que lecionava antes do mestrado, pois agora entendo que não há ensino sem a aprendizagem. Além disso, com as tecnologias evoluem e as mídias mudam, o professor não pode se acomodar, deve buscar implementar novas ferramentas ou técnicas, independente de estar ou não realizando uma pesquisa.

Dos mapas conceituais aos testes estatísticos não paramétricos realizados com o auxilio do R software, tudo valeu a pena. E espero que, além de melhorar minha prática, eu possa contribuir com o Ensino em Física passando para outros colegas o que aprendi e ainda hei de aprender.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D., & HANESIAN, H. (1980). **Psicologia educacional** (2ª ed., E. NICK, H. B. C. RODRIGUES, L. PEOTTA, M. A. FONTE, & M. G. R. MARON, Trad.). Rio de Janeiro: Interamericana. (Obra original publicada em 1978).

AUSUBEL, D. P. (2002). **Adquisición y retención del conocimiento:** Uma perspectiva cognitiva (G. S. Barberán, Trad.) Barcelona: Paidós. (Obra original publicada em 2000).

ARAUJO, Ives Solano; MAZUR, Eric. 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**, Florianópolis, v. 30, n. 2, p. 362-384, abr. 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/26150>. Acesso em: 15 dez. 2015.

BARDIN, Laurence. Análise de Conteúdo. Lisboa: Edições 70, 1977.

BAUER, W.; WESTFALL G. D.; DIAS H. **Física para universitários –** Óptica e Física Moderna.AMGH Editora, São Paulo.2013.

BNCC, Base Nacional Comum Curricular, 1ª versão preliminar de 16 de novembro de 2015. Disponível em:< http://basenacionalcomum.mec.gov.br/#/site/inicio>. Acesso em: 10 de fev. 2016.

BRASIL. Lei n° 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 dez. 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm>.Acesso em 11 Ago. 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros curriculares para o ensino médio: Ciências da Natureza, Matemática e duas Tecnologias. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2014.

CAÑETE, L. S. C. **O diário de bordo como instrumento de reflexão crítica da prática do professor.** 2010. 151 f. Dissertação (Mestrado em Educação)-Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte, 2010.

CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R., SOUZA, D. D., MUZINATTI, J. Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, v. 3, n. 1, p. 24-29, 2002.

D'AGOSTIN, Aline. **Física moderna e contemporânea: Com a palavra professores do ensino médio.** Dissertação (Mestrado em educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.ppge.ufpr.br/teses/M08_dagostin.pdf>. Acesso em: 10 mar.2015.

DOMINGUINI, Lucas. **Física moderna no ensino médio: Com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM.** Rev. Bras. Ensino de Fís. [online]. 2012, v.34, n.2, pp.1-7. ISSN 1806-1117. Disponível em:<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172012000200013>. Acesso em: 15 mar.2015.

DOMINGUINI, L; MAXIMIANO, J. R.; CARDOSO, L. Novas abordagens do conteúdo de Física moderna no Ensino Médio público do Brasil. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO DA REGIÃO SUL, 9., 2012. Caxias do Sul, 2012. **Atas**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2012. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/anpedsul/9anpedsul/paper/viewFile/653/534> Acesso: em 15 Fevereiro de 2016

FERRACIOLI, L. **Mapas conceituais como instrumento de eliciação do conhecimento**. Revista Didtica Sistmica. Rio Grande/RS, v. 5. Trimestral, janeiro a junho de 2007, p. 65-77, ISSN: 1809-3108.

GASPAR, Alberto. **Física – Volume 3, Eletromagnetismo e Física Moderna.** 1ª ed. Editora Ática.2000.

GUALTER, J. B., NEWTON, V. B., HELOU, R. D. **FÍSICA 3 – Eletricidade, Física moderna e Análise dimensional.** 15ª Ed. Editora Saraiva 2001.

HALLIDAY, D. ; RESNICK, R. ; KRANE, K. **FÍSICA 4**. 4ª Edição. Tiragem, Editora LTC, Rio de Janeiro. 1992.

LIBARDI, Diego Mota. **A utilização de um material instrucional potencialmente significativo.** Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnfis) da UFES, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2014. Disponível em: <http://www.ensinodefisica.ufes.br/pos-graduacao/PPGEnFis/detalhes-da-tese?id=8101>. Acesso em: 13 mar.2015.

MENDONÇA, C. A. S. **O uso do mapa conceitual progressivo como recurso facilitador da aprendizagem significativa em Ciências Naturais e Biologia.** 2012. 349 f. Tese (Programa internacional de doctorado Ensenãnza de lãs ciências) – Departamento de Didácticas Específicas, Universidad de Burgos, Burgos, 2012.

MOREIRA, M.A. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, O Ensino de Ciências e a Pesquisa Nesta Área. **Investigações em Ensino de Ciências**, V7(1), p. 7-29. 2002.

MOREIRA, M.A., NARDI, R. O mestrado profissional na área de Ensino de Ciências e Matemática: alguns esclarecimentos. **Revista Brasileira de Ensino em Ciência e Tecnologia**, vol. 2, n.3, p. 1-9. set/dez. 2009.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria da Física, 2011a.

MOREIRA, M.A. **Teorias de aprendizagem**.São Paulo: EPU, 2011b.

MOREIRA, M.A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1(n.2), p. 43-63. 2011c.

MOREIRA, M.A. **Metodologias de pesquisa em ensino.** São Paulo. Editora Livraria da Física. 2011d

NICOLAU, G. F., TOLEDO, P. A., RONALDO, F. **Física Básica – Volume Único.**3 ed. São Paulo. Editora Atual. 2009.

NOVAK, J. D., & GOWIN, D. B. (1999). **Aprender a aprender** (2a. Ed., C. Valadares, Trad.). Lisboa: Plátamo Editora. (Obra original publicada em 1984)

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Investigação em Ensino de Ciências,** v.5, n. 1, p. 23-48, 2000.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: Uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências,** v.14, n. 3, 2009. Disponível em:
< http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID224/v14_n3_a2009.pdf >. Acesso em 10 de fevereiro 2016.

PIETROCOLA, M., POGIBIN, A., ANDRADE, R., ROMERO, T.R. **Física em Contextos.** Volume 3. 1a ed. Editora FTD. São Paulo. 2011.

RAMALHO, F. J., NICOLAU, G. F., TOLEDO, P. A. S. **Os Fundamentos da Física – Volume 3.** 8a ed. Editora Moderna. São Paulo. 2003

R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

SANTOS, E. M. F., RIBEIRO-TEIXEIRA, R. M., CAVALCANTE, M. A. Ensino de Óptica na escola de nível médio: utilizando Arduino como ferramenta para aquisição de dados, controle e automação de experimentos no laboratório didático **Textos de Apoio ao Professor de Física,** IF – UFRGS**.** v.26, n.3, Jul. 2015. Disponível em: < http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/molisani_v26_n3.pdf>. Acesso em: 15 Fev. 2016.

SANTOS, Carla, Estatística Descritiva. Lisboa. Edições Sílabo, 2007.

SIGNORELL, Andri. DescTools: Tools for descriptive statistics. R package version 0.99.16. 2016

SILVA, Claytor Vieira. **Uma investigação sobre a elaboração e a utilização de um material instrucional baseado na teoria da aprendizagem significativa para o estudo de um tópico de mecânica no contexto rural.** Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnfis) da UFES, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2014. Disponível em: <http://www.ensinodefisica.ufes.br/pos-graduacao/PPGEnFis/detalhes-da-tese?id=8101>. Acesso em: 13 mar.2015.

SILVA, Rogério Oliveira. **A Utilização de Um Material Instrucional Baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa para Aprendizes-Marinheiros: Uma Introdução ao Estudo do Movimento dos Corpos.** Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnfis) da UFES, Universidade Federal do Espírito Santo. UFES. Linhas de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Disponível em: <http://www.ensinodefisica.ufes.br/pos-graduacao/PPGEnFis/detalhes-da-tese?id=8921>. Acesso em: 10 Nov. 2015.

TRIOLA, Mario. F. **Introdução à Estatística.** 10ª edição. Rio de Janeiro, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A - TESTES ESTATÍSTICOS REALIZADOS NO *R SOFTWARE*

ENTRANDO COM AS PONTUAÇÕES DOS MAPAS E NOTAS DA AVALIAÇÃO.

```
# NOTAS DOS MAPAS INICIAIS
PTO1<-c(22,28,34,6,33,20,16,11,25,11,20,34,17)

# NOTAS DOS MAPAS FINAIS
PTO2<-c(44,33,40,27,37,62,40,26,36,38,27,34,36)

# NOTA DA AVALIAÇÃO SOMATIVA
NOTA<-c(6,8.5,7,8,6,6,6,6,8.5,4,7.5,3.5,8)

# CONCATENANDO OS DADOS NUM SÓ OBJETO
PTOMAPNOTA<-data.frame(PTO1,PTO2,NOTA)
```

PLOTANDO O BOXPLOT DA PONTUAÇÃO MAPAS FINAIS VERSUS MAPAS INICIAS

```
boxplot(col=c("white","grey"),PTO1,PTO2, data=(PTOMAPNOTA), names=c("Mapas iniciais","Mapas Finais"));title("Pontuações dos Mapas Conceituais", ylab="pontuação")
```

TESTE DE WILCOXON ENTRE AS PONTUAÇÕES DOS MAPAS

```
#MÉDIAS DAS NOTAS (MAPAS INICIAIS E FINAIS)
mean(PTO1); mean(PTO2)

 #OBTENDO DESVIO PADRÃO  E A VARIÂNCIA DAS NOTAS DOS MAPAS
sd(PTO1); sd(PTO2);var(PTO1); var(PTO2

#TESTE DE WILCOXON
wilcox.test(PTO1,PTO2, paired=TRUE)
```

TESTE DE STUART-MAXWELL PARA HOMOGENEIDADE MARGINAL

```
# CARREGANDO O PACOTE DescTools
library("DescTools", lib.loc="~/R/win-library/3.2")

# CRIANDO A MATRIZ DE MUDANÇAS DAS QUALIDADES DO MAPA
x <- as.table(matrix(c(0,1,2,0,2,6,0,0,2), nrow=3))
addmargins(x)

#TESTE DE STUART-MAXWELL
StuartMaxwellTest(x)
```

TESTE ANOVA

```
#ENTRANDO COM QUALIDADE DOS MAPAS FINAIS DOS ALUNOS
Quali<-c("MR","MB","MR","MD","MR","MR","MD","MB","MR","MR","MR","MR","MB")

#ENTRANDO COM AS NOTAS DA AVALIAÇÃO SOMATIVA
 Nota<-c(6.0,8.5,7.0,8.0,6.0,6.0,6.0,6.0,8.5,4.0,7.5,3.5,8.0)

# CONCATENANDO OS DADOS NUM SÓ OBJETO
qualimapnot<-data.frame(Quali,Nota)

#TESTE ANOVA
anova<-aov(Nota~Qualidade,data=qualimapnot)
anova
summary(anova)
```

CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

```
#ÍNDICE DE ACERTOS NAS PERGUNTAS DO MI

pergmi<-c(0.428, 0.857, 0.571, 0.286, 0.429, 0.571, 0.286, 0.286, 0.714, 0.0, 0.571, 0.571,
0.571)


#NOTAS NA AVALIAÇÃO SOMATIVA

notami<-c(6,8.5,7,8,6,6,6,6,8.5,4,7.5,3.5,8)


#MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO

mean(pergmi); sd(pergmi); mean(notami); sd(notami)


# CONCATENANDO OS DADOS NUM SÓ OBJETO

pergmi_notami<-data.frame(pergmi,notami)
```

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO

Pergunta 1

Em sua opinião, como a utilização da Material Instrucional Utilizado, contribuiu para o seu aprendizado dos conceitos sobre o efeito fotoelétrico?

Pergunta 2

Que tipos de dificuldades você encontrou ao longo da utilização do Material instrucional sobre o Efeito Fotoelétrico?

Pergunta 3

O Material Instrucional apresentou os seguintes Recursos: Vídeos, experimentos e simulações. Em sua opinião, qual você mais gostou? Qual você gostou menos gostou? Por quê?

Pergunta 4

Que pontos, no material instrucional, você destacaria como positivos? E como negativos?

Pergunta 5

Em sua opinião, o Material instrucional poderia ser utilizado nas aulas de Física ministradas, ao longo do ano, no IFES?

APÊNDICE C – LINKS PARA DOWNLOAD DOS MAPAS CONCEITUIAIS E RESPOSTAS ELABORADAS PELOS ALUNOS.

MAPAS CONCEITUAIS**:**

https://1drv.ms/b/s!AjRijkgHCaOIjXy0_dZSuShJOtv2

RESPOSTAS DADAS AS PERGUNTAS AO LONGO DO MI:

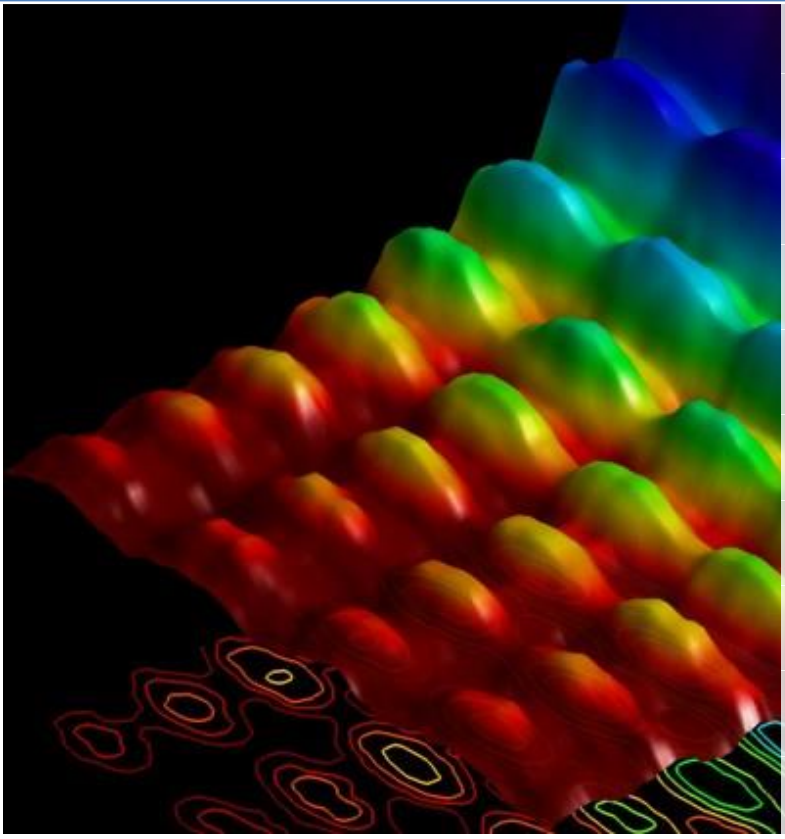
https://1drv.ms/b/s!AjRijkgHCaOIjgIdJu45_ItuPQ9P

APÊNDICE D – MATERIAL INSTRUCIONAL

Universidade Federal do Espírito Santo

2015

Efeito Fotoelétrico



Wilson Carminatti Benaquio

Giuseppi Gava Camiletti

APRESENTAÇÃO

O Material instrucional que você tem em mãos foi elaborado como atividade inerente aos trabalhos do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Sociedade Brasileira de Física (MNPEF-SBF) e foi concebido para abordar os conteúdos relacionados ao efeito fotoelétrico em turmas do ensino médio. Utilizando diversos recursos educacionais, o material instrucional é estruturado com base nas orientações de elaboração de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), proposta por Moreira (2011), utilizando como principal referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel et al.(1980)

Este **Material Instrucional** contém 4 seções que se alternam ao longo dos tópicos e sub-tópicos. Na seção "USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR", serão mostrados vídeos e simulações computacionais sobre o fenômeno do efeito fotolétrico, inclusive abordando a utilização em equipamentos. Na seção "USANDO EXPERIMENTOS COM O PROFESSOR", iremos realizar experimentos utilizando a plataforma Arduino, multímetros, LEDS, sensores LDR entre outros componentes eletrônicos. Nas duas seções dedicadas a exercícios, denominadas "EXERCÍCIOS RESOLVIDOS" e "EXERCÍCIOS PROPOSTOS", forneceremos exemplos de resoluções e oportunidades de aplicação do conteúdo.

Ao longo do material instrucional, além dos recursos já citados, encontramos 7 perguntas com o objetivo de promover a negociação de significados via discussão entre os alunos e o professor. Essas perguntas possuem, além do espaço para o aluno responder, um espaço específico para que o aluno corrija os erros de suas próprias respostas, caso seja necessário. No final do material, temos seções complementares abordando os conteúdos de processos de eletrização e introdução à ondulatória, que podem ser usados tanto como organizadores prévios pelo professor como fonte de consulta pelos alunos. Também são encontrados nas seções complementares esquemas das montagens dos experimentos.

Este Material Instrucional foi escrito visando auxiliar professores e alunos no processo de aprendizagem significativa dos conceitos relacionados a um dos tópicos mais interessantes da Física moderna, o efeito fotoelétrico. Esperamos que a utilização deste material contribua não só para o aprendizado do assunto tratado por ele, mas também desperte o interesse a respeito dos demais tópicos de Física Moderna.

Wilson Carminatti Benaquio

SUMÁRIO

1. Efeito fotoelétrico..... 04

1.1 Introdução..... 04

1.1.1 – Confecção do primeiro mapa conceitual..... 05

1.2 – O que é o efeito fotoelétrico?..... 07

1.3 - O papel da intensidade da luz..... 08

1.4 – O papel da frequência da luz..... 10

1.4.1 – Limiar de frequência (frequência de corte)..... 12

1.5 - A questão do tempo..... 13

1.6 – Teoria Quântica..... 15

1.7 – Explicação do efeito fotoelétrico..... 16

1.8 – Dualidade da luz..... 17

1.9 – A constante de Planck..... 18

1.9.1 – Noções do funcionamento de um "LED"..... 19

1.10– Exercícios Propostos..... 25

1.10.1 – Confecção do segundo mapa conceitual..... 28

Seções complementares..... 29

Referência Bibliográficas 36

Suplemento do professor 38

1 - Efeito Fotoelétrico

Ao final desta seção você deverá:

- ✓ Conhecer o efeito fotoelétrico;
- ✓ Compreender a relação entre frequência e a intensidade da luz com o efeito fotoelétrico;
- ✓ Conhecer e calcular o Limiar de frequência e a função trabalho de um metal;
- ✓ Compreender a dualidade onda-partícula da luz.

USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR...

Assista o vídeo 1 para ver uma porta automática em funcionamento, como a mostrada na figura 1, e o vídeo 2 para ver um dispositivo de visão noturna, figura 2.

Figura 1: *Porta automática.*

Video 1: https://www.youtube.com/watch?v=nSRnco0V1yA

Figura 2: *Aparelho de visão noturna.*

Vídeo 2: http://www.youtube.com/watch?v=Ec0J6zau7jY

1.1 - Introdução

Qual o fenômeno físico que explica o funcionamento das portas automáticas dos shoppings e dos óculos de visão noturna usados por soldados de forças táticas especiais? A resposta é...

EFEITO FOTOELÉTRICO!

Antes de iniciarmos o estudo deste efeito, solicito que desenvolva a tarefa a seguir.

1.1.1 – Confecção do primeiro Mapa Conceitual

CONSTRUÇÃO DE MAPA CONCEITUAL

Construa abaixo um Mapa Conceitual sobre seu entendimento a respeito do **Efeito fotoelétrico.**

Explique, no espaço abaixo, detalhadamente, o Mapa Conceitual que você acabou de construir. Se necessário, utilize o verso da folha.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Buscando visualizar mais especificamente este efeito, vamos assistir outro vídeo.

USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR...

O vídeo 3 mostra o efeito da luz ultravioleta em um eletroscópio, mostrado na figura 3 ao lado, carregado eletricamente. Este aparelho se destina a detectar cargas elétricas, ou seja, indicar se um corpo está ou não eletrizado. No modelo utilizado no vídeo, na parte superior temos uma esfera ou placa metálica que é ligada a uma haste condutora que por sua vez está conectada a outra haste condutora mais fina que pode girar livremente. Nesse experimento vamos observar o que acontece com haste mais fina do eletroscópio durante as instruções. O material utilizado no vídeo, além do eletroscópio, inclui: folhas de papel toalha, um tubo de PVC, uma barra de acrílico, uma lâmpada fluorescente comum e uma lâmpada ultravioleta. Siga o passo a passo indicado abaixo:

Figura 3: *Eletroscópio.*

1. Para assistir o vídeo 3 acesse o link:

   http://video.rnp.br/portal/video/video.action;jsessionid=A998AB05B5AE98F1DC7ADCB992F40441?idItem=14368

2. Assista o vídeo até o instante em que o eletroscópio é **carregado por contato com o tubo de PVC**, ou seja, até o instante 00:42 s. Note que a haste mais fina do eletroscópio sofre um giro. Se você não entendeu por que isso ocorre, leia a "**A SEÇÃO COMPLEMENTAR I – Processos de Eletrização e funcionamento do eletroscópio".**
3. Continue assistindo o vídeo até o instante 00:55 e faça uma pausa. Observe que ao aproximar a lâmpada comum de luz branca, o eletroscópio permaneceu carregado.
4. Continue assistindo o vídeo até o instante em que o eletroscópio é **iluminado com luz ultravioleta**, ou seja, até o instante 1:15. Note agora que a haste mais fina do eletroscópio sofre um giro voltando a posição vertical. Na própria legenda do vídeo, aparece a afirmação de que a luz ultravioleta expulsa os elétrons excedentes.

1)Por que a luz ultravioleta é capaz de "expulsar" os elétrons e a luz branca não?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	

5. Assista o vídeo até o instante em que o eletroscópio é novamente **carregado por contato com a régua de acrílico**, ou seja, até o instante 1:35 s. Observe que a haste mais fina do eletroscópio sofre outra vez um giro. Caso você não tenha entendido por que isso ocorreu, consulte o "**A SEÇÃO COMPLEMENTAR I – Processos de Eletrização e funcionamento do eletroscópio".**
6. Assista ao vídeo até o final. Observe que desta vez, ao aproximar a lâmpada ultravioleta o eletroscópio não se descarrega e no próprio vídeo aparece a afirmação de que não há elétrons excedentes!

2)Por que a luz branca e a ultravioleta não são capazes de "descarregar" o eletroscópio positivamente carregado?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____ _____ _____ _____ _____ _____	

1.2 – O que é o efeito fotoelétrico?

Esse fenômeno que observamos, foi descrito em 1887 por Heinrich Hertz, quando estava pesquisando descargas elétricas entre dois eletrodos para gerar ondas eletromagnéticas, Hertz observou que a intensidade da descarga era aumentada quando os eletrodos eram iluminados com luz ultravioleta. Esta observação sugere que elétrons são emitidos pela placa iluminada. Mas foi Wilhelm Halwachs que observou emissão de elétrons ao iluminar alguns metais como: Zinco, sódio, rubídio e potássio. Esse processo foi chamado de efeito fotoelétrico ou emissão fotoelétrica e os elétrons emitidos por esse efeitos são denominados fotoelétrons.

Portanto, o que é **Efeito Fotoelétrico**?

É o efeito que ocorre quando luz de determinadas frequências incidem numa superfície de metal e faz com que elétrons sejam ejetados da superfície.

A próxima pergunta natural é: Qual a explicação para a ocorrência do Efeito Fotoelétrico?

Como sabemos, a luz é uma onda eletromagnética. Assim, buscando uma explicação deste efeito utilizando os princípios e conceitos já conhecidos da teoria do eletromagnetismo encontramos alguns problemas, a saber:

- ✓ **A intensidade da luz incidente.** Segundo a teoria ondulatória, o módulo do campo elétrico oscilante **E** aumenta com o aumento da intensidade da luz **I** segundo a relação $\mathbf{I \alpha E^2}$. Lembrando ainda que a força aplicada por um feixe de luz ao elétron é igual ao produto entre a carga e o campo elétrico, **F = q.E**, isto sugere que a energia cinética dos fotoelétrons deverá crescer ao se aumentar a intensidade do feixe luz.
- ✓ Como a força aplicada ao elétron depende da intensidade do feixe, é de se esperar que o efeito fotoelétrico ocorra para qualquer **frequência da luz**, desde que ela possua intensidade capaz de fornecer a energia necessária à extração dos elétrons.
- ✓ Considerando que a energia adquirida por um fotoelétron é absorvida da onda incidente sobre uma superfície metálica, podemos considerar que a área onde o elétron absorve tal onda é aproximadamente igual a um círculo com raio igual ao raio de um átomo. Na teoria do eletromagnetismo, a energia luminosa está uniformemente distribuída sobre a frente da onda. Assim, no caso de uma luz pouco intensa, deveria haver um **lapso de tempo** mensurável.

Vamos investigar cuidadosamente as observações que fizemos no vídeo para verificar se estas previsões se confirmam ou não.

1.3 – O papel da Intensidade da luz.

Vamos, com o auxílio de um *Applet*[1], realizar uma investigação a cerca da influência da intensidade da luz na ocorrência do efeito fotoelétrico.

USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR...

A simulação interativa computacional a ser realizada com o *appplet* indicado abaixo poderá ser realizada seguindo os seguintes passos:

1 - Para execute o simulador é necessário que você tenha em seu computador o programa "Java" instalado. Caso não tenha o Programa "Java" instalado em seu computador, copie o link abaixo e cole no navegador de internet para obter gratuitamente o programa:

https://www.java.com/pt_BR/download/

2 - Quando uma página como a mostrada na Figura 4 abrir, clique no botão "Download Gratuito do Java" e siga as instruções de instalação.

Figura 4: *Imagem da página para download do Java.*

3- Faça o download do *Applet* sobre efeito fotoelétrico, copiando o link abaixo e colando no navegador de internet:

http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/photoelectric

[1] Um *Applet* consiste de um software de pequeno porte que pode ser executado através de navegadores de internet, tais como, Firefox, Internet Explorer, Google Chrome, entre outros

4- Você irá visualizar uma tela tal como a mostrada na Figura 5 abaixo:

Figura 5: *Imagem da página para download do Applet sobre Efeito Fotoelétrico.*

5- Clique no retângulo **cinza** com a inscrição "**↓copiar**" para fazer o download do arquivo "***photoelectric_pt_BR"*** . Após o término do download, procure o arquivo "***photoelectric_pt_BR"*** na pasta de Downloads, de um duplo clique no arquivo com o botão esquerdo do mouse para abrir o simulador.

6- Com o simulador aberto, escolha "**zinco**" no campo "**alvo (material)**", de acordo com Figura 6 abaixo:

Figura 6: *Campo de escolha do metal (alvo).*

7- Ajuste o botão do comprimento de onda para a zona de UV (ultravioleta), para um valor abaixo de 288 nm (288×10^{-9} m) e ajuste o botão intensidade para 100%, como é mostrado na Figura 7.

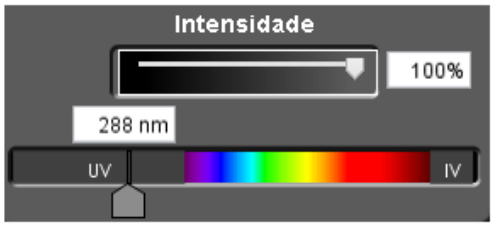


Figura 7: *Detalhe da tela para ajuste (1ª parte do experimento).*

8- Observe a quantidade de elétrons ejetados da placa de zinco (placa da esquerda).

9- Diminua a intensidade para 50 %, observe e anote abaixo o que observou.

1.4 – O papel da frequência da luz.

Sobre a luz branca e a ultravioleta utilizados no experimento demonstrado no vídeo 3, responda:

3)Qual luz apresenta a maior frequência?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____	

Dando continuidade à investigação, agora em relação à **frequência da luz**, a teoria eletromagnética afirma que o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer frequência da luz, desde que a luz possuísse intensidade capaz de fornecer a energia necessária extração dos elétrons. Vamos, com o auxílio de outro *Applet*, realizar mais uma investigação.

USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR...

1- Após certificar-se que o Programa Java encontra-se instalado, faça o download do *Applet* sobre interferência de ondas, copiando o link abaixo e colando no navegador de internet:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-interference

2- Uma tela igual a da Figura 8 aparecerá:

Figura 8: *Imagem da página para download do Applet sobre Interferência de ondas.*

3- Clique no retângulo **cinza** com a inscrição "**↓copiar**" para fazer o download do arquivo "***wave-interference_pt_BR***" .

4- Após o término do download, procure o arquivo "***wave-interference_pt_BR***" na pasta de Downloads, de um duplo clique no arquivo com o botão esquerdo do mouse para abrir o simulador.

Vamos utilizar o *applet* para medir os comprimentos de onda de luzes de cores diferentes, procedendo da seguinte forma.

5- Escolha a opção **"Luz"** nas abas localizadas no canto superior esquerdo da janela do applet.

6- Ajuste o botão do comprimento de onda para a zona da cor vermelha e o botão da intensidade para a extrema direita, como é mostrado na Figura 9.

Figura 9: *Campo para ajustes do comprimento de onda e amplitude.*

7- Aguarde uns 10 segundos e pause a simulação, apertando o botão na parte inferior da janela do *applet*, Figura 10**.**

Figura 10: *Botão de pausa da simulação.*

8- Acione a fita métrica, marcando a caixa de opção no canto superior direito da janela do applet, Figura 11.

Figura 11: *Caixa de opção para acionar a fita métrica.*

9- Meça o comprimento de onda associado a luz de cor vermelha, posicionando as cruzes da fita métrica em duas cristas consecutivas e anote o valor na tabela 2.

10- Repita os passos 7 a 11 para comprimento de ondas na zona do verde e do vermelho.

11- Adotando o valor da velocidade da luz no vácuo, 3 x 10^8 m/s e utilizando a equação fundamental da ondulatória ($\mathbf{C} = \lambda . f$), preencha a terceira coluna da Tabela 1.

LED	Comprimento de onda	Frequência da onda
Vermelho		
Verde		
Violeta		

Tabela 1 – *Comprimento e frequência de luzes vermelha, verde e violeta*

Com base nos resultados da Tabela 1, confirme ou corrija a resposta dada à pergunta 3 no início da seção 1.4.

No vídeo 3, a luz branca não apresenta efeito fotoelétrico enquanto que a luz ultravioleta sim. E o resultado observado no *applet* sobre ondas mostrou que a luz violeta apresentou maior frequência que as luzes vermelha e verde. Logo, a luz ultravioleta apresenta maior frequência que a luz branca, contrariando a previsão do eletromagnetismo de que este efeito deva ocorre para luz de qualquer frequência, dependendo somente da sua intensidade.

1.4.1 – O limiar de frequência[2] (frequência de corte).

Com a realização destes experimentos, foi possível constatar que a teoria do eletromagnetismo não fornece previsões corretas sobre o que acontece na estrutura da matéria quando o efeito fotoelétrico é observado. Poderia-se argumentar que a teoria do eletromagnetismo funcionaria para explicar o efeito fotoelétrico para outros materiais. Como uma construção experimental para se realizar estes testes seria de difícil de viabilização, vamos usar mais uma vez um applet sobre efeito fotoelétrico.

USANDO A TECNOLOGIA COM O PROFESSOR...

Usando o mesmo applet sobre efeito fotoelétrico utilizado na seção 1.3, mas agora vamos manipular a frequência da radiação incidente e observar sua influência no efeito fotoelétrico. Dessa vez vamos seguir os passos sugeridos:

1 - Ajuste o botão do comprimento de onda para a zona de UV para um valor abaixo de 270 nm (270×10^{-9} m) e ajuste o botão intensidade para 100%, do mesmo modo que na Figura 12.

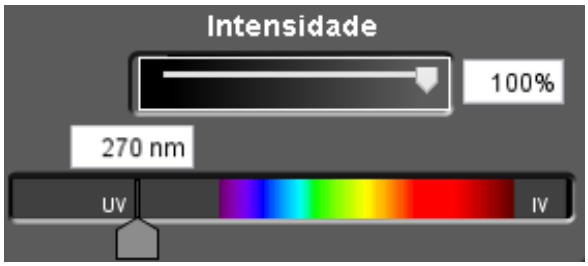


Figura 12: *Detalhe da tela para ajuste (2ª parte do experimento).*

2 - Observe a quantidade de elétrons ejetados da placa de zinco (placa da esquerda).
3 - Aumente, gradativamente, de 10nm em 10nm, até 300nm, observando a quantidade de fotoelétrons em cada passo e anote abaixo o que observou.

Considerando vácuo entre as placas do simulador e lembrando que a relação entre velocidade, frequência e comprimento de uma onda é dada por:

$$C = \lambda . f$$

Complete a tabela 2, dado: $C=3 \times 10^{8}$ m/s.

Comprimento de onda (λ)	Frequência
270 nm	
280 nm	
290 nm	
300 nm	

Tabela 2: *Frequência da luz associada a cada comprimento de onda.*

[2] Nos livros didáticos para o ensino médio o **limiar de frequência** é geralmente chamado de **frequência de corte.**

4- Ajustando o botão do comprimento de onda (Figura 12), procure o maior valor do comprimento de onda entre 280 nm e 290 nm onde começa a ocorrência do efeito fotoelétrico no zinco e calcule a frequência associada a ele, anotando o resultado no espaço abaixo

5- Agora, alterando o material no campo "**alvo (material)**" e ajustando o botão do comprimento de onda (Figura 12), procure entre 100 nm e 850 nm (limites do simulador), onde começa a ocorrência do efeito fotoelétrico em cada um dos materiais contido no simulador, preenchendo a Tabela 3 abaixo.

Material	Comprimento de onda (λ)	Frequência
Sódio		
Cobre		
Platina		
cálcio		
Magnésio		

Tabela 3: *Frequência da luz associada a cada comprimento de onda e material.*

Após a realização da atividade podemos perceber que, para cada material, existe uma fequência da luz, abaixo do qual o efeito fotoelétrico deixa de ocorrer. Esse resultado foi encontrado em 1914 por Robert Milikan enquanto estudava a dependência do potencial de corte com a frequência da luz. Milikan constatou a existência de um **limiar de freqüência** abaixo da qual o efeito fotoelétrico não ocorria.

1.5 – A questão do tempo.

Finalizando a investigação, a teoria do eletromagnetismo afirma que deve ocorrer um **retardo no tempo** de emissão dos fotoelétrons. Considerando que a energia adquirida por um fotoelétron é absorvida da onda incidente sobre uma superfície metálica, podemos considerar que a área onde o elétron absorve tal onda é aproximadamente igual a um círculo com raio igual ao raio de um átomo. Como a energia luminosa deve estar está uniformemente distribuída sobre a frente da onda, no caso de uma luz pouco intensa, deveria haver um lapso de tempo mensurável.

Observe, no exercício resolvido abaixo, o cálculo desse lapso de tempo previsto pela teoria eletromagnética para uma amostra de alumínio.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R 1.1 (adaptado do Halliday) Uma placa de alumínio está colocada a uma distância R (R = 0,5 m) de uma fonte de luz puntiforme cuja potência P_0 é de 1,0 W. Considere que cada fotoelétron ejetado colete sua energia de uma área circular da placa de raio igual ao raio r de um átomo de alumínio (r = 1,4 x 10^{-10}m). Sabendo-se que a energia necessária para arrancar um elétron dessa superfície metálica é de 4,08 eV, quanto tempo levaria este "alvo" para absorver essa energia da fonte de luz ?

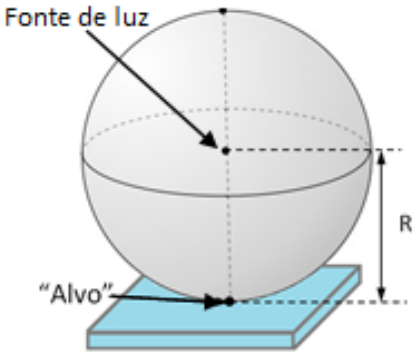


Figura 13: *Representação da placa de alumínio iluminada pela fonte de luz.*

$$Dados: \begin{cases} \phi_{Al} = 4{,}08\ eV = 6{,}5x10^{-19} J \\ P_0 = 1{,}0\ W \\ R = 0{,}5\ m \\ r = 1{,}4\ x\ 10^{-10} m \\ I = \ ? \end{cases}$$

Solução: Considerando uma fonte de luz puntiforme que irradie uniformemente em todas as direções, a intensidade I da luz a uma distância R é dada por:

$$I = \frac{P_0}{4\pi R^2} \Rightarrow \ I = \frac{1{,}0\ W}{4\pi(0{,}5m)^2} \Rightarrow \ I = \frac{1{,}0\ W}{4\pi(0{,}5m)^2} \Rightarrow \boxed{I = 0{,}32\ {}^{W}/_{m^2}}$$

A área A do alvo é πr^2, de modo que a taxa com que a energia incide sobre o alvo é dada por:

$$P = I.A \Rightarrow \ P = I.\pi.r^2 \Rightarrow \ P = \left(0{,}32\ {}^{W}/_{m^2}\right).3{,}14.(1{,}4\ x\ 10^{-10}m)^2 \Rightarrow \boxed{P = 2{,}0x10^{-20}\ {}^{J}/_{s}}$$

Supondo que toda essa energia seja absorvida, o tempo necessário para o alvo acumular a energia suficiente para o elétron escapar é:

$$P = \frac{E}{t} \Rightarrow \ P = \frac{\phi_{Al}}{t} \Rightarrow \ 2{,}0x10^{-20}\ {}^{J}/_{s} = \frac{6{,}5x10^{-19} J}{t} \Rightarrow \boxed{t = 32{,}5\ s}$$

Obs.: elétron-volt é uma unidade de medida de energia que equivale a 1,602 x 10^{-19} J. o símbolo para elétron-volt é **eV**. Por definição, um elétron-volt é a quantidade de energia cinética adquirida por um elétron quando acelerado por uma diferença de potencial elétrico de um volt, no vácuo.

Sugestão: Para entender melhor a relação entre a intensidade da luz e a distância da fonte, leia a SEÇÃO COMPLEMENTAR II – Intensidade de onda.

4) Lembrando-se do vídeo 3 e considerando o que foi realizado nas atividades propostas neste material, o que você diria sobre a previsão da teoria do eletromagnetismo e o que você observou?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____ _____ _____ _____	.

No próximo tópico vamos verificar como as descobertas feitas por alguns cientistas entre no final do século XIX e o início do século XX influenciaram a física para que pudéssemos entender sobre o mecanismo da ocorrência do efeito fotoelétrico e outros fenômenos. Mas, antes de prosseguir responda a próxima pergunta.

5) Formule uma explicação para ocorrência do efeito fotoelétrico com base nas simulações computacionais interativas e atividades realizadas ao longo do material.

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____ _____ _____ _____ _____	.

1.6 – Teoria Quântica

Os experimentos e procedimentos que realizamos evidenciaram as falhas nas previsões da teoria do eletromagnetismo para a explicação da ocorrência do Efeito Fotoelétrico. Apesar de ter sido relatado em 1887 por Hertz, a explicação para o efeito fotoelétrico só veio em um artigo publicado por Einstein no início do século XX, mais precisamente em 1905.

Mas, para explicar o efeito fotoelétrico, Einstein usou uma ideia proposta em 1900 por outro físico chamado Max Planck em um artigo sobre outro problema que desafiava vários físicos, o problema do **espectro do corpo negro** ou **radiação do corpo negro**.

Naquela época, vários cientistas estudavam a radiação emitida pelos corpos devido à agitação térmica, pois todo corpo acima do zero absoluto (-273 °C) emite radiação eletromagnética. O exemplo mostrado na Figura 14 é de uma peça de ferro aquecida onde é evidenciada a emissão de radiação eletromagnética na faixa do visível.

Figura 14: *Ferro em "brasa", aço próximo ao ponto de fusão.*

Porém, para evitar que a luz ambiente ou outras radiações refletidas pelos corpos interferissem no estudo da radiação térmica, foi idealizado um corpo que absorvesse toda radiação incidente sobre ele, garantindo que toda radiação que viesse dele era devido à agitação térmica.

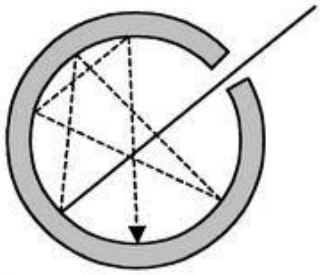


Figura 15: *Modelo de um corpo negro.*

Um corpo com as características descritas acima não seria visto quando apenas iluminado, daí o nome corpo negro. Como na natureza não existe um corpo negro perfeito, um modelo que mais se aproxima do ideal é algo parecido com a o objeto da Figura 15.

Observando atentamente o corpo da Figura 15, nota-se que a chance da luz que entra no orifício conseguir sair do mesmo é mínima.

Isso porque a luz será absorvida pelas paredes internas da cavidade, garantindo que toda a radiação que por ventura saia do orifício é devido da agitação térmica, tornando o orifício um ótimo representante de corpo negro. O ponto chave para resolver o problema da radiação do corpo negro era explicar a dependência entre a intensidade de energia e o comprimento de onda da **radiação térmica** emitida por um corpo.

Vários experimentos que foram realizados na última década do século XIX verificaram que a energia irradiada pelos corpos dependia da temperatura e também do comprimento de onda. Mas, os cálculos baseados na teoria eletromagnética só eram coerentes com os dados experimentais para comprimentos de onda de valores elevados e divergia fortemente a partir dos valores do comprimento de onda da radiação ultravioleta, essa discrepância entre a teoria e a prática ficou conhecida com **catástrofe ultravioleta**.

Podemos observar melhor esta divergência em um gráfico da relação entre o Comprimento de Onda e a Intensidade da radiação emitida por um corpo negro nas temperaturas de 5000K, 4000K e 3000K, como o mostrado na Figura 16. A curva mais a direita foi traçada usando as equações da teoria eletromagnética clássica. As outras três curvas foram traçadas a partir de medidas experimentais. Note que na temperatura de 5000K, existe uma forte divergência entre a previsão clássica e os dados experimentais. Note ainda que quanto menor o comprimento de onda, e consequentemente maior a frequência, a divergência é cada vez maior de modo que ao se aproximar do comprimento de onda do ultravioleta a intensidade tende ao infinito.

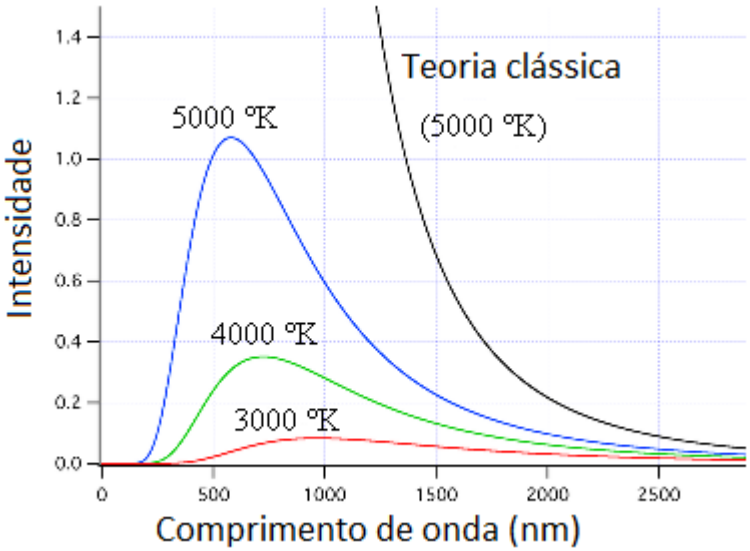


Figura 16: *Catástrofe ultravioleta.*

Tentando encontrar uma lei que empiricamente se ajustasse aos dados experimentais, Planck, em uma decisão que ele próprio caracterizou como um desespero, formulou uma nova hipótese para explicar a natureza da radiação emitida por um corpo negro. Ele considerou que a energia radiante não é emitida ou absorvida de formar contínua, mas sim, em porções descontínuas, de modo que cada uma dessas porções possuía uma quantidade de energia bem definida. Essa quantidade de energia foi denominada *quantum*, palavra cujo plural é *quanta*, por isso o nome **teoria quântica**. Planck sugere em sua teoria que a energia (E) é uma grandeza quantizada diretamente proporcional a sua frequência (***f***), de modo que:

$$E = h.f$$

Onde ***h*** é uma constante que ficou conhecida como a constante de Planck e vale ***h*** = 6,63 x 10^{-34} J.s. Essa teoria renderia a Planck o prêmio Nobel de Física. Essa teoria também marcou o que hoje conhecemos como sendo o início da Física Moderna, sendo os conhecimentos até aquele momento chamados de Física Clássica.

1.7 – Explicação do Efeito Fotoelétrico

Foi após esses acontecimentos que Einstein imaginou que não só a radiação térmica, mas qualquer radiação, inclusive a luz, era composta por "pacotes" quantizados de energia, os fótons. Einstein propôs que os fótons interagem com a matéria, comportando-se como partículas, cedendo sua energia a um elétron individual. Usando as ideias de Einstein, vamos verificar como podemos explicar o efeito fotoelétrico e entender porque a teoria clássica apresenta as inconsistências já comentadas.

1 – Relação entre a intensidade da luz incidente e a intensidade da corrente fotoelétrica: A energia cinética adquirida por um fotoelétron deve ser a diferença entre a energia que ele recebeu e a que é gasta para ele ser arrancado do material ao qual ele pertence:

(Energia cinética do elétron) = (Energia recebida do fóton) - (Energia gasta para ele ser arrancado)

$$E_c = h.f - \phi$$

Onde ***f*** é a frequência do fóton, ***h*** é a constante de Planck e **ϕ** é a função trabalho do material , que será explicada a seguir. Note que um fotoelétron pode ser arrancado com Energia Cinética nula, ou seja, pode ser arrancado com velocidade nula. Então, a menor quantidade de energia gasta para arrancar um

elétron, chamada de **Função Trabalho ϕ** do material, é a mínima quantidade de energia necessária para realizar o trabalho de arrancar o elétron do material. logo:

$$E_c = h.f - \phi \Rightarrow 0 = h.f_0 - \phi \Rightarrow \boxed{\phi = h.f_0}$$

Onde f_0 é a menor frequência da radiação capaz de causar o efeito fotoelétrico num material, chamada de ***Limiar de Frequência***.

Portanto, a explicação proposta por Einstein está de acordo com o observado no experimento.

1- A energia adquirida pelos fotoelétrons não depende da intensidade da luz incidente e sim da frequência da mesma, como foi visto da simulação sobre efeito fotoelétrico, a intensidade da radiação incidente influência apenas o número de fotoelétrons emitidos.

2- Este resultado também explica a incoerência na relação entre **a frequência da luz incidente e a ocorrência do Efeito Fotoelétrico**, prevista pela teoria clássica do eletromagnetismo. Podemos perceber que a força aplicada ao elétron não depende da intensidade da luz, por isso o efeito fotoelétrico não ocorrerá para qualquer frequência da luz, mesmo que ele tenha uma intensidade elevada.

3- A interação entre os fótons e os elétrons ocorre praticamente de forma instantânea, de modo similar a colisão de partículas, o que explica a divergência entre o tempo de descarregamento do eletroscópio do ***vídeo 3*** e o lapso de tempo calculado no exercício ***resolvido R 1.2***.

1.8 – Dualidade da luz

Ao longo do ensino médio estudamos vários fenômenos onde a luz é associada sempre a um comportamento ondulatório, por exemplo: reflexão, refração, polarização, difração. Mas o efeito fotoelétrico que acabamos de estudar é um fenômeno onde a interação entre a luz e os elétrons nos mostra um comportamento diferente, onde a energia quantizada em fótons interage com os elétrons como se fossem pequenos corpos (corpúsculos), ou seja, a luz comporta-se como partícula.

Alguns fenômenos, dentre eles o efeito fotoelétrico, só podem ser explicados levando em conta o comportamento corpuscular da luz. Niels Bohr, físico dinamarquês, formulou uma hipótese chamada de ***Principio da complementaridade***, onde postula que a luz se comporta como onda na explicação dos fenômenos citados ou como partícula na explicação do efeito fotoelétrico, nunca das duas maneiras ao mesmo tempo. Como em alguns fenômenos encaramos a luz se comportando como uma onda e em outros se comportando como partícula, aceitamos a ideia de uma natureza dual, chamada na física de **dualidade onda-partícula**.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R 1.2 (Pietrocola) Quais são os princípios básicos resultantes descobertos por Einstein nas experiências feitas com o efeito fotoelétrico?

Solução:

I)Quando se aumenta a intensidade da radiação incidente sobre uma chapa metálica, aumenta o número de elétrons emitidos com a mesma energia cinética e não aumenta a energia cinética de um mesmo número de elétrons como previa a teoria clássica.

II) Se a frequência da radiação é muito baixa, não há emissão de elétrons, independente da radiação. A emissão passa a ocorrer a partir de um certo valor mínimo da frequência e a energia cinética dos elétrons é proporcional à frequência da radiação. Não ocorrendo emissão de elétrons para qualquer frequência como previa a teoria clássica.

III) Não lapso de tempo para a emissão.

R 1.3 (Ramalho) A função trabalho do zinco é 4,30 eV. Um fotoelétron do zinco é emitido com energia cinética máxima de 4,20 eV. Qual é a frequência f do fóton incidente que emitiu aquele fotoelétron? (Dado: constante de Planck h = 6,63 x 10^{-34} J.s ; 1 eV = 1,60 x 10^{-19} J).

$$Dados: \begin{cases} \phi = 4{,}30\ eV \\ E_{c(máx)} = 4{,}20\ eV \\ h = 6{,}63\ \times 10^{-34} J.s = 4{,}14 \times 10^{-15} eV.s \end{cases}$$

$$E_{c(máx)} = h.f - \phi \Rightarrow 4{,}20 = 4{,}14 \times 10^{-15}.f - 4{,}30 \Rightarrow \boxed{f = 2{,}05 \times 10^{15} Hz}$$

R 1.4 (UFC-CE – Modificada) A função trabalho de um dado metal é 2,50 eV.

a) Qual a frequência mais baixa da luz incidente capaz de arrancar elétrons do metal?

$$Dados: \begin{cases} \phi = 2{,}50\ eV \\ h = 6{,}63\ \times 10^{-34} J.s = 4{,}14 \times 10^{-15} eV.s \\ f_0 = ? \end{cases}$$

$$\phi = h.f_0 \Rightarrow 2{,}5 = 4{,}14 \times 10^{-15}.f_0 \Rightarrow \boxed{f_0 = 2{,}19 \times 10^{15} Hz}$$

b) Verifique se ocorre emissão fotoelétrica quando sobre esse metal incide luz de comprimento de onda λ=6,00 x 10^{-7} m.

$$Dados: \begin{cases} f_0 = 2{,}19 \times 10^{15} Hz \\ C = 3{,}00\ \times 10^{8} m/s \\ \lambda = 6{,}00\ \times 10^{-7} m \end{cases}$$

$$V = \lambda.f \Rightarrow 3{,}00\ \times 10^{8} = 6{,}00\ \times 10^{-7}.f \Rightarrow \boxed{f = 5{,}00 \times 10^{14} Hz}$$

Como a frequência encontrada (f) é menor que o limiar de frequência (f_0), não ocorre emissão fotoelétrica para λ=6,00 x 10^{-7} m.

1.9– A constante de Planck.

Após a decisão de Planck de inserir uma constante no modelo matemático visando ajustá-lo os dados experimentais, ele realizou os cálculos matemáticos para encontrar o valor da constante empírica. Como a matemática envolvida está além dos propósitos desta discussão, vamos realizar um procedimento experimental para encontrar o valor da constante de Planck. Este procedimento envolve a utilização de LEDs, que é a sigla para Light Emitting Diode, que significa diodo emissor de luz.

1.9.1– Noções do funcionamento de um "LED"

Antes de iniciar o procedimento experimental, vamos entender como o LED funciona. Ele transforma energia elétrica em luz, mas não da mesma forma que as lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Observe na Figura 17, os elementos de um LED.

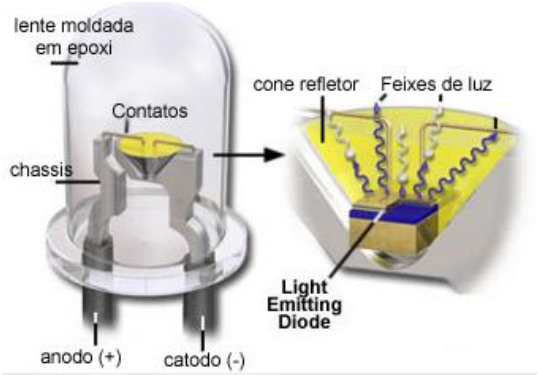


Figura 17: *Esquema com elementos do LED.*

O termo diodo se refere a um tipo simples de semicondutor, que é um material capaz de conduzir corrente elétrica em situações especiais. Quanto as cores emitidas, elas são obtidas de acordo com o revestimento dos semicondutores, num procedimento chamando dopagem, que é um processo de adicionar "impurezas" em materiais semicondutores. No caso dos LEds, dependendo das "impurezas" teremos emissão de luz em diferentes cores. Como exemplo, dopando o material semicondutor com fósforo, teremos a emissão de luz amarela ou vermelha, dependendo da concentração de fósforo. Agora, se o material utilizado for fosfeto de gálio dopado com nitrogênio, a luz emitida pode ser verde ou amarela. Ao dopar o material, o equilíbrio é alterado através da adição de elétrons livres ou lacunas onde elétrons podem ocupar. Um semicondutor com elétrons livres é chamado de tipo-N e o semicondutor com lacunas extras é chamado de tipo-P. O LED é composto de uma junção de uma material tipo-N com um material tipo-P, chamada de junção PN.

Quando o LED não está submetido a uma ddp os elétrons do material tipo-N preenchem as lacunas do material tipo-P, formando uma zona chamada de zona vazia e o material semicondutor torna-se isolante. Aplicando uma ddp, os elétrons migram de lacuna em lacuna, da área carregada negativamente para uma área carregada positivamente. Essa passagem dos elétrons de lacuna em lacuna exige que o elétron migre para um orbital mais baixo, fazendo com que os elétrons liberem energia na forma de fótons, ou seja, luz. Isso acontece por que quando aplicamos uma diferença de potencial negativa no material do tipo-N e positiva no material tipo-P, os elétrons livres do material do tipo-N e as lacunas do material do tipo-P se deslocam em direção a junção PN e nessa junção, os elétrons e as lacunas ocupam diferentes níveis de energia, então quando um elétron ocupa uma lacuna, uma determinada quantidade de energia (E=hf) é liberada na forma de um fóton.

A diferença de potencial mínima capaz de fazer os elétrons vencerem a barreira de energia/potencial

$$E_c = e.V_0 \Rightarrow e.V_0 = h.f$$

Isolando a constante de Planck (h): $\boxed{h = \frac{e.V_0}{f}}$

Onde:

$\boldsymbol{e}$ = carga do elétron;

$\boldsymbol{V_0}$ = tensão mínima para emissão de fótons;

$\boldsymbol{f}$ = frequência associada a cor do LED.

Portanto, para determinar a constante de Planck, faz-se necessário encontrar a diferença de potencial V_0 em que este processo começa a acontecer. No próximo experimento, vamos encontrar o valor de V_0 para três LEDs de cores diferentes.

USANDO EXPERIMENTOS COM O PROFESSOR...

Experimento 3: Determinação Experimental da Constante de Planck (h).

Neste experimento utilizaremos LEDS de cores diferentes e vamos submetê-los a diferenças de potencial (ddp's), desde zero até a tensão de trabalho de cada LED, com a ajuda de uma fonte de tensão variável. Usaremos multímetros, que são instrumentos utilizados para medir grandezas elétricas, para aferir as correntes e as ddp's aplicadas aos LEDS durante o experimento. A montagem experimental está mostrada na Figura 18, abaixo. O material necessário para sua montagem é:

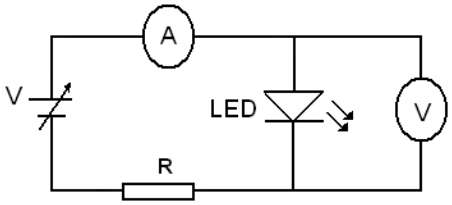


Figura 18: *Circuito contendo, fonte de tensão, LED, voltímetro, amperímetro e resistor.*

- Uma Fonte de tensão variável;
- Uma *Protoboard*;
- Três LEDs, sendo um vermelho, um verde e um azul;
- Um Voltímetro;
- Um Amperímetro;
- Um resistor de 100 ohms;

Dados técnicos dos leds

Na Tabela 4, temos os dados especificados pelo fabricante:

LED	Comprimento de onda (λ)	Frequência (f)
Azul	$4{,}30 \times 10^{-7}$ m	$6{,}98 \times 10^{14}$ Hz
Verde	$5{,}57 \times 10^{-7}$ m	$5{,}39 \times 10^{14}$ Hz
Vermelho	$6{,}48 \times 10^{-7}$ m	$4{,}63 \times 10^{14}$ Hz

Tabela 4: *Comprimentos de onda e frequências de cada LED (dados do fabricante).*

Parte 1 - Tomada de dados

1- Antes de ligar o circuito, ajustar o potenciômetro para o valor mínimo;

2- Conectar o LED vermelho na *protoboard*;

3- Ajustar a tensão, girando o botão do potenciômetro no sentido horário, até um ponto onde o multímetro utilizado com amperímetro indicar passagem de corrente no LED, anote o valor da tensão e da corrente na Tabela 5.

4- Agora, aumente a tensão, gradativamente, anotando o valor da corrente correspondente numa tabela como mostrada abaixo a cada tensão na Tabela 5.(**Atenção: não ultrapasse o valor de 3,50 V, pois o LED poderá ser avariado)**;

5- Os passos de 1 até 4 devem ser repetidos para o LED verde e para o LED azul, e os valores são obtidos da mesma forma que procedemos com o LED vermelho

Medida	LED vermelho		LED verde		LED azul	
	V(V)	I (mA)	V(V)	I (mA)	V(V)	I (mA)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Tabela 5: *Dados de Corrente I (mA) em função da tensão V(V) obtidos na realização do experimento 3*

6) Pela Tabela 5 percebemos que o valor da tensão para qual a corrente deixa de ser nula são diferentes para cada Led. Por que você acha que isso acontece?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, escreva a correção da sua resposta aqui.
_____ _____ _____	

Vamos encontrar um valor aproximado de V_0 (valor da tensão para qual a corrente deixa de ser nula) construindo um gráfico dos valores de corrente em função da ddp, registrados na Tabela 5.

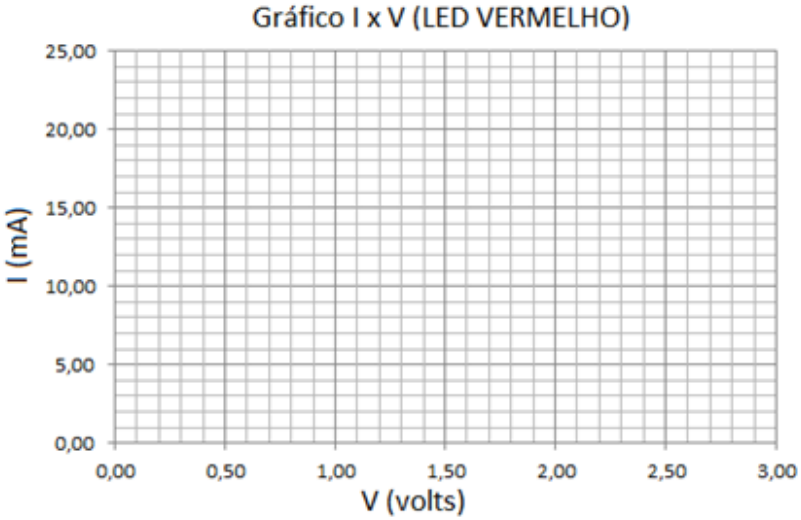


Gráfico 1: *Relação entre corrente (mA) e tensão (V) para o LED vermelho.*

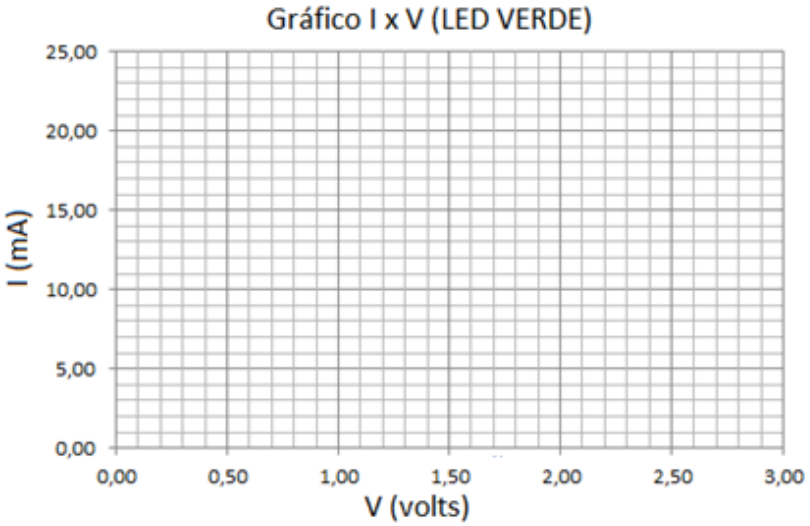


Gráfico 2*: Relação entre corrente (mA) e tensão (V) para o LED verde.*

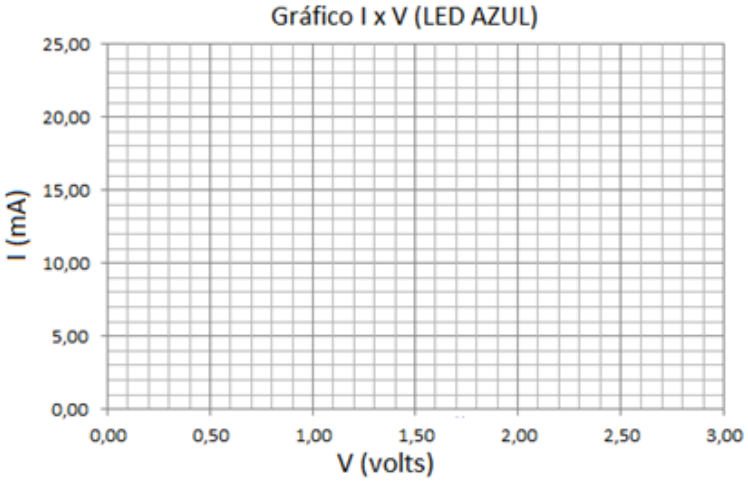


Gráfico 3: *Relação entre corrente (mA) e tensão (V) para o LED azul.*

7) Quais as principais diferenças entre os 3 gráficos? Como podemos explicar matematicamente estas diferenças?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, escreva a correção da sua resposta aqui.
_____ _____ _____	

Nos três gráficos inicialmente a corrente é nula, mas a partir de uma certa tensão, a corrente adquire um valor diferente de zero que vai aumentando até que os gráficos tornam-se praticamente lineares. Desse modo, a partir da região onde cada gráfico apresenta uma relação linear entre tensão e corrente, podemos traçar uma reta que intercepte o eixo das tensões, indicando a tensão mínima (V_0) aproximada onde tem inicio a emissão de fótons.

Parte 2 - Determinação de V_0 a partir do gráfico

Para o LED VERMELHO

$$h = \frac{e.V_0}{f}$$

Para o LED VERDE:

$$h = \frac{e.V_0}{f}$$

Para o LED AZUL:

$$h = \frac{e.V_0}{f}$$

<u>Procedimento Alternativo</u>

Vamos fazer os cálculos para encontrar a equação da reta que intercepta o eixo x para cada LED:

Primeiro vamos fazer o cálculo do coeficiente angular da reta de cada gráfico. O cálculo do coeficiente angular de uma reta é dado pela expressão:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = m$$

No nosso caso, no eixo y estão representados os valores da corrente (I) do LED e no eixo x estão representados os valores da variação da Tensão (V), Então:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = m$$

Podemos escolher dois pontos do gráfico de cada LED, dentro da região onde os gráficos mostram uma relação linear entre I e V, ou seja, onde o gráfico tem a forma aproximada de uma reta:

Para o LED VERMELHO podemos escolher os pontos __ e __:

$$m_{vermelho} = \frac{\Delta I}{\Delta V}$$

Para o LED VERDE, podemos escolher os pontos __ e __:

$$m_{verde} = \frac{\Delta I}{\Delta V} =$$

Para o LED 3 AZUL, podemos escolher os pontos __ e __:

$$m_{azul} = \frac{\Delta I}{\Delta V}$$

Agora, podemos encontrar onde a reta intercepta o eixo x, ou seja, o valor da tensão mínima (V_0):

Para o LED VERMELHO:

$$m_{vermelho} = \frac{I_{10} - 0}{V_{10} - V_0}$$

Para o LED VERDE:

$$m_{verde} = \frac{I_{10} - 0}{V_{10} - V_0}$$

Para o LED 3 AZUL:

$$m_{azul} = \frac{I_{10} - 0}{V_{10} - V_0}$$

Calculando o valor de h para cada LEd

Para o LED VERMELHO

$$h = \frac{e.V_0}{f}$$

Para o LED VERDE:

$$h = \frac{e.V_0}{f}$$

Para o LED AZUL:

$$h = \frac{e.V_0}{f}$$

Os valores encontrados para h em nosso experimento estão bem próximos do valor de referência encontrado nos livros? Lembre-se que a dimensão, 10^{-34}! Um valor muito pequeno em comparação aos valores usados por nós no cotidiano.

1.10– Exercícios propostos

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

E 1.1 (UFRGS-RS - modificada) Considere as seguintes afirmações sobre o efeito fotoelétrico.

I. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por qualquer radiação eletromagnética.

II. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

III. Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais estão corretas?

a) Apenas I.

b) Apenas II.

c) Apenas I e II.

d) Apenas II e III.

e) I, II e III.

E 1.2 (Gaspar) A superfície de um coletor de alumínio polido é atingida por uma radiação ultravioleta de frequência $1,2 \times 10^{15}$ Hz. Sabendo que a função trabalho do alumínio é 4.1 eV, determine:

a) A energia dos fótons dessa radiação em elétrons-volt;

b) A enérgica cinética máxima dos elétrons emitidos por essa radiação;

c) A frequência de corte, menor frequência capaz de provocar a emissão de elétrons do alumínio.

Dados: Constante de Planck: $h = 6,6 \times 10^{-34}$ J.s; 1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J

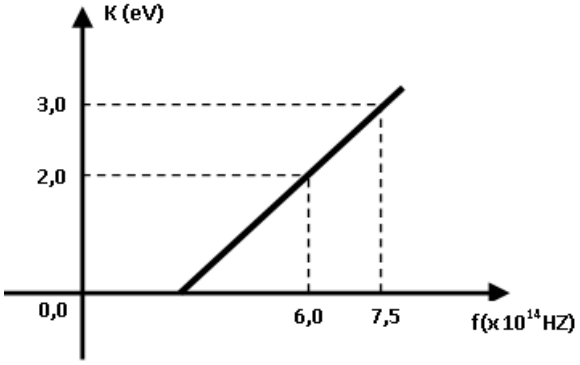
E 1.3 (Ramalho) Qual das explicações lhe parece correta para o efeito fotoelétrico?

a) Choque elástico entre partículas leves e núcleos.
b) Produção de raios X, quando há choque de elétrons em uma placa de metal.
c) Produção de luz por modificação energética de um sistema atômico.
d) Arrancamento de elétrons de uma substância por incidência de radiação eletromagnética.
e) Nenhum dos fenômenos acima.

E 1.4 (Ramalho - modificada) A porta automática de um *Shopping Center*, as calculadoras e relógios que funcionam com energia solar são recursos tecnológicos utilizados no dia-a-dia de uma cidade e que envolvem energia luminosa e cargas elétricas, constituindo o fenômeno físico conhecido como "efeito fotoelétrico". Sobre esse tema, julgue as afirmativas:

(0) Quando um fóton incide sobre um pedaço de metal e interage com um elétron, este absorve a energia daquele e pode ser arrancado do metal.
(1) A velocidade dos elétrons que se desprendem do metal devido à incidência da luz depende da frequência e da intensidade da luz.
(2) A luz tem natureza dual (onda-partícula), sendo o efeito fotoelétrico uma manifestação do aspecto corpuscular.

E 1.5 (UFC-CE) O gráfico mostrado abaixo resultou de uma experiência na qual a superfície metálica de uma célula fotoelétrica foi iluminada, separadamente, por duas fontes de luz monocromática distintas de frequências f_1 = 6,0 x 10^{14} Hz e f_2= 7,5 x 10^{14} Hz, respectivamente. As energias cinéticas máximas, K_1 = 2,0 eV e K_2 = 3,0 eV dos elétrons arrancados do metal, pelos dois tipos de luz, estão indicadas no gráfico.



A retal que passa pelos dois pontos experimentais do gráfico obedece à relação estabelecida por Einstein para o efeito fotoelétrico, ou seja:

$$K = hf - \phi$$

Onde h é a constante de Planck e ϕ é a chamada função trabalho, características de cada material. Baseando-se na relação de Einstein, o valor calculado de ϕ, em elétron-volts, é:

a) 1,3
b) 1,6
c) 1,8
d) 2,0
e) 2,3

E 1.6 (UFMG) Em condições normais, o olho humano pode detectar em média 10^{-18} Joules de energia eletromagnética. Quantos fótons de 6000 ângstrons essa energia representa? Dados: Constante de Planck: h = 6,6 x 10^{-34} J.s; 1 Å = 1,0 x 10^{-10} m e C = 3,0 x 10^{8} m/s.

E 1.7 (Unemat-MT) Na história da Física, existem vários exemplos de conceitos que exigiram revisão ou mesmo substituição, quando novos dados experimentais se opuseram a eles. Em relação à natureza da luz do comportamento da luz, isso não foi diferente, sendo resolvido somente no último século pela Mecânica Quântica. Qual é a natureza do comportamento da luz para Mecânica Quântica?

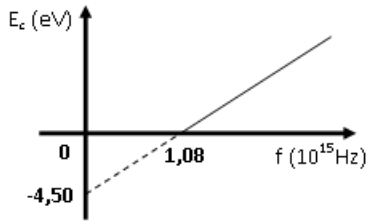
a) Natureza corpuscular.
b) Natureza ondulatória.
c) Natureza “dual”, ou seja, às vezes se comportando como onda e às vezes como partícula.
d) Natureza “dual”, ou seja, sempre se comportando como partícula.
e) Natureza “dual”, ou seja, sempre comporta como onda.

E 1.8 (UFMG) Dois feixes de raios X, I e II, incidem sobre uma placa de chumbo e são totalmente absorvidos por ela. O comprimento de onda do feixe II é três vezes maior que o comprimento de onda do feixe I. Ao serem absorvidos, um fóton do feixe I transfere à placa de chumbo uma energia E_1 e um fóton do feixe II, uma energia E_2. Considerando-se essas informações, é correto afirmar que:

a) $E_2 = 9E_1$
b) $E_2 = 3E_1$
c) $E_2 = E_1$
d) $E_2 = \frac{E_1}{3}$

E 1.9 (Nicolau) É possível extrair elétrons de uma amostra de cobre com luz visível? A função trabalho do cobre é 4,70 eV e a frequência da luz visível varia de $4,5 \times 10^{14}$ Hz a $7,5 \times 10^{14}$ Hz. É dada a constante de Planck: $h = 4,14 \times 10^{-15}$ eV.s

E 1.10 (Nicolau) O gráfico abaixo mostra como varia a energia cinética máxima dos elétrons emitidos por um metal em função da frequência da radiação incidente.
Dados: Constante de Planck: h = = $4,14 \times 10^{-15}$ eV.s e C = $3,0 \times 10^{8}$ m/s.



a) Qual é a função trabalho do metal?
b) Qual é a frequência de corte e o correspondente comprimento de onda da radiação incidente capaz de extrair elétrons do metal?

1.10.1 – Confecção do segundo Mapa Conceitual

Nome: _____

CONSTRUÇÃO DE MAPA CONCEITUAL

Construa, no espaço abaixo, um Mapa Conceitual sobre seu entendimento a respeito do **Efeito fotoelétrico .**

Explique, no espaço abaixo, detalhadamente, o Mapa Conceitual que você acabou de construir. Se necessário, utilize o verso da folha.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

SEÇÃO COMPLEMENTAR I – Processos de Eletrização e funcionamento do eletroscópio.

Eletrização por atrito

Para quem não se lembra, vamos fazer uma breve revisão das características do processo de eletrização por atrito aprendido nas aulas de eletrostática, onde a carga elétrica adquirida pelos corpos atritados apresentam sinais contrários de acordo com as posições dos materiais dos corpos na série triboelétrica. Para o papel e o PVC, temos a seguinte configuração após atritá-los: Papel adquire carga positiva e o PVC carga negativa.

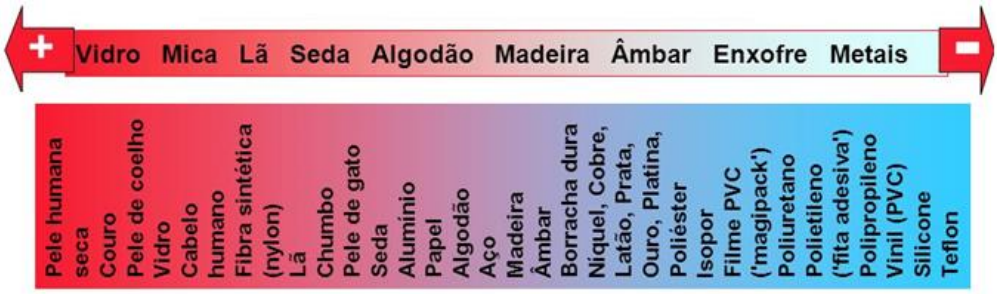


Figura 19: *Série triboelétrica.*

Eletrização por contato

Na eletrização por contato, a menos um corpo deve estar carregado eletricamente. Considere dois corpos, A e B, sendo A carregado positivamente e B um corpo neutro. Quando colocamos estes corpos em contato, as cargas positivas do corpo A atraem os elétrons do corpo B, e quando separamos os corpos percebemos que o corpo B também estará eletrizado, com carga de mesmo sinal que o corpo A.

Eletrização por indução

Assim como fizemos na eletrização por atrito, vamos revisar as características do processo de **eletrização por indução.**

Observe bem a sequência exata dos eventos para obter eletrização por indução.

Esfregue, vigorosamente, o papel num tubo de pvc, conseguindo assim eletrizar o tubo com cargas negativas.

Seguindo os passos abaixo, podemos eletrizar o eletroscópio por indução.

1° Aproxime o tubo da placa de um eletroscópio (sem tocar na placa).

2° Encoste seu dedo na placa do eletroscópio e aguarde alguns segundos.

3° Mantenha o tubo próximo à placa e afaste o seu dedo.

4° Finalmente afaste o tubo da placa.

Ao se aproximar um corpo eletrizado (indutor) de um corpo neutro (induzido) ocorre uma separação das cargas elétricas de sinais opostos no corpo neutro. Então é só fazer uma aterramento no corpo induzido (ligar um fio à terra e ao induzido), de modo que elétrons possam ir da Terra para o induzido ou do induzido para a Terra, dotando o induzido de carga. O indutor e o induzido terão cargas de sinais opostos.

Funcionamento do eletroscópio.

Quando aproximamos um corpo eletrizado da placa condutora do eletroscópio, pelo processo de indução, as cargas de mesmo sinal do material eletrizado são repelidas para as duas hastes metálicas.

Como a haste fina e a haste grossa ficam com excessos de cargas de mesmo sinal, elas tendem a se afastar, pois cargas de mesmo sinal se repelem.

Quando encostamos um corpo eletrizado negativamente na placa do eletroscópio inicialmente descarregado, cargas negativas são transferidas para o eletroscópio se distribuindo tanto para a placa quanto para as hastes metálicas.

Assim, a haste fina e a haste grossa, ficam com excessos de cargas negativas e se afastam.

No caso de encostarmos um corpo eletrizado positivamente na placa do eletroscópio inicialmente descarregado, cargas negativas são transferidas do eletroscópio para o corpo eletrizado, deixando o eletroscópio com déficit de cargas negativas, ou seja, carregado positivamente.

Então, a haste fina e a haste grossa, ficam agora com excesso de carga positiva e se afastam como no caso anterior.

SEÇÃO COMPLEMENTAR II – Intensidade de onda.

A luz é uma onda eletromagnética, logo não resulta da vibração de partículas como nas ondas mecânicas. As ondas eletromagnéticas são transversais e propagam-se tanto em meios materiais quanto no vácuo. Os três parâmetros mais que caracterizam uma onda, são: e comprimento de onda (λ), a frequência (f) e a Amplitude (A).

O comprimento de onda (λ) é a distância entre dois máximos ou mínimos sucessivos. O comprimento de onda λ tem unidade de comprimento.

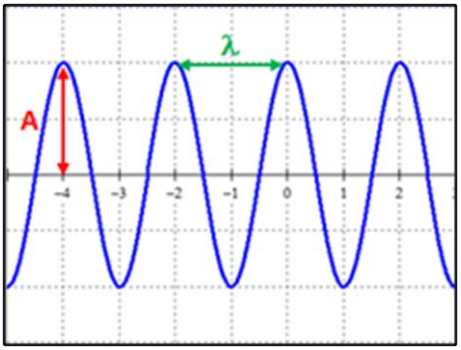


Figura 20: *Elementos de uma onda*

A frequência f é o número de cristas de ondas que passam em um dado ponto por unidade de tempo. A unidade de frequência é igual ao inverso da unidade de tempo e foi batizada de Hertz (Hz), de modo que, 1 Hz = 1 s^{-1}. Considere que temos N ondas por segundo passando por um ponto, e o comprimento de onda de cada onda é λ, a distância percorrida pela onda em 1 segundo é igual ao produto f. λ , o que corresponde a sua velocidade de propagação, ou seja:

$$V = \lambda . f$$

A luz, assim como todas as ondas eletromagnéticas se propagam à mesma velocidade no vácuo, que é de aproximadamente C = 300.000.000 m/s. Então, a expressão acima, pode ser escrita quando as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo, como:

$$\lambda . f = 3{,}00 \times 10^8 m/s$$

A intensidade das ondas está relacionada com a amplitude, da seguinte maneira: Quanto maior a amplitude maior a intensidade da onda, quanto menor a amplitude menor a intensidade.

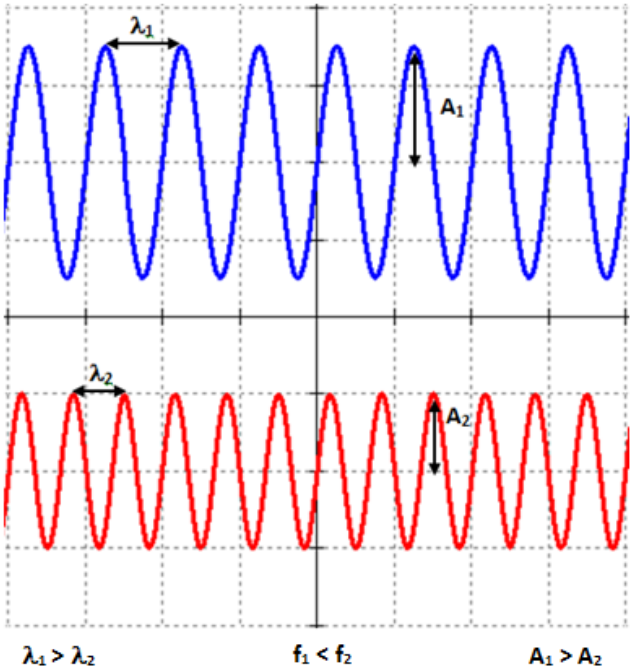


Figura 21: *Relação entre amplitude e intensidade.*

Para calcular a intensidade (I) com que uma onda passa por determinado ponto, devemos levar em conta que em uma onda tridimensional, como é o caso da onda eletromagnética, propaga-se uniformemente em todas as direções, então, por simetria, podemos afirmar que as frentes de ondas formarão superfícies esféricas. Podemos fazer uma analogia com o processo de inflar uma bexiga, dessas que enfeitam aniversários de crianças. Quando inflamos uma bexiga notamos que ela fica cada vez mais transparente, ou seja, quanto maior ela fica mais fina fica sua parede, isso acontece porque a quantidade de borracha da bexiga continua a mesma que ela possuía quando estava murcha, porém, distribuída numa área muito maior que antes de ser inflada.

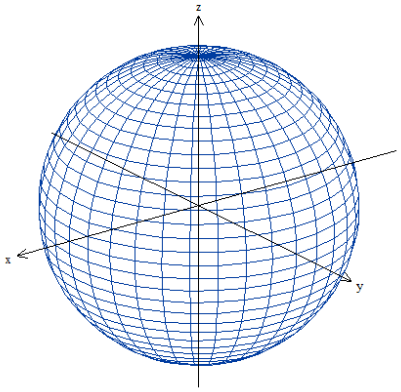


Figura 22: *Frente de onda num ponto afastado da fonte.*

No caso da onda eletromagnética (e outras ondas tridimensionais), a potência (P) da fonte puntiforme se distribui uniformemente em todas as direções, logo, quanto mais longe da fonte menor a intensidade (I) de uma onda, ou seja, a potência (P) da onda se comporta como a quantidade de borracha da bexiga, e a intensidade (I) como a espessura das paredes da bexiga. Matematicamente, temos:

$$I = \frac{P}{A}$$

Lembrando que a área de uma superfície esférica é $A = 4.\pi.r^2$, onde r é o raio.

No sistema internacional, a unidade da intensidade é: W/m^2.

Exemplo: Uma estação de rádio transmite com potência de 100 kW. Determine a intensidade da onda eletromagnética (ou radiação) que atinge um ponto situado a 5.0 km da antena da estação de rádio.
Dado: velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo (ou no ar) c = 3,0 x 10^8 m/s.

Solução:
Considerando o ar um meio homogêneo, as frentes de ondas eletromagnéticas esféricas com centro na antena e a área da superfície esférica $4\pi.r^2$. Então:

$$Dados: \begin{cases} r = 5{,}0\ km = 5{,}0 \times 10^3 m \\ P = 100\ kW = 1{,}0\ \times 10^5 W \\ I = \ ? \end{cases}$$

$$I = \frac{P}{A} \Rightarrow I = \frac{P}{4\pi.r^2.} \Rightarrow I = \frac{1{,}0 \times 10^5 W}{4\pi.(5{,}0 \times 10^3 m)^2} \Rightarrow \boxed{I = 3{,}2 \times 10^{-4}\ W/m^2}$$

USANDO EXPERIMENTOS COM O PROFESSOR...

Experimento: Variação da intensidade da luz com distância.

Material utilizado:

- Um arduino;
- uma protoboard;
- fios (jumpers);
- um led vermelho;
- um sensor LDR (light dependent resistor);
- um resistor de 10k ohms
- um resistor de 100 ohms.

Neste procedimento experimental vamos incidir luz de um LED sobre um sensor **LDR** conectado a plataforma **Arduino**[3] com o intuito de observar como varia a **intensidade** da luz emitida de acordo com a distância da fonte. A montagem experimental está mostrada abaixo figura 23.

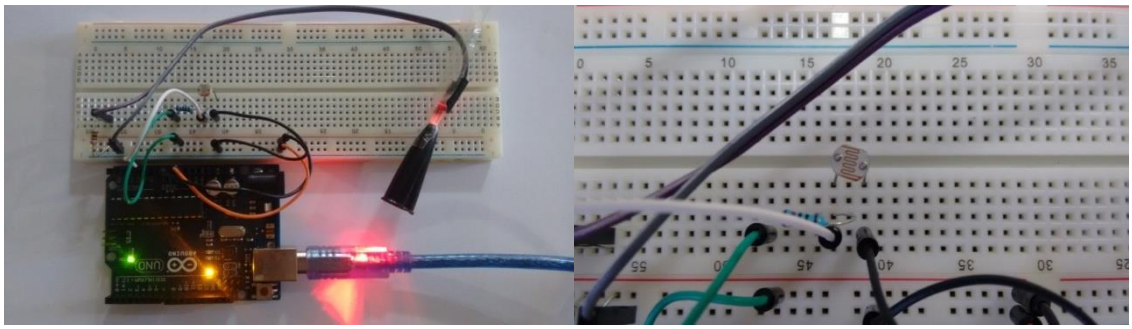


Figura 23: *Arduino, protoboard e cabos para conexão - Detalhe: sensor LDR.*

O LDR (Light Dependent Resistor) é um resistor que varia sua resistência de acordo com a intensidade luminosa. O **Arduino** irá medir a queda de tensão entre os terminais do LDR, o que possibilitará

[3] **Arduino** é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware e software livres.

encontrar sua resistência elétrica e, como a resistência elétrica de um **LDR** é inversamente proporcional à intensidade luminosa que incide sobre ele, a leitura realizada pelo arduino apresenta um valor que pode ser associado à intensidade luminosa do LED.

Vamos utilizar o dispositivo para verificar como a **intensidade** da luz emitida pelo LED Vermelho varia com a distância, procedendo da seguinte forma.

1- Certifique-se que o Arduino associado à montagem 1 está conectado ao computador.
2- Abra o programa de **interface integrada de desenvolvimento** (em inglês - IDE), ou seja, dê um duplo clique com o botão esquerdo do mouse no ícone "**arduino**" na área de trabalho do Windows.
3- Aguarde os pequenos leds contidos no corpo da placa do Arduino pararem de piscar e então aperte (ctrl+shift+M) para abrir o **serial monitor**, que é a janela onde os dados obtidos pelo sensor LDR serão exibidos.
4- Posicione o LED, aceso, próximo do sensor LDR e aguarde alguns segundos. (observe que a tampa de caneta impede que luminosidade do ambiente atrapalhe a medidad).
5- Aproxime e afaste o LED do LDR, sempre mantendo o LDR dentro da tampa de caneta, e observe como a leitura fornecida pelo arduino é alterada.

Circuito

Faça a montagem do circuito, conforme a Figura 24 abaixo.

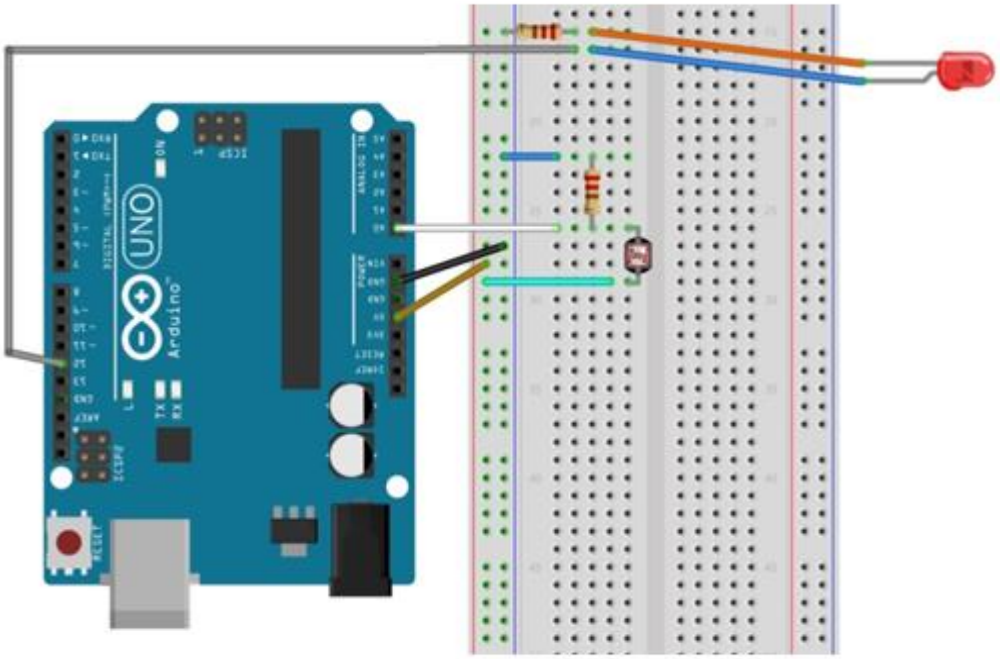


Figura 24: *Esquema do circuito e cabeamento do experimento.*

Programa (sketch)

```
/*
Experimento – Variação da intensidade da luz com a distância.
*/
int sensor = 0;      //Pino analógico em que o sensor está conectado.
int valorSensor = 0; //variável usada para ler o valor do sensor em tempo real.
```

```
//Método setup, executado uma vez ao ligar o Arduino.
void setup(){
//Ativando o serial monitor que exibirá os valores lidos no sensor.
  Serial.begin(9600);
}
//Método loop, executado enquanto o Arduino estiver ligado.
void loop(){

  //Lendo o valor do sensor.
  int valorSensor = analogRead(sensor);

  //Exibindo o valor do sensor no serial monitor.
  Serial.println(valorSensor);

  delay(500);
}
```

SEÇÃO COMPLEMENTAR III – Frequência de onda.

A cor está relacionada à frequência (f), ou ao comprimento de onda (λ) lembre-se que:

$$V = \lambda . f$$

Veja alguns valores na figura 25.

Cor	Comprimento de onda	Frequência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz
ciano	~ 485-500 nm	~ 620-600 THz
azul	~ 440-485 nm	~ 680-620 THz
violeta	~ 380-440 nm	~ 790-680 THz

Espectro Contínuo

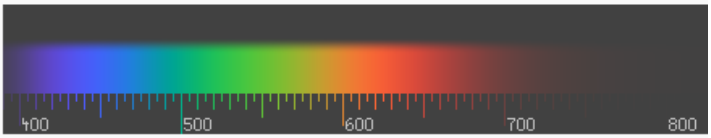


Figura 25: *Comprimento de onda e frequência do espectro visível da luz.*

Para saber mais...

Acesse o link abaixo para ler o artigo: O significado de "cor" em física, onde você pode aprender mais sobre o conceito de cor.

http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num1/v08n01a06.pdf

O artigo do link acima foi retirado da revista Física na Escola, v. 8, n. 1, 2007. Escrito por: Manuel Fernando Ferreira da Silva, Departamento de Física da Universidade da Beira Interior-Covilhã, Portugal.

SEÇÃO COMPLEMENTAR IV – Explicação do funcionamento da porta automática e dos óculos de visão noturna.

Portas automáticas

Uma célula fotoelétrica pode funcionar como geradora de energia elétrica a partir da luz, ou como um sensor capaz de medir a intensidade luminosa. E no caso das portas automáticas, a combinação de uma célula fotoelétrica com um relé permite que essas portas se abram e se fechem apenas com a aproximação de uma pessoa no sensor. Mais, esses aparelhos acionam um dispositivo que funciona como uma maçaneta, abrindo e fechando as portas quando alguém se aproxima do sensor fotoelétrico estrategicamente colocado para que todas as pessoas que passem por ele acione as portas a tempo de abri-las até a sua passagem. Este tipo de célula também é utilizado nos chamados sensores de presença, que acedem ou desligam as luzes de um cômodo dependendo da presença ou não de alguma pessoa.

No caso das lâmpadas dos postes de iluminação pública que acendem e se desligam, os sensores utilizados são sensores fotoemissivos que permitem a passagem da corrente elétrica que acende a lâmpada assim que a intensidade da luz captada pela célula diminui ou que fecha o circuito elétrico quando a intensidade é suficiente para iluminar o ambiente.

Disponível em: http://efeitofotoeletricoelaser.blogspot.com.br/ > Acesso em: Feveriro de 2016.

Óculos de visão noturna

O efeito fotoelétrico é utilizado num dos tipos de instrumento de visão noturna. Esse tipo de instrumento de visão noturna usa um fotocátodo parecido com um tubo fotomultiplicador. Um tubo fotomultiplicador usa o fato de que um elétron que colide com uma superfície metálica com energia cinética de 100 eV em geral expulsa vários elétrons no processo. Nós óculos de visão noturna, as lentes objetivas focam a imagem sobre o fotocátodo e os fótons incidentes fazem com que o fotocátodo libere elétrons. Uma diferença de potencial acelera esses elétrons para dentro de uma placa que contém milhões de canais que funcionam como tubo fotomultiplicadores em miniatura, multiplicando o número de elétrons por um fator em torno de 10^4. Uma segunda diferença de potencial entre a placa que contém os canais e uma tela de fósforo acelera os elétrons multiplicados de modo que colidem com a tela e causam emissão de luz verde onde atingem a tela, formando uma imagem intensificada. Existe outro tipo de instrumento de visão noturna que usa a luz infravermelha emitida por objetos quentes.

BAUER, W.; WESTFALL G. D.; DIAS H. **Física para universitários .**

Óptica e Física Moderna.AMGH Editora, São Paulo.2013.pág. 124.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D., & HANESIAN, H. (1980). **Psicologia educacional** (2ª ed., E. NICK, H. B. C. RODRIGUES, L. PEOTTA, M. A. FONTE, & M. G. R. MARON, Trad.). Rio de Janeiro: Interamericana. (Obra original publicada em 1978).

CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R., SOUZA, D. D., MUZINATTI, J. Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, v. 3, n. 1, p. 24-29, 2002.

GASPAR, Alberto. **Física – Volume 3, Eletromagnetismo e Física Moderna.** 1ª ed. Editora Ática.2000.

GUALTER, J. B., NEWTON, V. B., HELOU, R. D. **FÍSICA 3 – Eletricidade, Física moderna e Análise dimensional.** 15ª Ed. Editora Saraiva.2001.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. **FÍSICA 4.** 4a ed. Editora LTC, Rio de Janeiro. 1992.

MOREIRA, M.A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1(n.2), p. 43-63. 2011.

NICOLAU, G. F., TOLEDO, P. A., RONALDO, F. **Física Básica – Volume Único.**3 ed. São Paulo. Editora Atual. 2009.

PIETROCOLA, M., POGIBIN, A., ANDRADE, R., ROMERO, T.R. **Física em Contextos.** Volume 3. 1a ed. Editora FTD. São Paulo. 2011.

RAMALHO, F. J., NICOLAU, G. F., TOLEDO, P. A. S. **Os Fundamentos da Física – Volume 3.** 8a ed. Editora Moderna. São Paulo. 2003

SANTOS, E. M. F., RIBEIRO-TEIXEIRA, R. M., CAVALCANTE, M. A. Ensino de Óptica na escola de nível médio: utilizando Arduino como ferramenta para aquisição de dados, controle e

automação de experimentos no laboratório didático **Textos de Apoio ao Professor de Física,** IF – UFRGS**.** v.26, n.3, Jul. 2015. Disponível em: < http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/molisani_v26_n3.pdf>. Acesso em: 15 Fev. 2016.

Universidade Federal do Espírito Santo

2015

Efeito Fotoelétrico

Wilson Carminatti Benaquio

Giuseppi Gava Camiletti

APRESENTAÇÃO

Neste suplemento do professor, são encontradas todas as respostas das questões inseridas ao longo do material instrucional, os gabaritos e as resoluções dos exercícios propostos. Além disso, no caso dos experimentos, preenchemos as Tabelas com valores e mostramos como proceder para realizar as tarefas solicitadas.

A avaliação somativa final, resolução das questões da avaliação somativa e os slides utilizados na aula sobre mapeamento conceitual encontram-se estão disponíveis nos Apêndices I, II e III deste suplemento.

Colega professor(a), fique a vontade para usar este material instrucional. Qualquer dúvida ou sugestão pode ser enviada para o e-mail:

fisicawilson2000@hotmail.com

Bom trabalho!

Wilson Carminatti Benaquio

Respostas das perguntas inseridas ao longo do material instrucional

PÁGINA 6

1)Por que a luz ultravioleta é capaz de "expulsar" os elétrons e a luz branca não?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	Porque a luz ultravioleta possui maior frequência que a luz branca.

PÁGINA 7

2)Por que a luz branca e a ultravioleta não são capazes de "descarregar" o eletroscópio positivamente carregado?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____ _____ _____ _____ _____ _____	Porque quando o eletroscópio está carregado positivamente, os elétrons emitidos devido à ação da luz ultravioleta são atraídos e voltam ao eletroscópio.

PÁGINA 9

9-Diminua a intensidade para 50 %, observe e anote abaixo o que observou.

O número de fotoelétrons também diminui.

PÁGINA 10

3)Qual a luz que apresenta a maior frequência ?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____	A luz emitida pelo led ultravioleta.

PÁGINA 11

A segunda coluna da Tabela 1, comprimento de onda, 2 é preenchida com os valores obtidos usando o recurso fita métrica do applet "*wave-interference_pt_BR*" e a terceira será preenchida com o resultado dos cálculos que utilizam os valores da segunda coluna junto com o valor da velocidade da luz no vácuo, usando a expressão e $C = \lambda . f$.

LED	Comprimento de onda (nm)	Frequência da onda (10^{14} Hz)
Vermelho	Entre 622,00 e 780,00	Entre 4,82 e 3,84
Verde	Entre 492,00 e 577,00	Entre 6,10 e 5,20
Violeta	Entre 390,00 e 450,00	Entre 7,69 e 6,65

Tabela 1 – *Comprimento e frequência de luzes vermelha, verde e violeta*

PÁGINA 12

3-Aumente, gradativamente, de 10nm em 10nm, até 300nm, observando a quantidade de fotoelétrons em cada passo e anote abaixo o que observou.

O efeito fotoelétrico acontece para 270 nm e 280 nm, deixando de ocorrer para 290 nm e 300 nm.

Comprimento de onda (λ)	Frequência
270 nm	1,11 x 10^{15} Hz
280 nm	1,07 x 10^{15} Hz
290 nm	1,03 x 10^{15} Hz
300 nm	1,00 x 10^{15} Hz

Tabela 2: *Frequência da luz associada a cada comprimento de onda.*

PÁGINA 13

4-Ajustando o botão do comprimento de onda (Figura 12), procure o maior valor do comprimento de onda entre 280 nm e 290 nm onde começa a ocorrência do efeito fotoelétrico no zinco e calcule a frequência associada a ele, anotando o resultado no espaço abaixo

288 nm

5-Agora, alterando o material no campo "**alvo (material**)" e ajustando o botão do comprimento de onda (Figura 12), procure entre 100 nm e 850 nm (limites do simulador), onde começa a ocorrência do efeito fotoelétrico em cada um dos materiais contido no simulador, preenchendo a Tabela 3 abaixo.

Material	Comprimento de onda (λ)	Frequência
Sódio	539 nm	$5{,}67 \times 10^{14}$ Hz
Cobre	263 nm	$1{,}14 \times 10^{14}$ Hz
Platina	196 nm	$1{,}53 \times 10^{14}$ Hz
cálcio	427 nm	$7{,}03 \times 10^{14}$ Hz
Magnésio	335 nm	$8{,}96 \times 10^{14}$ Hz

Tabela 3: *Frequência da luz associada a cada comprimento de onda e material.*

PÁGINA 14

4) Lembrando-se do vídeo 3 e considerando o que foi realizado nas atividades propostas neste material, o que você diria sobre a previsão da teoria do eletromagnetismo e o que você observou?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____ _____ _____ _____	.Observamos que, experimentalmente o tempo de descarregamento é muito menor do que os 32,5 segundos calculados no exercício acima, ou seja, a teoria eletromagnética falhou mais uma vez!

5) Formule uma explicação para ocorrência do efeito fotoelétrico com base no que você observou nas simulações interativas e atividades realizados ao longo do material..

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, corrija sua resposta aqui.
_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	A energia adquirida pelos fotoelétrons não depende da intensidade da luz incidente e sim da frequência da mesma, além disso, o efeito fotoelétrico não ocorrerá para qualquer frequência da luz, mesmo que ele tenha uma intensidade elevada. A interação entre os fótons e os elétrons ocorre praticamente de forma instantânea não existindo lapso de tempo. .

PÁGINA 21

Os valores usados para preencher a Tabela 5 servem de exemplo para orientar o professor na condução do experimento. **OBS.:** Os valores obtidos ao reproduzir este experimento podem variar de acordo com a calibração dos multímetros e de LEDs de fabricantes diferentes

Medida	LED vermelho		LED verde		LED azul	
	V(V)	I (mA)	V(V)	I (mA)	V(V)	I (mA)
1	1,70	0,00	1,60	0,00	2,24	0,00
2	1,73	0,02	1,73	0,01	2,44	0,01
3	1,80	0,25	1,75	0,02	2,50	0,06
4	1,91	1,95	1,80	0,11	2,55	0,18
5	2,00	4,78	1,85	0,43	2,60	0,49
6	2,10	8,37	1,90	0,96	2,65	0,93
7	2,20	12,05	1,95	1,56	2,70	1,73
8	2,30	15,81	2,00	3,62	2,75	2,78
9	2,40	19,76	2,05	6,75	2,80	4,05
10	2,50	23,61	2,10	9,54	2,85	5,74

Tabela 5: *Dados de Corrente I (mA) em função da tensão V(V) obtidos na realização do experimento 3*

6) Pela Tabela 5 percebemos que o valor da tensão para qual a corrente deixa de ser nula são diferentes para cada Led. Por que você acha que isso acontece?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, escreva a correção da sua resposta aqui.
_____ _____ _____	Os leds são feitos com materiais que possuem funções trabalho diferentes.

Gráficos gerados com os valores de exemplos da Tabela 5.

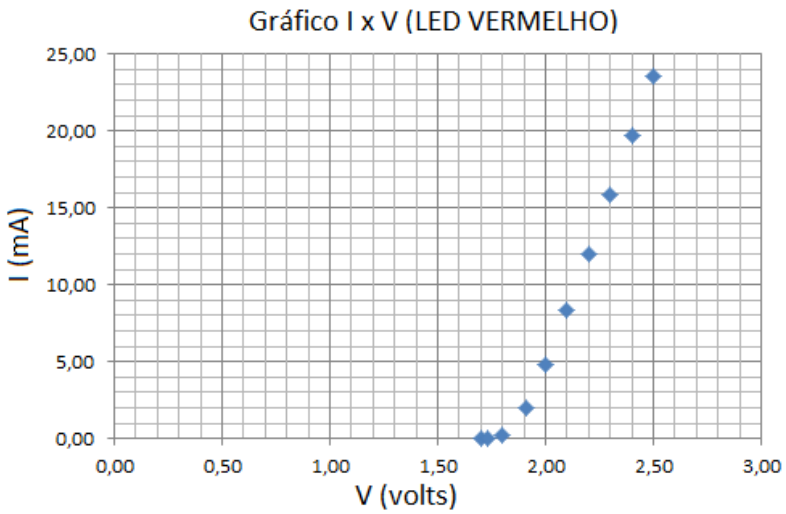


Gráfico 1: *Relação entre corrente (mA) e tensão (V) para o LED vermelho.*

PÁGINA 22

Gráficos gerados com os valores de exemplos da Tabela 5 (continuação).

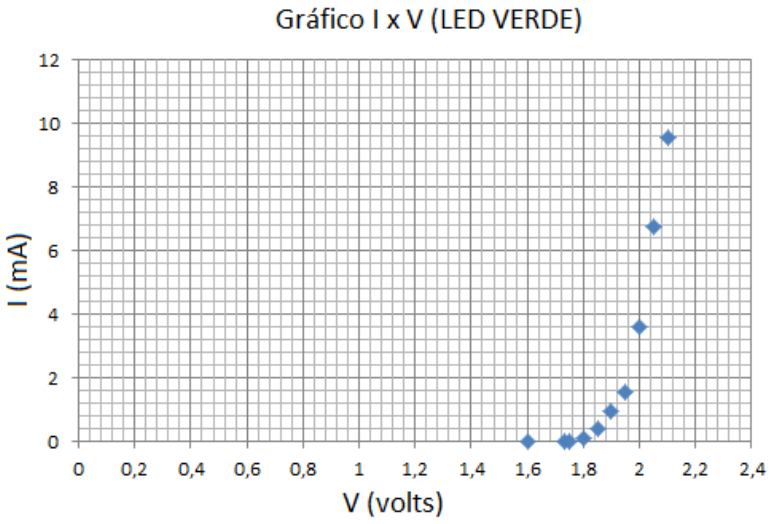


Gráfico 2: *Relação entre corrente (mA) e tensão (V) para o LED verde.*

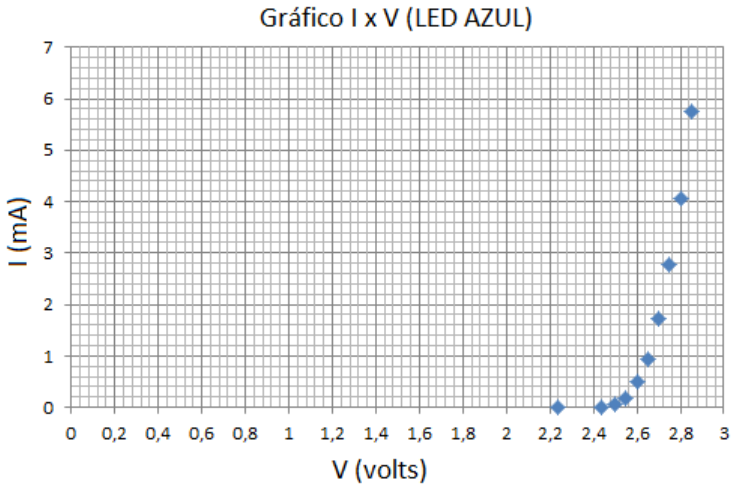


Gráfico 3: *Relação entre corrente (mA) e tensão (V) para o LED azul.*

7) Quais as principais diferenças entre eles? Como podemos explicar matematicamente estas diferenças?

Escreva sua resposta aqui.	Caso necessário, escreva a correção da sua resposta aqui.
_____ _____ _____	Os gráficos tendem a interceptar o eixo x, ou seja, o eixo das tensões em pontos diferentes.

Nos Gráficos 1, 2 e 3, inicialmente a corrente é nula, mas a partir de uma certa tensão, a corrente adquire um valor diferente de zero que vai aumentando até que os gráficos tornam-se praticamente lineares. Desse modo, a partir da região onde cada gráfico apresenta uma relação linear entre tensão e corrente, podemos traçar uma reta que intercepte o eixo das tensões, indicando a tensão mínima (V_0) aproximada onde tem inicio a emissão de fótons.

PÁGINA 23

Parte 2 - Determinação de V_0 a partir do gráfico

Para o LED VERMELHO

$$h = \frac{e.V_0}{f} = \frac{1{,}60.10^{-19}.\mathbf{1,85}}{4{,}63.10^{14}} = \boxed{6{,}40.10^{-34} J.s}$$

Para o LED VERDE:

$$h = \frac{e.V_0}{f} = \frac{1{,}60.10^{-19}.\mathbf{1,92}}{5{,}39.10^{14}} = \boxed{5{,}18.10^{-34} J.s}$$

Para o LED AZUL:

$$h = \frac{e.V_0}{f} = \frac{1{,}60.10^{-19}.\mathbf{2,61}}{6{,}98.10^{14}} = \boxed{5{,}98.10^{-34} J.s}$$

Vamos fazer os cálculos para encontrar a equação da reta que intercepta o eixo x para cada LED:

Podemos escolher dois pontos do gráfico de cada LED, dentro da região onde os gráficos mostram uma relação linear entre I e V, ou seja, onde o gráfico tem a forma aproximada de uma reta:

Para o LED VERMELHO podemos escolher os pontos 4 e 10:

$$m_{vermelho} = \frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{I_{10} - I_4}{V_{10} - V_4} = \frac{23{,}61\,.10^{-3} - 1{,}95\,.10^{-3}}{2{,}50 - 1{,}91} = \boxed{3{,}67\,.10^{-2} A/V}$$

Para o LED VERDE, podemos escolher os pontos 7 e 10:

$$m_{verde} = \frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{I_{10} - I_7}{V_{10} - V_7} = \frac{9{,}54\,.10^{-3} - 1{,}56\,.10^{-3}}{2{,}10 - 1{,}95} = \boxed{5{,}32\,.10^{-2} A/V}$$

Para o LED 3 AZUL, podemos escolher os pontos 6 e 10:

$$m_{azul} = \frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{I_{10} - \Delta L_6}{V_{10} - V_6} = \frac{5{,}74\,.10^{-3} - 0{,}93\,.10^{-3}}{2{,}85 - 2{,}65} = \boxed{2{,}41\,.10^{-2} A/V}$$

PÁGINA 24 - **Determinação de V_0 a partir do gráfico (continuação).**

Agora, podemos encontrar onde a reta intercepta o eixo x, ou seja, o valor da tensão mínima (V_0):

Para o LED VERMELHO:

$$m_{vermelho} = \frac{I_{10} - 0}{V_{10} - V_0} \Rightarrow 3{,}67.10^{-2} = \frac{23{,}61\,.10^{-3} - 0}{2{,}50 - V_0} \Rightarrow \boxed{V_0 = 1{,}85\,V}$$

Para o LED VERDE:

$$m_{verde} = \frac{I_{10} - 0}{V_{10} - V_0} \Rightarrow 5{,}32.10^{-2} = \frac{9{,}54\,.10^{-3} - 0}{2{,}10 - V_0} \Rightarrow \boxed{V_0 = 1{,}92\,V}$$

Para o LED 3 AZUL:

$$m_{azul} = \frac{I_{10} - 0}{V_{10} - V_0} \Rightarrow 2{,}41.10^{-2} = \frac{5{,}74\,.10^{-3} - 0}{2{,}85 - V_0} \Rightarrow \boxed{V_0 = 2{,}61\,V}$$

Calculando o valor de h para para cada LEd

Para o LED VERMELHO

$$h = \frac{e.V_0}{f} = \frac{1{,}60.10^{-19}.1{,}85}{4{,}63.10^{14}} = \boxed{6{,}40.10^{-34} J.s}$$

Para o LED VERDE:

$$h = \frac{e.V_0}{f} = \frac{1{,}60.10^{-19}.1{,}92}{5{,}39.10^{14}} = \boxed{5{,}18.10^{-34} J.s}$$

Para o LED AZUL:

$$h = \frac{e.V_0}{f} = \frac{1{,}60.10^{-19}.2{,}61}{6{,}98.10^{14}} = \boxed{5{,}98.10^{-34} J.s}$$

Os valores encontrados para h em nosso experimento estão bem próximos do valor de referência encontrado nos livros. Observe a dimensão, 10^{-34}! Um valor muito pequeno em comparação aos valores usados por nós no cotidiano.

PÁGINA 25

RESOLUÇÃO DOS EXERCÍCIOS PROPOSTOS

E 1.1) **Letra D** (UFRGS-RS - modificada)

E 1.2)

a) Utilizando a expressão E = h.f, temos:

$$E = h.f \Longrightarrow E = 6{,}6\ x\ 10^{-15}.\ 1{,}2\ x10^{15} \Longrightarrow \boxed{E = 7{,}9\ x\ 10^{-19} J}$$

Convertendo essa resposta para eV, temos:

$$E = 4{,}9\ eV$$

b) Lembrando que a expressão para o cálculo da energia cinética máxima é $E_{C_{máx}} = E - \phi_{Al}$, temos:

$$E_{C_{máx}} = 4{,}9 - 4{,}1 \Longrightarrow \boxed{E_{C_{máx}} = 0{,}8\ eV}$$

c) Primeiro convertemos o valor da função trabalho do alumínio de elétron-volt para Joule:

$$\phi_{Al} = 4{,}1\ eV = 6{,}6\ x\ 10^{-19} J$$

Agora, substituímos os valores na equação $\phi_{Al} = h.f_0$:

$$\phi_{Al} = h.f_0 \Rightarrow 6{,}6\ x\ 10^{-19} = 6{,}6\ x\ 10^{-15}.f_0 \Rightarrow \boxed{f_0 \Rightarrow 1{,}0\ x\ 10^{15}\ Hz}$$

E 1.3) **Letra D**

E 1.4) (Ramalho)

(0) Correta. É a explicação do efeito fotoelétrico por Albert Einstein.
(1) Incorreta. A velocidade dos elétrons que se desprendem do metal por causa da incidência da luz depende da frequência. Quanto à intensidade, afeta o número de fotoelétrons expulsos.
(2) Correta. O efeito fotoelétrico é explicado considerando-se a natureza corpuscular da luz.

E 1.5) **Letra D**

Para a luz de frequência f_1, temos:

$$K_1 = hf_1 - \phi \Longrightarrow 2{,}0 = h.6{,}0\ x10^{14} - \phi \Longrightarrow \boxed{2{,}0 + \phi = h.6{,}0\ x10^{14}}(1)$$

Para a luz de frequência f_2, temos:

$$K_2 = hf_2 - \phi \Longrightarrow 3{,}0 = h.7{,}5\ x10^{14} - \phi \Longrightarrow \boxed{3{,}0 + \phi = h.7{,}5\ x10^{14}}(2)$$

Dividindo (1) por (2), e isolando ϕ temos:

$$\frac{2{,}0 + \phi}{3{,}0 + \phi} = \frac{h.6{,}0\ x10^{14}}{h.7{,}5\ x10^{14}} \Longrightarrow \frac{2{,}0 + \phi}{3{,}0 + \phi} = \frac{4{,}0}{5{,}0} \Longrightarrow 10{,}0 + 5{,}0\phi = 12{,}0 + 4{,}0\phi \Longrightarrow \boxed{\phi = 2{,}0\ eV}$$

E 1.6)

Calculando a energia de um único fóton, temos:

$$E = h.f \Longrightarrow E = h.\frac{c}{\lambda} \Longrightarrow E = 6{,}6\ x\ 10^{-34}\ .\ \frac{3{,}0\ x\ 10^{8}}{6000x10^{-10}} \Longrightarrow \boxed{E \cong 3{,}3\ x\ 10^{-19} J}$$

Para um número n de fótons o enunciado fornece $E_n = 10^{-18}$ J, então:

$$n = \frac{E_n}{E} \Longrightarrow n = \frac{10^{-18}}{3{,}3\ x\ 10^{-19}} \Longrightarrow \boxed{n = 3}$$

E 1.7) **Letra C**

E 1.8) **Letra D**

A energia do feixe I é dado por:

$$E_1 = hf_1 \Longrightarrow \boxed{E_1 = h.\frac{c}{\lambda_1}}(1)$$

A energia do feixe II é dado por:

$$E_2 = hf_2 \Longrightarrow E_2 = h.\frac{c}{\lambda_2} \Longrightarrow \boxed{E_2 = h.\frac{c}{3\lambda_1}}(2)$$

Dividindo (2) por (1), temos:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{h.\frac{c}{3\lambda_1}}{h.\frac{c}{\lambda_1}} \Longrightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{\lambda_1}{3\lambda_1} \Longrightarrow \boxed{E_2 = \frac{E_1}{3}}$$

E 1.9)

Calculando a frequência de corte para o cobre:

$$\phi_{cobre} = h.f_0 \Rightarrow 4{,}70 = 4{,}14\ x\ 10^{-15}\ .f_0 \Rightarrow \boxed{f_0 = 11{,}3\ x\ 10^{14}\ Hz}$$

Como essa frequência está fora da faixa de frequências que compreende a luz visível, podemos afirmar que não é possível extrair elétrons de uma amostra de cobre com luz visível.

E 1.10)

a) Observando, obtemos:

$$\boxed{\phi_{metal} = 4{,}50\ eV}$$

b) Calculando a frequência de corte:

$$\phi_{metal} = h.f_0 \Rightarrow 4{,}50 = 4{,}14\ x\ 10^{-15}\ .f_0 \Rightarrow \boxed{f_0 = 1{,}08\ x\ 10^{15}\ Hz}$$

Calculando o comprimento de onda, temos:

$$C = \lambda.f_0 \Rightarrow 3{,}0\ x\ 10^{8} = \lambda.1{,}08\ x\ 10^{15}\ \Rightarrow \boxed{\lambda \cong 2{,}8\ x\ 10^{-7}\ m}$$

APÊNDICE I – AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL

P 1.1 (ITA-SP modificada) Incide-se luz num material fotoelétrico e não se observa a emissão de elétrons. Para que ocorra a emissão de elétrons a característica da luz que se deve aumentar é o(a)

a) A intensidade da luz.
b) A frequência da luz.
c) O comprimento de onda da luz.
d) A intensidade e a frequência da luz.
e) A intensidade e o comprimento de onda da luz.

P 1.2 (UFMG) O eletroscópio é um aparelho utilizado para detectar cargas elétricas. Ele é constituído de uma placa metálica, que é ligada a duas lâminas metálicas finas por uma haste condutora elétrica. As duas lâminas podem se movimentar, afastando-se ou aproximando-se uma da outra.

A figura I mostra um eletroscópio eletricamente descarregado e a figura II, o mesmo eletroscópio carregado.

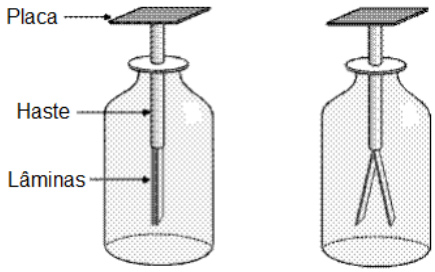


Figura I Figura II

a) Explique por que as lâminas de um eletroscópio se separam quando ele está carregado.

Considerando um eletroscópio inicialmente descarregado, explique:

b) Por que as lâminas se afastam quando luz branca incide sobre a placa.

c) Por que as lâminas não se movem quando luz monocromática vermelha incide sobre a placa.

P 1.3 (UFPA) A energia, em elétron-volt, de um fóton da luz verde do mercúrio, cujo comprimento de onda é 5461 Angstron no vácuo, vale:

Dados: constante de Planck (h) = 6,63 x 10^{-34} J.s ; 1 eV = 1,60 x 10^{-19} J e C = 3,00 x10^{8} m/s.

a) 1,50
b) 2,28
c) 3,55
d) 4,75
e) 6,50

P 1.4 (UFPA) Para remover um elétron de um metal, necessita-se de 4,2 eV de energia. Quando fótons de luz ultra-violeta atingem o metal, elétrons com energia cinética de 1,5 eV são liberados. A energia dos fótons incidentes é em eV:

a) 4,2
b) 1,5 a 4,2
c) 1,5 a 5,7
d) 1,5
e) 5,7

P 1.5 (UFPA) A função trabalho de um certo material é 4,2 eV. O comprimento de onda, em Angstrom, da luz capaz de produzir efeito fotoelétrico, tendo os fotoelétrons emitidos energia cinética de 2,0 eV, é aproximadamente (constante de Planck (h) = 6,6 x 10^{-34} J.s):

a) 2000
b) 1000
c) 200
d) 100
e) 0,2

P 1.6 (UFPA-modificada) Através de ondas eletromagnéticas a terra recebe radiação solar a uma taxa de 2,0 cal/min para cada cm^2 de sua superfície. Admitindo para essas ondas eletromagnéticas um comprimento de onda médio de 5800 Angstrom, calcule em eletronvolt a energia correspondente a um fóton desta radiação e também o número de fótons por minuto que atinge uma área de 1 cm^2 sobre a terra. Adote: constante de Planck (h) = 6,6 x 10^{-34} J.s, 1 cal = 4,2 J, e 1 Angstrom = 10^{-10} m.

P 1.7 (FCC-SP) Dois fenômenos que caracterizam a natureza de dualidade da luz como onda e como partícula são, respectivamente:

a) Difração e efeito fotoelétrico
b) Interferência e refração
c) Difração e refração
d) Efeito fotoelétrico e reflexão
e) Interferência e reflexão

P 1.8 (UFSC) Em um laboratório, são fornecidas a um estudante duas lâmpadas de luz monocromática. Uma emite luz com comprimento de onda correspondente ao vermelho ($\lambda \cong 6{,}2 \times 10^{-7}$ m) e com potência de 150 W. A outra lâmpada emite luz com comprimento de onda correspondente ao violeta ($\lambda \cong 3{,}9 \times 10^{-7}$ m) e cuja potência é de 15 W. O estudante deve realizar uma experiência sobre o efeito fotoelétrico. Inicialmente ele ilumina uma placa de lítio metálico com a lâmpada de 150 W e, em seguida, ilumina a mesma placa com a lâmpada de 15 W. A frequência-limite do lítio metálico é aproximadamente 6,0 x 10^{14} Hz.

Em relação à descrição apresentada, assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

(01) Ao iluminar a placa de lítio com a lâmpada de 15 W, elétrons serão ejetados da superfície metálica.

(02) Como a lâmpada de luz vermelha tem maior potência, os elétrons serão ejetados da superfície metálica, ao iluminarmos a placa de lítio com a lâmpada de 150 W.

(03) A energia cinética dos elétrons, ejetados da placa de lítio, aumenta com o aumento da frequência da luz incidente.

(04) Quanto maior o comprimento de onda da luz utilizada, maior a energia cinética dos elétrons ejetados da superfície metálica.

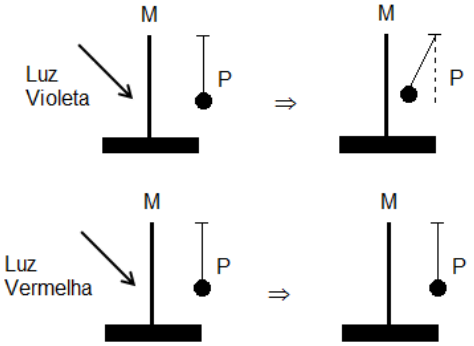
(05) Se o estudante iluminasse a superfície de lítio metálico com uma lâmpada de 5 W de luz monocromática , com comprimento de onda de 4,2 x 10^{-7}m (luz azul), os elétrons seriam ejetados da superfície metálica do lítio.

(06) Se o estudante utilizasse uma lâmpada de luz violeta de 60 W, a quantidade de elétrons ejetados as superfície do lítio seria quatro vezes maior que a obtida com a lâmpada de 15 W.

(07) A energia cinética dos elétrons ejetados, obtida com a lâmpada de luz vermelha de 150 W, é dez vezes maior que a obtida com a lâmpada de luz violeta de 15 W.

P 1.9 (UFSC) Dispõe-se de uma placa metálica M, e de uma esferinha metálica P, muito leve, suspensa por um fio isolante, ambas inicialmente neutras e isoladas. Um feixe de luz violeta incide sobre a placa e, logo em seguida, a bolinha é atraída. Repetindo-se a operação com luz vermelha, isso não ocorre.

As figuras abaixo ilustram o desenrolar dos fenômenos.



Sobre esses fenômenos, é correto afirmar que:

(01) A intensidade da luz vermelha foi menor que aquela da luz violeta.

(02) A placa M, ao ser iluminada pelo feixe violeta, ficou eletrizada.

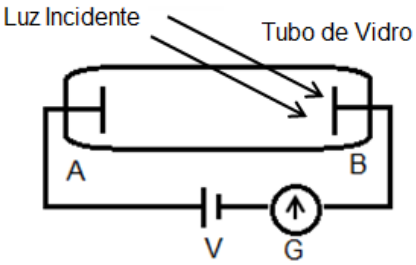
(03) A placa M estava pintada com tinta violeta.

(04) A massa das partículas luminosas do feixe violeta é maior do que a do feixe vermelho.

(05) O fóton de luz violeta tem maior energia que o fóton de luz vermelha.

(06) Aumentando-se o tempo de iluminação da placa M com luz vermelha, ela passaria a atrair a esferinha P.

P 1.10 (UFJF-MG) No esquema da figura abaixo, está representado o arranjo experimental para observar o efeito fotoelétrico. A luz incidente entra no tubo de vidro sem ar em seu interior e ilumina a placa B. As placas metálicas A e B estão conectadas à bateria V. O amperímetro G pode registrar a intensidade da corrente que percorre o circuito.



Podemos variar a intensidade e a frequência da luz incidente na placa B. no início da experiência, usando luz de baixa frequência, a corrente no amperímetro é nula. Nesse caso, podemos afirmar que:

a) Aumentando suficientemente a intensidade da luz, surgirá uma corrente no amperímetro;
b) Aumentando suficientemente o tempo de incidência da luz, surgirá uma corrente no amperímetro;
c) Desligando a bateria V e conectando-a novamente ao circuito com polaridade invertida, surgirá uma corrente no amperímetro;
d) Aumentando suficientemente a frequência da luz, surgirá uma corrente no amperímetro

A corrente no amperímetro continuará nula independente da frequência da luz usada.

APÊNDICE II – RESOLUÇÃO DAS QUESTÕES DA AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL

P 1.1) **letra B**

Para ocorrer o efeito fotoelétrico o fóton deve possuir energia maior que a função trabalho, ou seja, maior que a energia mínima necessária para arrancar o elétron do metal. Lembrando que a energia do fóton é diretamente proporcional a sua frequência, devemos aumentar a frequência da luz incidente.

P 1.2)

- **a)** Quando o eletroscópio é eletrizado, as cargas elétricas em excesso são distribuídas por todas as partes condutoras, inclusive as lâminas que, carregadas com cargas de mesmo sinal, se repelem.
- **b)** Como a luz branca é formada por várias cores (frequências), teremos incidência de fótons com quantidades de energia diferentes. Então, os fótons com energia maior que a função trabalho do metal serão capazes de arrancar elétrons do metal, eletrizando o eletroscópio e consequentemente causando o afastamento das lâminas.
- **c)** A luz de cor vermelha é a de menor frequência no espectro visível, então, provavelmente, os fótons incidentes possuem energia menor que função trabalho do metal. Como os elétrons não são arrancados o eletroscópio permanece descarregado.

P 1.3) **letra B**

$$Dados: \begin{cases} h = 6{,}63 \times 10^{-34} J.s \\ C = 3{,}00 \ \times 10^{8} m/s \\ \lambda = 5461 \ \dot{A} = 5461 \times 10^{-10} m \end{cases}$$

Calculando a frequência:

$$V = \lambda . f$$

$$3{,}00 \ \times 10^{8} = 5461 \times 10^{-10} . f$$

$$f = 5{,}49 \times 10^{14} Hz$$

Calculando a energia:

$$E = h . f$$

$$E = 6{,}63 \times 10^{-34} . 5{,}49 \times 10^{14}$$

$$E = 3{,}64 \times 10^{-19} J$$

Convertendo para eV:

$$E = 3{,}64 \times 10^{-19} J \div 1{,}6 \times 10^{-19}$$

$$E = 2{,}28 \ eV$$

P 1.4) **letra E**

$$Dados \begin{cases} \phi = 4{,}2 \ eV \\ E_{c(máx)} = 1{,}5 \ eV \\ E = ? \end{cases}$$

$$E_{c(máx)} = E - \phi$$

$$1{,}5 = E - 4{,}2$$

$$E = 5{,}7\ eV$$

P 1.5) **letra A**

$$Dados: \begin{cases} h = 6{,}6 \times 10^{-34} J.s \\ E_{c(máx)} = 2{,}0\ eV = 3{,}2 \times 10^{-19} J \\ \phi = 4{,}2 eV = 6{,}7 \times 10^{-19} J \end{cases}$$

Calculando a frequência:

$E_{c(máx)} = h.f - \phi$

$3{,}2 \times 10^{-19} = 6{,}6 \times 10^{-34}.f - 6{,}7 \times 10^{-19}$

$f = 1{,}5 \times 10^{15} Hz$

Calculando o comprimento de onda:

$V = \lambda.f$

$3{,}0\ \times 10^{8} = \lambda.1{,}5 \times 10^{15}$

$\lambda = 2{,}0 \times 10^{-7} m$

$\lambda = 2000\ \dot{A}$

P 1.6) Calculando a energia de um único fóton dessa radiação:

$$E_{fóton} = h.f$$

$$E_{fóton} = h.\frac{c}{\lambda}$$

$$E_{fóton} = 6{,}6 \times 10^{-34}.\frac{3{,}0\ \times 10^{8}}{5800 \times 10^{-10}}$$

$$E_{fóton} = 3{,}4 \times 10^{-\mathbf{19}} J$$

Para converter a resposta em eV, lembre-se que $1eV = 1{,}6 \times 10^{-19} J$, logo:

$$E_{fóton} = 2{,}125\ eV$$

A cada 1 minuto uma área de 1 cm^2 recebe 2,0 cal, ou seja, 8,4 J, então:

$$E = N.E_{fóton}$$

$$8{,}4 = N.3{,}4 \times 10^{-19}$$

$$N = 2{,}47 \times 10^{19}\ fótons$$

P 1.7) letra **A**

Difração é o desvio que uma onda apresenta para contornar ou transpor um obstáculo.
Interferência é a interação quando duas ondas cruzam uma pela outra, podendo ser do tipo construtiva ou do tipo destrutiva.
Refração é o nome do fenômeno que ocorre quando uma onda passa de um meio de propagação para outro de características diferentes. Ao sofrer refração a frequência da onda não é alterada, mas a velocidade e comprimento de onda podem se modificar.
Reflexão é o fenômeno que ocorre quando uma onda ao incidir sobre um obstáculo retorna ao meio de propagação original mantendo suas características.
Efeito fotoelétrico é o efeito que ocorre quando luz de determinadas frequências incidem numa superfície de metal e faz com que elétrons sejam ejetados da superfície. A interação entre os fótons e os elétrons ocorre praticamente de forma instantânea, de modo similar a colisão de partículas

P 1.8) Primeiramente vamos calcular a frequência da luz vermelha.

$$V = \lambda_{verm}.f_{verm}$$

$$3{,}0\ \times 10^{8} = 6{,}2.10^{-7}.f_{verm}$$

$$f_{verm} = 4{,}8 \times 10^{14} m$$

Fazendo o mesmo para a luz violeta.

$$V = \lambda_{viol}.f_{viol}$$

$$3{,}0\ \times 10^{8} = 3{,}9.10^{-7}.f_{viol}$$

$$f_{viol} = 7{,}7 \times 10^{14} m$$

Agora vamos julgar as afirmações:

(01)**VERDADEIRO,** pois a frequência da luz violeta, apesar de apresentar a menor potência (15 W), possui frequência maior que a frequência de corte do Lítio metálico.

(02)**FALSO**, pois apesar da luz vermelha ter maior potência, sua frequência é menor que a frequência de corte do Lítio metálico.

(03)**VERDADEIRO**, pois de acordo com a explicação dada por Einstein para o efeito fotoelétrico, $\boldsymbol{E_c = h.f - \phi}$, onde $\boldsymbol{E_c}$ é energia cinética do fotoelétron, $\boldsymbol{f}$ é a frequência do fóton, $\boldsymbol{h}$ é a constante de Planck e $\boldsymbol{\phi}$ é a função trabalho do material.

(04) **FALSO**, de acordo com a equação fundamental da ondulatória, $V = \lambda.f$, a frequência e inversamente proporcional ao comprimento de onda, logo, quanto maior o comprimento de onda menor a frequência da luz incidente, consequentemente menor a energia cinética do fotoelétron.
(05)**VERDADEIRO**, Pois a frequência da luz azul é maior que a frequência de corto do Lítio metálico, conforme podemos verificar no calculo abaixo:

$$V = \lambda_{azul}.f_{azul}$$

$$3{,}0\ \times 10^{8} = 4{,}2.10^{-7}.f_{azul}$$

$$f_{azul} = 7{,}1 \times 10^{14} m$$

(06)**VERDADEIRO**, Pois a intensidade da energia radiante depende da potência:

$$E = \frac{P}{A}$$

E a energia que cada fotoelétron tem absorve é dada por:

$$\boldsymbol{E = h.f}$$

Então:

$N° \ de \ fótons$	$Energia$
1	$h.f$
N	$\frac{P}{A}$

Logo o número de fotoelétrons (N) é:

$$N = \frac{P}{A.h.f}$$

(07)**FALSO**, a energia cinética dos fotoelétrons não depende da potência e sim da frequência da luz.

P 1.9)

Nota-se que a luz ultravioleta causou o efeito fotoelétrico, ou seja, arrancou elétrons da placa metálica, tornando a placa com excesso de cargas positivas, atraindo a bolinha.

A luz vermelha, que possuí menor frequência menor que a ultravioleta, não foi capaz de arrancar elétrons e carregar a placa metálica.

(01)**FALSO**, a intensidade da luz vermelha não é necessariamente menor que a da luz violeta por não causar efeito fotoelétrico, visto que, é baixa frequência da luz vermelha o motivo dela não causar efeito fotoelétrico.

(02) **VERDADEIRO.**

(03) **FALSO**, não é a cor do objeto e sim a da luz (frequência) que causa ou não o efeito fotoelétrico.

(04) **FALSO**, é a frequência da luz ultravioleta possui maior magnitude que a frequência da luz vermelha.

(05)**VERDADEIRO**, Visto que, $\boldsymbol{E_{fóton} = h.f}$ e como a luz ultravioleta possui maior frequência, logo possuí maior energia também.

(06)**FALSO**, A interação entre os fótons e os elétrons ocorre praticamente de forma **instantânea**, de modo similar a colisão de partículas

P 1.10) **Letra D**

A energia adquirida pelos fotoelétrons não depende da intensidade da luz incidente e sim da frequência da mesma e o efeito fotoelétrico não ocorrerá para qualquer frequência da luz, mesmo que ele tenha uma intensidade elevada.

APÊNDICE III – SLIDES UTILIZADOS NA AULA SOBRE MAPEAMENTO CONCEITUAL

Preparação para o
Mapeamento conceitual

1°Passo

Qual a diferença entre as duas listas de palavras?

recipiente, êmbolo, resistor, aquecedor, máquina, molécula, gás.

aquecendo, expandindo, trocando, medindo, comprimindo, variando, trabalhando.

1°Passo

Qual a diferença entre as duas listas de palavras? Coisas , objetos

recipiente, êmbolo, resistor, aquecedor, máquina, molécula, gás.

Acontecimentos , eventos

aquecendo, expandindo, trocando, medindo, comprimindo, variando, trabalhando.

2°Passo

O que você pensa quando ouve as palavras da primeira lista?

recipiente êmbolo resistor gás aquecedor máquina molécula

3°Passo

O que você pensa quando ouve as palavras da segunda lista?

aquecendo expandindo trocando medindo comprimindo variando trabalhando

2°Passo

O que você pensa quando ouve as palavras da primeira lista?

recipiente êmbolo resistor gás aque

O que pensamos quando ouvimos uma palavra, ou seja , a imagem mental que possuímos das palavras são os nossos **conceitos ou concepções**.

3°Pa

O q

palavr

aquecendo expandindo trocando medindo comprimindo variando trabalhando

4°Passo

Mesmo usando as mesmas palavras, sempre entendemos o que outro quer nos dizer?

As palavras são rótulos para os mesmos conceitos independente do indivíduo ?

5°Passo

O que você pensa quando ouve as palavras desta outra lista?

onde são é a

então com estar

5°Passo

O que você pensa quando ouve as palavras desta outra lista?

Estas palavras não são conceitos, são palavras de ligação. Elas são usadas junto com conceitos para formar frases que tenham um significado.

onde são é a

então com estar

6°Passo

Obs.: Nomes próprios não são conceitos, mas nomes para pessoas, eventos, locais ou objetos específicos.

7°Passo

As sentenças abaixo, ilustram como nós humanos construímos significados

o gás está expandindo.

Existem recipientes e resistores trabalhando.

8°Passo

Escreva suas próprias sentenças, identificando se os conceitos são objetos ou eventos e quais as palavras de ligação.

9°Passo

Você conhece os conceitos traduzidos pelas palavras abaixo ?

Macroscópico microscópico

Endotérmico Exotérmico

10° Passo

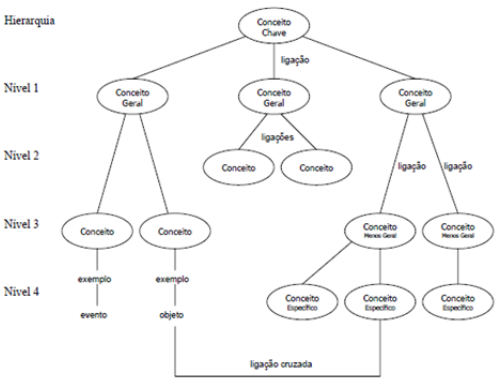
Identifique os conceitos e as palavras de ligação no texto "Termodinâmica".

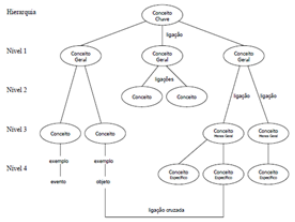
Obs.: Classifique os conceitos e as palavras entre:

✓mais importantes "chaves";

✓menos importantes.

Mapeamento conceitual





✓A partir de um conceito chave mais geral e abrangente, os demais conceitos menos gerais são representados hierarquicamente na vertical;
✓Conceitos de mesmo status hierárquico ou com aproximadamente o mesmo nível de generalidade e incluisividade são representados na mesma posição vetical.
✓Niveis hierarquicos mais baixos podem ser explicitados através de exemplos especificos;
✓As ligações entre conceitos são palavras ou frases curtas que relacionam os conceitos conectados;
✓Podem haver ligações cruzadas explicitando relação entre diferentes níveis hierarquicos.

1° Passo

Selecione, no trecho abaixo, os conceitos necessários para o entendimento da 1ª Lei da Termodinâmica e reflita sobre quais são mais inclusivos.

Pela conservação de energia, o trabalho efetuado sobre o sistema contribui para a elevação da energia interna do sistema em questão.

<u>Definição</u>:O calor recebido por um sistema é igual à soma entre a variação da energia interna do sistema e o trabalho efetuado pelo sistema.

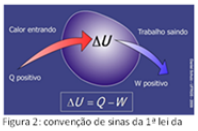


Figura 2: convenção de sinais da 1ª lei da Termodinâmica.

2° Passo

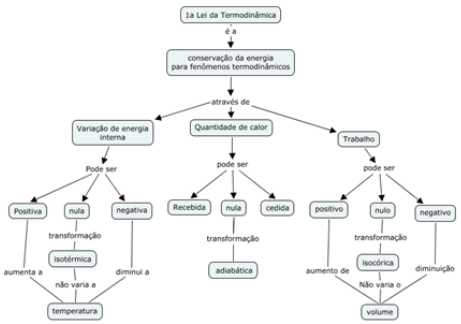
Agora, ordene os conceitos mais gerais, inclusivos, até os menos gerais ou mais específicos.

3° Passo

Vamos construir o mapa conceitual usando a lista de conceitos ordenada hierarquicamente, usando boas palavras de ligação para formar as proposições nas ligações dos conceitos.

4° Passo

O seu mapa está bom ?

(Responda a pergunta acima observando se o seu mapa oferece uma boa representação das ideias do texto.)

É necessário reconstruir o mapa para obter uma representação melhor ?