



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**  
**POLO 59**

**SABRITA CRUZ DA SILVA**

**SIMULADOR PHET DE PINÇAS ÓPTICAS COMO UMA METODOLOGIA  
NO ENSINO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA**

Rio Branco – AC  
2023

**SABRITA CRUZ DA SILVA**

**SIMULADOR PHET DE PINÇAS ÓPTICAS COMO UMA METODOLOGIA  
NO ENSINO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA**

Dissertação apresentada ao Polo 59 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Acre como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Moreira Lima.

Rio Branco – AC  
2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

- S586s Silva, Sabrita Cruz da, 1996-  
Simulador phet de pinças ópticas como metodologia no ensino e aprendizagem significativa de óptica / Sabrita Cruz da Silva; orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Moreira Lima. – 2023.  
135 f.: il.; 30 cm.
- Mestrado (Dissertação) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Rio Branco, 2023.  
Inclui referências bibliográficas e apêndices.
1. Aprendizagem significativa. 2. Ensino de física. 3. Laser. I. Lima, Carlos Henrique Moreira (orientador). II. Título.

CDD: 530

---

**SABRITA CRUZ DA SILVA**

**SIMULADOR PHET DE PINÇAS ÓPTICAS COMO UMA METODOLOGIA  
NO ENSINO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA**

Dissertação apresentada ao Polo 59 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Acre como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em 24 de julho de 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Carlos Henrique Moreira Lima  
(Presidente da banca / UFAC – Rio Branco)

---

Dr. Antônio Romero da Costa Pinheiro  
(Membro titular interno / UFAC – Rio Branco)

---

Dr. Fabiano Augusto de Paula Crisafuli  
(Membro titular externo / IFSC – São Carlos)

---

Prof. Dr. Tiago de Jesus Santos  
(Membro suplente interno / UFAC – Rio Branco)

*Dedico este trabalho a Deus. Á  
minha família. Á minha filha,  
Aylla. Ao meu amigo, José. Ao  
meu orientador, Carlos.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, nas inúmeras vezes que a tristeza me abalou e que pensei em desistir, ele não olhou as minhas fraquezas, me guardou e veio ao meu encontro. Porque D'Ele e por Ele são todas as coisas.

As minhas duas famílias, meus pilares. Uma regida pelo matriarcado de Arlete Izabel (minha mãe), que sempre me aconselhou e me apoiou com a frase: o estudo é a única coisa que nunca irá te abandonar, então, estude! Proporcionando-me a honra de ter ao lado nessa jornada minhas irmãs Ingredy, Angra e Naiara. A outra, que me adotou de coração no ano de 2018, me apoiou a crescer profissionalmente e humanamente, Maria Rosângela (minha segunda mãe) e Francisco Martins (meu pai).

Ao meu orientador, Carlos Henrique, que não me deixou “órfão” nesse mestrado, foi paciente, respeitou o meu tempo na escrita e condições de trabalho e repassou os seus conhecimentos para que eu pudesse chegar até aqui. Obrigada por não desistir do nosso trabalho.

Aos meus amigos, Beatriz, Darlan, Jocicleia, José, Márcia, Marinho e Rogerio. Que sempre ouviram minhas reclamações, choros, desesperos e alegrias no decorrer desta etapa, contribuindo com ideias e opiniões acerca do meu trabalho.

Aos demais professores que contribuíram ao lecionar suas disciplinas.

A todos (as) (es) aqueles que, mesmo de maneira indireta, contribuíram para a realização desta etapa da minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*“Se eu vi mais longe, foi por  
estar sobre os ombros de  
gigantes.”*

*Isaac Newton*

## RESUMO

Ensinar Física no ensino médio pode ser uma tarefa desafiadora. Dentre os desafios mais comuns enfrentados pelos professores de Física, podemos citar: abstração de conceitos (os alunos precisam compreender fenômenos que não são facilmente observáveis em seu cotidiano) falta de motivação (alguns estudantes podem não ver a relevância da Física em seu cotidiano, resultando no desencorajamento para aprender a disciplina) e, acesso a recursos e equipamentos (boa parte das escolas não possui laboratórios e nem tem recursos para mantê-los). Diante desse cenário, a tecnologia pode ser uma aliada valiosa, tornando o processo de aprendizado mais interessante, acessível e personalizado para os alunos. Nesse contexto, o presente trabalho dedicou-se a elaborar e aplicar uma sequência didática, utilizando como recurso metodológico o simulador PhET, para abordar princípios fundamentais da Óptica, como a reflexão e refração da luz, através de um advento que ocorreu em 1969 por Arthur Ashkin, o pinçamento óptico, uma inovação da Física Moderna laureada com o prêmio Nobel de Física em 2018. Nesse viés, os alunos podem explorar como a luz pode ser usada para manipular partículas microscópicas e a Física por trás desse fenômeno, através do simulador PhET, facilitando a transposição didática do conhecimento científico para o contexto educacional. Além disso, os alunos se tornam protagonistas de sua própria aprendizagem, promovendo uma compreensão significativa dos conceitos estudados, tornando o ensino mais envolvente e interativo. Em vista disso, foi elaborado um produto educacional no formato de uma sequência didática, sendo aplicado na primeira quinzena do mês julho de 2022, para alunos do 2º ano do ensino médio, em uma escola pública estadual localizada na zona rural do município de Bujari, Acre. A fim de verificar a ocorrência de aprendizagem significativa e a transposição didática, realizaram-se cinco encontros, no primeiro a aplicação de um questionário e no último também a aplicação do mesmo questionário. No decorrer dos encontros, foram abordados os conceitos de Óptica Geométrica e Física Contemporânea que ocorrem no fenômeno pinçamento óptico. A partir de uma análise qualitativa, levando em consideração também, onde o produto educacional foi aplicado, verificou-se indícios de uma aprendizagem significativa e a transposição didática por meio do simulador PhET.

**Palavras-chave:** Aprendizagem Significativa. Ensino de Física. LASER. Pinça Óptica. Simulador PhET.



## ABSTRACT

Teaching Physics in high school can be a challenging task. Among the most common challenges faced by Physics teachers, we can mention: abstraction of concepts (students need to understand phenomena that are not easily observable in their everyday lives), lack of motivation (some students may not see the relevance of Physics in their daily lives, resulting in discouragement to learn the subject), and access to resources and equipment (many schools lack laboratories and resources to maintain them). In this scenario, technology can be a valuable ally, making the learning process more interesting, accessible, and personalized for students. In this context, the present study focused on developing and applying a didactic sequence, using the PhET simulator as a methodological resource, to address fundamental principles of Optics, such as reflection and refraction of light, through an event that occurred in 1969 by Arthur Ashkin, optical trapping, an innovation of Modern Physics awarded the Nobel Prize in Physics in 2018. In this way, students can explore how light can be used to manipulate microscopic particles and the Physics behind this phenomenon, using the PhET simulator, facilitating the didactic transposition of scientific knowledge to the educational context. Additionally, students become protagonists of their own learning, promoting a meaningful understanding of the concepts studied and making teaching more engaging and interactive. In this study, an educational product was developed in the form of a didactic sequence, applied in the first half of July 2022, to 2nd-year high school students in a state public school located in the rural area of Bujari, Acre. In order to verify the occurrence of meaningful learning and didactic transposition, five meetings were held, with a questionnaire administered at the first and last meetings. Throughout the meetings, concepts of Geometric Optics and Contemporary Physics related to the optical trapping phenomenon were addressed. Through a qualitative analysis, taking into consideration the context where the educational product was applied, evidence of meaningful learning and didactic transposition through the PhET simulator was observed.

**Keywords:** Meaningful Learning. Physics Teaching. LASER. Optical Trapping. PhET Simulator.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Um mapa conceitual para a construção de uma UEPS. Fonte: (MOREIRA, 2011).....	20
Figura 2: Plataforma PhET. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.] ).....	28
Figura 3: Pressão de Radiação: A força resultante, nesse caso, empurra a microesfera no sentido de incidência do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016). .....	32
Figura 4: Efeito dos raios refratados para uma microesfera situada abaixo do foco e na metade direita do perfil de intensidades do laser. Observe que a força resultante sobre a microesfera tende a deslocar a mesma para a região do foco do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016). .....	33
Figura 5: Força de Gradiente: Efeito dos raios refratados para uma microesfera situada acima do foco do laser. Podemos observar que a força total que atua na microesfera tende a deslocar a mesma para a região do foco do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016) .....	34
Figura 6: Calibração da Pinça: (a) Microesfera presa a pinça óptica antes de ser estabelecido o fluxo. (b) Microesfera presa a pinça depois do fluxo ser estabelecido. Fonte: (ALVES, 2012) .....	35
Figura 7: Fóton, representado pela onda-seta, incidindo no elétron. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2016) .....	42
Figura 8: Elétron em seu nível de energia mais alto, após absorver o fóton. Em seguida, cai para o nível de energia menor, emitindo um fóton espontaneamente. Imagem adaptada. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017).....	43
Figura 9: Inversão de população. Fonte: (Physics and Radio-Electronics).....	43
Figura 10: Emissão Estimulada. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017)...	44
Figura 11: Plano de incidência. Fonte: Autoria própria. ....	46
Figura 12: Ângulos de Reflexão e Refração. Fonte: Autoria própria.....	46
Figura 13: Princípio de Fermat na reflexão. Fonte: Autoria própria. ....	48
Figura 14: Princípio de Fermat na refração. Fonte: Autoria própria. ....	49
Figura 15 - Frente da Escola Nova Vida, mesma instituição em que foi aplicado o produto. Fonte: Mardilson Gomes.....	58
Figura 16 - Blocos em que ficam as salas de aula na escola. Fonte: Rogério Nogueira. ....	58
Figura 17– A esquerda da imagem temos a professora (Sabrita) da escola atuando na área de Matemática e Ciências da Natureza e mestranda, e, a direita o professor (Darlan) que atua na área de Ciências Humanas, percorrendo trechos a pé para chegar à escola no período invernos. Fonte: Autoria própria. ....	59
Figura 18 - a esquerda da imagem temos o professor Darlan e a professora/mestranda Sabrita saindo da estrada de barro em que fica localizada a escola em direção a BR. Fonte: Autoria própria. ....	60
Figura 19 - Um dos carros (Marruá) que faz o trajeto pela comunidade, levando os alunos até a escola, atolado em um trecho. Fonte: Autoria própria.....	60
Figura 20 – Primeiro encontro (aplicação do produto educacional). Fonte: Autoria própria.....	65
Figura 21 - Aplicação do questionário Etapa 1. Fonte: Autoria própria. ....	65
Figura 22 - 2º Encontro (representação da natureza da luz por meio de imagens). Fonte: Autoria própria. ....	67

Figura 23 - 2º Encontro (vídeo explicativo sobre o processo histórico da luz e suas características). Fonte: Autoria própria. ....	67
Figura 24 - 3º Encontro (momento em que foi abordado inversão de população, processo em que ocorre a luz LASER). Fonte: Autoria própria.....	69
Figura 25 - 3º momento (apresentação da plataforma PhET com ênfase na simulação sobre Pinças Ópticas). Fonte: Autoria própria.....	70
Figura 26 - 4º Encontro abordando o tema Reflexão da luz (Poesia: Ismália). Fonte: Autoria própria. ....	71
Figura 27 - 4º Encontro iniciando a abordagem sobre Refração da luz (um grupo observando os experimentos). Fonte: Autoria própria. ....	72
Figura 28 - 5º e último encontro (alunos manuseando a simulação). Fonte: Autoria própria.....	73
Figura 29 - 5º Encontro (alunos respondendo ao questionário Etapa 5 e questionário externo). Fonte: Autoria própria.....	74
Figura 30 - Descrição (síntese) de um aluno após o manuseio da simulação. Fonte: Autoria própria. ....	85
Figura 31 - Resolução de um aluno das questões na Etapa 5. Fonte: Autoria própria. ....	86
Figura 32 - Síntese de um aluno sobre o manuseio da simulação. Fonte: Autoria própria. ....	86
Figura 33 - Resolução das questões 8, 9 e 10 do aluno. Fonte: Autoria própria. ....	87
Figura 34 - Resposta do aluno A6 nas questões 1 e 2 do questionário externo. Fonte: Autoria própria. ....	89
Figura 35 - Resposta do aluno A2 no item c da questão 1 e questão 2 do questionário externo. Fonte: Autoria própria. ....	89
Figura 36 - Resposta do aluno A2 no item c da questão 1 e questão 2 do questionário externo. Fonte: Autoria própria. ....	90
Figura 37: Pressão de Radiação: A força resultante, nesse caso, empurra a microesfera no sentido de incidência do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016).....	101
Figura 38: Efeito dos raios refratados para uma microesfera situada abaixo do foco e na metade direita do perfil de intensidades do laser. Observe que a força resultante sobre a microesfera tende a deslocar a mesma para a região do foco do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016).....	102
Figura 39: Força de Gradiente: Efeito dos raios refratados para uma microesfera situada acima do foco do laser. Podemos observar que a força total que atua na microesfera tende a deslocar a mesma para a região do foco do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016) .....	103
Figura 40: Fóton, representado pela onda-seta, incidindo no elétron. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2016) .....	109
Figura 41: Elétron em seu nível de energia mais alto, após absorver o fóton. Em seguida, cai para o nível de energia menor, emitindo um fóton espontaneamente. Imagem adaptada. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017) .....	110
Figura 42: Inversão de população. Fonte: (Physics and Radio-Electronics).....	110
Figura 43: Emissão Estimulada. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017). .....	111
Figura 44: Plano de incidência. Fonte: Autoria própria. ....	113
Figura 45: Ângulos de Reflexão e Refração. Fonte: Autoria própria.....	114
Figura 46: Princípio de Fermat na reflexão. Fonte: Autoria própria. ....	115
Figura 47: Princípio de Fermat na refração. Fonte: Autoria própria. ....	116
Figura 48 - Plataforma PhET. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.] .....	126

Figura 49 - Simulações na área de Física, descritas no simulador PhET. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.].....	127
Figura 50 - Demonstração de como encontrar a simulação Pinças Ópticas, deixar marcado somente o item “Luz e Radiação”. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.] .....	128
Figura 51 - No item "Nível Educacional", deixar marcado o critério "Universidade". Já no item "Compatibilidade", pode-se marcar todas as opções, ou somente o "Java". Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.] .....	128
Figura 52 - Simulação Pinças Ópticas e suas aplicações. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.].....	129
Figura 53 - A plataforma disponibiliza a opção de download e acesso online da simulação. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.].....	130
Figura 54 - Acesso a simulação Pinças Ópticas. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.] .....	130
Figura 55 - Iniciando a simulação Pinças Ópticas. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.] .....	131
Figura 56 - Simulação já aberta no computador para o manuseio. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.].....	132
Figura 57 - Demonstração do uso da simulação, bem como a possibilidade de observar as forças que atuam na microesfera. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.].....	133

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Presença de subsunçores a partir da interação dos alunos. Fonte: Autoria própria.....	75
Gráfico 2 - Análise gráfica de subsunçores introduzidos, identificados após a desenvoltura do decorrer da primeira aula. Fonte: Autoria própria. ....	76
Gráfico 3 - Quantitativo geral de subsunçores identificados no questionário. Fonte: Autoria própria. ....	77
Gráfico 4 – Representação do quantitativo de alunos que opinaram acerca da luz, antes de abordar sobre o fenômeno óptico mais precisamente. Fonte: Autoria própria. ....	77
Gráfico 5 – Representação do quantitativo de alunos que relacionaram os recursos áudio visuais com os subsunçores introduzidos no primeiro encontro. Fonte: Autoria própria.....	78
Gráfico 6 – Representação do quantitativo de alunos que assimilaram o conceito de fótons a partir do uso dos recursos audiovisuais em sala. Fonte: Autoria própria. ....	79
Gráfico 7 – Representação do quantitativo dos alunos que reconheceram a importância da Física nos avanços tecnológicos atuais e algumas aplicações em seu cotidiano. Fonte: Autoria própria. ....	80
Gráfico 8 – Representação do quantitativo dos alunos presentes no 3º encontro e que apresentaram assimilação do fenômeno Pinças Ópticas, após a abordagem sobre o tema. Fonte: Autoria própria. ....	81
Gráfico 9 – Representação do quantitativo geral de alunos que estavam presentes no 3º encontro e que demonstraram assimilação sobre o tema LASER. Fonte: Autoria própria.....	82
Gráfico 10 – Representação do quantitativo geral dos alunos presentes no 3º encontro que interpretaram e assimilaram o conceito de Pinças Ópticas, após a demonstração por meio da simulação na plataforma PhET. Fonte: Autoria própria. ....	82
Gráfico 11 – Representação do quantitativo de alunos presentes no 4º encontro que através dos descritivos, apresentaram assimilação do fenômeno óptico reflexão. Fonte: Autoria própria. ....	83
Gráfico 12 - Representação do quantitativo de alunos presentes no 4º encontro que através dos descritivos apresentaram assimilação sobre o fenômeno óptico refração. Fonte: Autoria própria. ....	84
Gráfico 13 - Desempenho individual dos alunos que entregaram o questionário na Etapa 5. Fonte: Autoria própria. ....	88

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Objetivo Geral .....	17
1.2 Objetivos Específicos .....	17
1.3 Justificativas .....	18
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>19</b>
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 Aprendizagem Significativa .....	19
2.2 Transposição Didática .....	22
2.3 A Importância De Simulação No Ensino De Física .....	23
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>29</b>
<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>29</b>
3.1 Pinça Óptica .....	29
3.2 Fótons .....	37
3.3 Introdução a LASERS .....	41
3.3.1 Aplicações .....	45
3.4 Reflexão e Refração .....	46
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>50</b>
<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>50</b>
4.1 Delineamento Do Trabalho .....	51
4.2 Público Alvo .....	57
4.3 Aula Ministrada: Aplicação Do Produto Educacional .....	61
4.4 Aplicação Do Produto Educacional .....	64
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>75</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>75</b>
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>91</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>
<b>Apêndice A - Produto Educacional .....</b>	<b>95</b>
<b>Conceitos de Pinça óptica .....</b>	<b>98</b>
1. Pinças Ópticas .....	98
<b>Conceitos de Física Contemporânea .....</b>	<b>104</b>
1. Fótons .....	104
2. Introdução a Lasers .....	107

3. Aplicações .....	112
<b>Conceitos de Óptica Geométrica .....</b>	<b>113</b>
1. Reflexão e Refração .....	113
<b>Apêndice B –Tutorial da Simulação PhET Pinças Ópticas .....</b>	<b>125</b>
<b>Apêndice C – Formulário para apresentação de mestrandos no local de pesquisa .</b>	<b>133</b>
<b>Apêndice D - Termo de assentimento do menor .....</b>	<b>133</b>
<b>Apêndice E - Artigos Publicados .....</b>	<b>134</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo, que define os processos de aprendizagens que todos os estudantes necessitam desenvolver durante a sua Educação Básica.

Segundo Brasil (2017), no decorrer desse desenvolvimento, as etapas da Educação Básica (Ensino Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio), dedica-se a produzir dez competências gerais nos alunos, dentre elas, citaremos a quinta competência, no que se refere ao uso das tecnologias no ensino:

“Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.” (Brasil, 2018b, p. 9-10)

A partir dos PCN’S, as Orientações Curriculares de Física para o Ensino Médio de Rio Branco – Acre, elaborada em 2010, como propósitos da Educação Básica atualmente, nos orienta a:

“Criar oportunidades para que os alunos conheçam e usem tecnologias de informação e comunicação e que desfrutem de todos os meios de acesso ao conhecimento e bens culturais disponíveis, como bibliotecas, museus, centros de cultura e lazer, videotecas etc.”

No que está relacionado aos objetivos de ensino acerca da óptica geométrica, os PCN’S têm-se de “ampliar a compreensão da óptica física e geométrica, visando contemplar suas respectivas implicações sociais, científicas e tecnologias.”

Uma vez que a Física é uma ciência que busca explicar fatos ou eventos, estuda as tecnologias e envolve investigações que vão desde estruturas atômicas até a origem e evolução do Universo, ao fazer uso das tecnologias nas aulas de Física, o professor tem como objetivo promover a compreensão dos fenômenos que serão abordados, estimulando o cognitivo dos alunos.

Ainda segundo Klajin (2002), com relação ao ensino de Física os alunos aguardam por aulas que vão além de expositivas, a fim de despertar o seu interesse pela disciplina. Desta forma, caberá ao professor encontrar e adaptar meios que tornem suas aulas mais atraentes e dinâmicas ao expor os conteúdos.



Visto que, a partir do avanço científico e tecnológico, o conhecimento científico tornou-se a base do ensino de Ciências na sociedade atual, o ensino de Física baseia-se em transpor as teorias e conceitos formulados pela sociedade científica para a sala de aula.

O conceito de laser foi desenvolvido em 1960 e em 1970 foi feito o primeiro aprisionamento óptico. Embora essas descobertas pareçam recentes, já tivemos alguns nobéis de Física nos últimos anos em que se deu através da interação luz e matéria, como por exemplo, o Nobel de Física no ano de 2018, que trouxe como tema “invenções pioneiras no campo da física do laser”. Dito isto, a ideia desse trabalho é mostrar que a ciência não é estática, mas sim dinâmica.

É sabido também que, atualmente, enfrenta-se grandes desafios no ensino de Física, dentre eles, conseguir atrair a atenção dos alunos para que não se sintam desestimulados no decorrer das aulas, visto que os mesmos estão imersos em uma sociedade tecnológica, tornando-se um dever por parte dos professores, mudar suas metodologias e inserir essas inovações tecnológicas como recursos didáticos.

Ensinar sobre o pinçamento óptico requer do professor conceitos que envolvem Óptica Geométrica à Física Contemporânea, uma vez que esse fenômeno necessita de uma maior abstração dos alunos, sendo imprescindível utilizar recursos tecnológicos. Nesse âmbito, adotaremos como agente metodológico um simulador denominado PhET.

Vale ressaltar, que muito se tem abordado sobre o uso do simulador PhET como recurso didático no ensino de Física. No entanto, quando se trata do pinçamento óptico, não tem referenciais bibliográficos que o utilizem para aplicar em aulas no ensino médio, e ainda que façam uso do simulador PhET para explicar tal fenômeno.

Assim sendo, o produto didático que será apresentado, vem com a ideia de preencher essa lacuna, que até então passara despercebida diante de todo esse avanço científico e tecnológico que tivemos durante os últimos anos na Física.

Desse modo, a proposta do presente trabalho, é o manuseio das simulações virtuais do PhET na desenvoltura dos conteúdos referentes a Óptica Geométrica, especificamente, como a luz pode transportar momento para um objeto e a partir disso, conseguir aprisioná-lo, fenômeno conhecido como pinçamento óptico.

Essa ferramenta será utilizada não como meio de substituir o professor ou um possível laboratório real de ciências, mas, como um facilitador e com o objetivo de

deixar a aula mais atrativa e dinâmica, a fim de obter resultados positivos na utilização do simulador PhET, tendo em vista que ele possui todas as ferramentas para ser um material potencialmente significativo.

Essa dissertação foi dividida em sete capítulos: O primeiro retrata a problemática, os objetivos e a justificativa do trabalho, onde expõe a finalidade da pesquisa e o que se almeja com ela. O segundo discorre sobre o referencial teórico, trazendo a Aprendizagem Significativa de David Ausubel (MOREIRA, 2011), Transposição Didática e a Importância de Simulação no Ensino de Física. Nesse sentido, buscou-se fazer uma sequência didática, como produto educacional, que está detalhada no Apêndice A da dissertação.

O terceiro capítulo, se refere a revisão da literatura, este foi dividido em subseções que explanam os temas que envolvem o Pinçamento Óptico e a Óptica Geométrica. O quarto capítulo apresenta os procedimentos metodológicos, bem como os caminhos traçados no decorrer desse trabalho, o público-alvo e os instrumentos que foram utilizados.

O quinto irá mostrar os resultados e discussões obtidos com este trabalho e com as etapas da sequência didática. O sexto concerne nas considerações finais. O sétimo e último capítulo, apresenta as referências que foram utilizadas ao longo da construção dessa pesquisa.

## **1.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem por finalidade utilizar o programa de simulações online PhET com o intuito de desenvolver um produto didático que vise corroborar para o estudo de alguns conceitos da Física Contemporânea e da Óptica.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Abordar as características principais da luz e o LASER;
- Descrever o pinçamento óptico;
- Identificar os fenômenos estudados através do PhET;
- Elaborar e aplicar o produto didático baseado no simulador PhET;

### 1.3 JUSTIFICATIVAS

Em meados do século XX, tivemos marcos científicos que contribuíram para o desenvolvimento da Física, no Brasil. Um exemplo disso, foi a criação do primeiro laser na década de 60 (da Silva Neto & Freire Júnior, 2016).

Apesar desse desenvolvimento, quando se trata de ensinar Física, ainda é desafiador, uma vez que o aluno necessita de uma maior abstração e recursos matemáticos para que se tenha uma compreensão efetiva dos seus conteúdos. Vale citar, que muitas comunidades escolares não conseguem inserir os meios tecnológicos em fins pedagógicos e não possuem uma didática trabalhada no construtivismo.

Um recurso utilizado para obter um ensino aprendizagem significativo são os laboratórios, com o intuito de suprir as dificuldades encontradas no decorrer do aprendizado. Todavia, conforme o resumo técnico do Censo da Educação Básica 2019, apenas cerca de 40% das escolas públicas estaduais possui suporte físico, e acabam por não ter recursos viáveis para manter. Sem um recurso metodológico executável, no ponto de vista do aluno, as aulas de Física não são atrativas e não possuem nexo com o seu cotidiano.

Desse modo, à medida que o avanço tecnológico surgiu, tornou-se crucial utilizá-lo como ferramenta para o ensino. Tendo em vista que, a internet e seus meios de comunicação passaram a ser agregada cada vez mais no cotidiano de crianças e jovens, sendo indispensável no auxílio tecnológico.

A fim de uma maior aproximação com os alunos e na tentativa de trazer uma aula dinâmica e atrativa justifica-se o uso de simuladores como uma inovação nas práticas pedagógicas, já que tais simulações se assemelham muitas das vezes a jogos.

[...] os modos de utilização que disponibilizam formas de aprendizagem interativas são particularmente promissores para aprender ciências, quando se é mencionado isso quer mostrar que a utilização das tecnologias disponíveis na atualidade, para melhorar, preencher as lacunas que tem seus problemas no ensino, é uma das melhores formas de complementar a prática educativa.

Logo, busca-se com esse trabalho aprimorar e auxiliar os conteúdos de Física sobre Óptica Geométrica, fazendo uso do simulador PhET, de modo que as aulas sejam atrativas e o mais próximo do cotidiano do aluno, uma vez que estes estão familiarizados com uso das tecnologias.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O presente capítulo discorre sobre a Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a Transposição Didática de Yves Chevallard e a Importância de Simulação no Ensino de Física (ênfase no simulador PhET).

#### **2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Um dos teóricos utilizados para fundamentação desta dissertação é o cognitivista David P. Ausubel que nasceu em 25 de outubro de 1918, estudou na Universidade de Pensilvânia, na qual graduou em 1939. Suas maiores contribuições no campo da aprendizagem e na psicologia foram o desenvolvimento dos organizadores prévios. Faleceu em 9 de julho de 2009 aos 89 anos de idade.

A aprendizagem segundo o cognitivismo se trata de um armazenamento de informação, sendo incorporada a uma estrutura no cérebro do sujeito, para que possa ser utilizada e manuseada posteriormente. Ausubel propôs, a partir do ponto de vista cognitivista, uma teoria para o processo de ensino aprendizagem, mesmo reconhecendo a importância da teoria afetiva, o qual denominou de Teoria da Aprendizagem Significativa (MOREIRA, 2011).

Para que essa aprendizagem ocorra, é necessário que existam alguns aspectos que serão mais relevantes, aos que de fato nos deparamos em sala de aula. O conteúdo escolar necessita ser significativo, ou seja, precisa seguir uma lógica psicologicamente significativa – isto é, a natureza dos conteúdos estará interligada com as experiências que cada indivíduo possui. Tais conhecimentos estão dispostos na estrutura cognitiva do sujeito, formando-a, e a qualquer momento o discente poderá “acessá-lo”.

Logo, ao introduzirmos novas informações a essa estrutura, devemos ter o cuidado em conceitos, teorias e proposições que possam danificar o conceito já existente no indivíduo. Além disso, essa nova informação que será repassada ao aluno, tem que ser não-literal e não-arbitrária, ou seja, o discente não pode apenas memorizar conceitos de maneira aleatória e irrelevantes, sem que dê um significado no que está

estudando. O material que possui essas qualidades é denominado de potencialmente significativo (MOREIRA, 2011).

Um exemplo desse material é a UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa). O mapa conceitual abaixo descreve as características principais da UEPS.

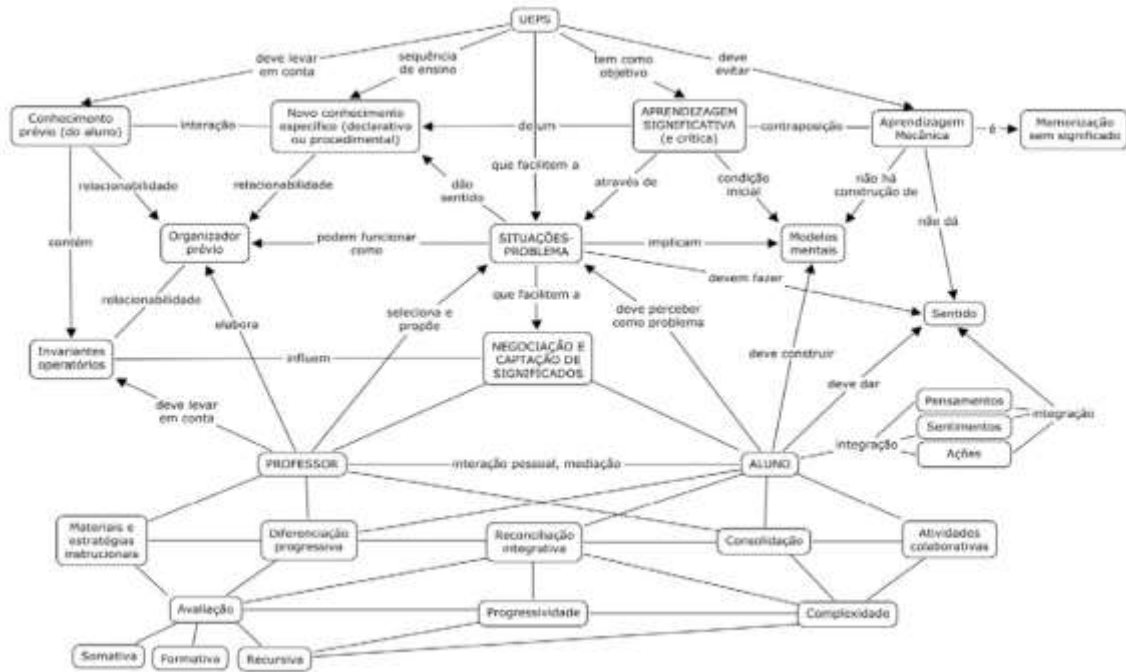


Figura 1: Um mapa conceitual para a construção de uma UEPS. Fonte: (MOREIRA, 2011)

Nessa base, será produzida uma sequência didática, na qual teremos que considerar os elementos citados anteriormente. Em que abordaremos sobre Pinças Ópticas, considerando um pré-conceito existente na memória do aluno, relacionado com esse tema, por exemplo, força. Reproduzindo ao aluno que a luz transporta um momento que quando incide em um objeto, com determinadas características, produzirá uma força no mesmo sendo capaz de aprisioná-lo.

Ausubel e Robinson, 1969, citam também um segundo fator influenciador nessa aprendizagem: o aluno precisa ter disposição para aprender (REESE, 1970). Desse modo, tem que existir no aluno à vontade para aprender e assimilar as novas informações com as existentes na sua estrutura cognitiva, obtendo significados. Ou seja, a aprendizagem significativa depende da predisposição do sujeito em seu aprendizado. Segundo Moreira e Masini (1982, p.14):

[...] independentemente de quão potencialmente significativo seja o material a ser aprendido, se a intenção do aprendiz é, simplesmente, a de memorizá-lo arbitrariamente e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como seu produto serão mecânicos ou sem significado. (Reciprocamente, independente de quão predisposto para aprender estiver o indivíduo, nem o processo nem o produto serão significativos se o material não for potencialmente significativo).

Uma aprendizagem torna-se significativa, à medida que novas informações são adicionadas aos conhecimentos já formados que o aluno possui. Quando isto não ocorre, costumamos obter uma aprendizagem mecânica, uma vez que o discente irá memorizar ou simplesmente estudar os conteúdos sem relacioná-los, não atribuindo significados aos mesmos.

Para Moreira (1983), tanto o aluno quanto o professor trocam conhecimentos, introduzindo significados a eles. Dessa maneira, o ensino passa a ser caracterizado como troca de saberes, que chegará à estrutura cognitiva do aluno sem o caráter de imposição.

Assim, a aprendizagem significativa tem por objeto de estudo, a criação de significados comuns na estrutura cognitiva do sujeito, de modo que ele vá relacioná-los com suas experiências e o material potencialmente significativo, dando ao aluno a capacidade de armazenar informações e não as mecanizar.

No decorrer do processo de aprendizagem significativa, novas informações são apresentadas ao sujeito, potencialmente significativas, que interatuam com uma estrutura de conhecimentos específica, já existentes na “cabeça” do indivíduo (MOREIRA, 2011).

Grosso modo, subsunçor é um conhecimento específico presente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é exposto ou por ele descoberto. Ressaltamos que a aprendizagem significativa é caracterizada pela interação entre informações preexistentes e novas informações, sendo a interação não literal e não arbitraria.

Uma vez que para aprender determinado conteúdo é necessário ter um subsunçor, ocorrendo a ancoragem e interações de informações, é comum nos perguntarmos de onde vem o subsunçor, ou, qual a origem dos nossos primeiros subsunçores.

(MOREIRA; MASINI, 2006) Argumentam dois elementos que corroboram para a existência dos subsunçores:

- A aprendizagem mecânica;
- E a formação de conceitos;

O primeiro ressalta que a aprendizagem mecânica é necessária, embora o aluno ao estudar um novo conteúdo, de maneira arbitrária, as informações se agregarão a sua estrutura cognitiva até possam servir de subsunçores. Conforme a aprendizagem se torna significativa, esses subsunçores ficarão robustos e mais capazes de ancorar novas informações.

Cada criança na sua fase escolar construirá conhecimentos em diversas áreas, não somente, mas o simples fator existir (nascer e viver) torna o sujeito suficiente para obter elementos em sua estrutura cognitiva, alguns mais desenvolvidos que os outros. Isso nos remete a formação de conceitos, e é atribuída pela experiência individual.

Ocorrendo ou não a formação de conceitos, boa parte dos novos conceitos é adquirida através de assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa de conceitos (MOREIRA, 2011).

Em sua adolescência, o sujeito sai da formação de conceitos e passa para a assimilação de conceitos, adquirindo-os por meio da recepção, a partir da relação com o conceito e a ideias relevantes já estabelecidas na sua estrutura cognitiva, ele irá escolher qual novo conceito deseja obter.

Ocorre também de o indivíduo assimilar conceitos não-espontâneos, ou seja, que não deseja formar em sua mente, ao passar pelas instituições de ensino.

## **2.2 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA**

A transposição didática é um meio pelo qual analisamos as mudanças que ocorrem entre o saber sábio (científico), saber a ser ensinado (instituições de ensino) e saber ensinado (acontece em sala de aula) (ALMEIDA, 2014).

O termo surgiu na França, com o sociólogo Michel Verret em 1975, na sua tese de doutorado *Le Temps des Études*, quando estudava as funções sociais dos estudantes. Para Verret, “Didática é a transmissão de um saber adquirido. Transmissão dos que sabem para os que ainda não sabem. “Daqueles que aprenderam para aqueles que

aprendem” (VERRET, 1975, p.139). Dessa maneira, teríamos dois tipos de prática didática: a prática do saber e a prática da sua transmissão, ou seja, o que sabemos e como transmitimos esse saber.

Em 1985, essa ideia foi rediscutida pelo matemático Yves Chevallard, quando transformou conhecimentos complexos da sua área de estudo em conhecimentos de fácil compreensão, lançando um livro sobre Transposição Didática, mostrando as transposições que um saber sofre quando passa do campo científico para o campo escolar.

Chevallard classificou os saberes em três tipos: saber sábio (aquele que os cientistas descobrem), saber a ensinar (aquele que está nos livros didáticos e referenciais) e saber ensinado (aquele que realmente acontece em sala de aula).

Desse modo, cada saber sofreria um processo de transformação até chegar ao aluno, tendo em vista que o saber sábio não é criado com o objetivo de ser ensinado, cada transformação que ocorrem diferentes saberes ele denominou de Transposição Didática.

“Um conteúdo do conhecimento, tendo sido designado como saber a ensinar, sofre então um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto a tomar lugar entre os objetos de ensino. O trabalho que, de um objeto de saber a ensinar faz um objeto de ensino, é chamado de transposição didática (CHEVALLARD, 2005) ”.

Estamos incorporando em nossa fundamentação, a conceituação da transposição didática, visto que, estamos trabalhando com um fenômeno físico denominado de pinçamento óptico em que o físico Arthur Ashkin, desenvolveu a técnica sendo laureado com Nobel de Física de 2018. E, como já foi descrito neste trabalho um dos objetivos específicos é trazer este conceito de pinçamento óptico para o ensino médio para explicar alguns fenômenos físicos.

### **2.3 A IMPORTÂNCIA DE SIMULAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA**

Tendo em vista que o avanço tecnológico alcançou diversas áreas em nossa sociedade e com grande rapidez, às instituições de ensino não poderiam passar despercebidas nesse processo. Não tem dúvidas que o manuseio da tecnologia na educação pode colaborar de maneira significativa no processo do ensino aprendizagem



do aluno. Tornando inevitável para os docentes o acompanhamento dessas mudanças, formando cidadãos autônomos e capazes de aprender utilizando-se das tecnologias educacionais, conforme (SILVA, 2013, p.2).

“A tecnologia já entrou na sala de aula. O aluno está receptivo a ela, cabe ao professor aprender como introduzir pedagogicamente esses recursos em sua prática pedagógica, pois a escola precisa se aproximar do ritmo da sociedade em que o aluno está inserido e para que a prática do professor seja dinâmica, onde possam ser vivenciadas novas práticas com o uso da tecnologia em sala de aula, é necessário que ele conheça os benefícios na aprendizagem proporcionados quando são inseridos nas aulas os recursos tecnológicos (SILVA, 2013, p.2)”

De Oliveira Frota e Alves (2000), também defendem que em particular para o ensino de Ciências e, principalmente, da Física, em determinadas circunstâncias dispositivos eletrônicos podem ser de fundamental importância, na superação de algumas das barreiras quase intransponíveis pelo ensino tradicional, uma vez que a interatividade, os recursos multimídia e a possibilidade de múltiplas repetições/assistir a mesma aula ou revisar o conteúdo (no caso das simulações conseguem repetir a prática diversas vezes sem a necessidade de montar um aparato), podem fazer a diferença e assim contornar a tradicional falta de base, o alto índice de repetência, a falta de comunicação aluno/professor, as dificuldades na clareza no ensino de alguns conteúdos por parte dos professores, reduzindo assim a desistência que rouba quase sempre grande parte dos alunos de Física.

No entanto, o uso dessa ferramenta como recurso no âmbito pedagógico, deve ser passado com uma visão crítica sobre o conteúdo ou objeto de estudo a ser trabalhado. Desse modo caberá ao professor mediar o aluno na utilização da tecnologia para obter uma aprendizagem significativa ou não por meio desta.

Ainda, segundo Bacchi e Moran (2017), o professor é essencial neste processo, pois é ele que irá introduzir e incluir o uso de tecnologias na educação, na sala de aula e no cotidiano do aluno, aprimorando essa ferramenta, de maneira que as escolas tenham profissionais ainda mais preparados, fortalecendo o ensino aprendizagem dos alunos.

Nesse sentido Sousa, Moita e Carvalho (2011), esclarecem que:

“As tecnologias e seus produtos não são bons nem maus em si mesmos, os problemas não estão na televisão, no computador, 2012 na internet, ou em quaisquer outras mídias, e sim nos processos humanos, que podem empregá-los para a emancipação humana ou para a dominação (SOUSA; MOITA; CARVALHO, 2011).”

Além do que, a utilização de livros didáticos e quadro não permitem ao aluno, uma visualização adequada dos fenômenos físicos que ocorrem muitas vezes em seu cotidiano, este por sua vez, irá definir as aulas como chatas e sem atrações. Sendo assim, é imprescindível, inserir os recursos tecnológicos disponíveis no ensino pedagógico que ocorre em sala de aula, visando dinamizar e qualificar o ensino aprendizagem desses discentes. Uma vez que, eles têm amplo acesso na tecnologia, que hoje, alcança uma porcentagem significativa de escolas.

Vale ressaltar que, tais tecnologias não sugerem ou devem ser utilizadas como um substituto do docente, mas sim, como um recurso, que irá contribuir para o fazer pedagógico. Dito isto, no ensino de Física, os professores trazem como inovação para as salas, o uso dos simuladores, na busca de proporcionar uma aula dinâmica e atrativa.

A aplicabilidade das simulações como um laboratório virtual, reapresenta situações físicas que possibilitam uma melhor compreensão dos fenômenos físicos. Uma vez que, utilizadas no ensino de Física, colaboram na visualização do conceito através de experimentos virtuais, a fim de trabalhar conceitos abstratos de maneira experimental. Logo, o emprego dessa ferramenta tende a aperfeiçoar o conhecimento científico a ser mediado pelo professor materializando a abstração, transformando a sala de aula em um ambiente atrativo e dinamizado.

Além disso, o discente pode analisar situações que se assemelha ou se aproxima de um fenômeno físico real, facilitando ao mesmo o manejo e identificação de grandezas físicas. São inúmeras as vantagens de trabalhar com simulações em sala de aula, como expostas anteriormente, ainda podemos citar a animação ao reproduzir um fenômeno (o que faz lembrar um jogo) e sua representação gráfica.

Mas, onde encontramos tais simulações aplicáveis no ensino de Física? A Universidade do Colorado em Boulder (University of Colorado at Boulder) localizada nos Estados Unidos da América (EUA), desenvolveu simulações interativas do projeto Physics Educacional Technology (PhET) onde disponibiliza gratuitamente simulações virtuais de fenômenos relativos às ciências da natureza e outras áreas de estudo.

Fundado em 2002, pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o PhET Interactive Simulations é um laboratório virtual que possui inúmeras simulações de experimentos científicos, dentre elas, a de Pinça Óptica. Um de seus princípios é incentivar a investigação científica por meio da interatividade que o software fornece.

Assim como os demais softwares de simulações, o professor terá o PhET como um recurso proveitoso no decorrer de suas aulas, viabilizando a inclusão de seus alunos nessa nova era digital, onde ele servirá de suporte nas escolas que não possuem laboratórios de ciências para praticar ou reproduzir experimentos para fundamentação e refinamento das metodologias de ensino.

E ainda em escolas que possuem laboratórios reais, essa plataforma pode ser útil, uma vez que o aluno tende a ficar mais ativo nesse processo de ensino, podendo analisar de maneira qualitativa e quantitativa os fenômenos físicos que ocorreram em cada simulação. Dessa forma, o discente poderá fazer um paralelo entre o conhecimento científico adquirido a partir da mediação do docente em sala, com o seu conhecimento prévio, estabelecendo um vínculo entre teoria e prática na busca ativa de compreender e relacionar os fenômenos físicos presentes em seu cotidiano.

Conforme (CARRARO; PEREIRA, [s.d.]

“O uso dos simuladores virtuais do PhET como recursos didáticos no ensino de Física pode contribuir significativamente para a aprendizagem dos conteúdos físicos, pois age como facilitador e motivador no processo de ensino e aprendizagem. Busca-se colocar o estudante mais ativo no processo de ensino de forma que observe os modelos físicos, avance na construção de conceitos, leis e teorias, colete dados das simulações, elabore hipóteses e teste a validade das mesmas, confronte o seu conhecimento prévio com o conhecimento científico, questione, estabeleça relação entre a teoria e prática na compreensão dos fenômenos físicos presentes no seu dia a dia.”

Salientamos que, assim como o uso de simulações não devem ser utilizadas como método para substituir um professor, também destacamos que devem ser aproveitadas como um suporte para os laboratórios reais, mas não com fins de substituí-los. Mesmo que existem escolas, em que o custo de manutenção de tais ambientes ultrapassa os seus recursos financeiros, e ainda que, muitos experimentos são difíceis de manusear, fazendo com que o professor fique na famosa aula tradicional.

Nesse sentido, Coelho (2002), aborda mais algumas vantagens quanto a utilização das simulações virtuais no ensino:

“..os simuladores virtuais são os recursos tecnológicos mais utilizados no Ensino de Física, pela óbvia vantagem que tem como ponte entre o estudo do fenômeno da maneira tradicional (quadro-e-giz) e os experimentos de laboratório, pois permitem que os resultados sejam vistos com clareza, repetidas vezes, com um grande número de variáveis envolvidas” (COELHO, 2002, p39).

Tendo em vista, que o aluno pode observar os fenômenos com mais clareza e tanto o aluno quanto o professor participam desse processo, uma vez que o discente não entendeu o experimento abordado pela simulação pode tornar novamente aquele experimento, caso não tenha compreendido alguma etapa.

Simulações como o PhET, são consideradas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), que combinados com às atividades experimentais e a teoria, pode tornar mais eficiente o processo de ensino-aprendizagem do indivíduo. O grupo PhET possui uma abordagem baseada em pesquisa, na qual as simulações são planejadas, desenvolvidas e avaliadas antes de serem publicadas no site. Tanto é atrativo que, Carl Wieman, Nobel de Física de 2001, no seu discurso de agradecimento pela concessão da medalha Oersted, comentou que ao aplicar as simulações explicando sua pesquisa

“... era particularmente extraordinário o fato de, em minhas audiências, achavam as simulações atraentes e motivadoras do ponto de vista educacional, independentemente se a palestra era dada em um colóquio de um departamento de física ou numa sala de aula do ensino médio. Eu jamais vira um instrumento educacional capaz de atingir efetivamente níveis de formação tão diferentes (STUDART, 2010).”

Desse modo, a presente pesquisa busca apresentar uma sequência didática, utilizando como ferramenta tecnológica, o uso do simulador PhET, para explicar o fenômeno do pinçamento óptico, abordando conteúdo da óptica geométrica, bem como as principais características da luz por trás desse fenômeno, e a Física Contemporânea.



Figura 2: Plataforma PhET. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.]

## CAPÍTULO 3

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 PINÇA ÓPTICA

As pinças ópticas, também conhecidas como armadilhas ópticas, revelaram-se como um instrumento poderoso, com amplas aplicações em Biologia e Física.

Em 1969, Arthur Ashkin e seus colaboradores, em pesquisas nos laboratórios Bell, nos Estados Unidos, demonstraram que as forças ópticas podiam deslocar e levitar partículas dielétricas do tamanho de um micrón (ASHKIN, 1970).

De maneira geral, a pinça óptica consiste em um laser, fortemente focalizado através da objetiva de um microscópio, que ao incidir em uma microesfera ou qualquer outro objeto com certa simetria, é capaz de aprisioná-lo, ao transferir momento para este.

Com o desenvolvimento da teoria eletromagnética de Maxwell no século XIX, foi possível demonstrar que a luz é capaz de transferir momento para um meio ao incidir sobre este, exercendo assim uma força sobre ele. Desse modo, origina-se um dos “braços” do fenômeno do pinçamento óptico, quando um laser ao incidir sobre uma microesfera transfere momento para esta por meio de seus fótons, exercendo assim força.

O primeiro conceito intuitivo é a da transferência de momento dos fótons de um raio de luz. Para termos ideia da ordem de grandeza das forças envolvidas no pinçamento óptico, imagine um laser com alguns mW (miliwatts) de potência, incidindo radialmente sobre uma microesfera absorvedora. Cada fóton absorvido possui um momento dado por

$$\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k} \quad (1)$$

onde  $\vec{k}$  é o seu vetor de onda e  $\hbar$  é a constante de Planck dividida por  $2\pi$ . Em módulo, podemos escrever que

$$p = \hbar k = \hbar \frac{\omega}{c} = \frac{E}{c} \quad (2)$$

onde  $c$  é a velocidade da luz,  $\omega$  é a frequência angular da luz incidente e  $E = \hbar\omega$  a energia de cada fóton. Para  $N$  fótons, teremos  $E_{tot} = N\hbar\omega = NE$ .

A força total exercida por um feixe com  $N$  fótons por segundo incidindo sobre a microesfera pode ser obtida a partir da equação (2). Usando a 2ª Lei de Newton, teremos

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{E_{tot}}{c} \right) = \frac{P_{tot}}{c} \quad (3)$$

onde  $P_{tot}$  é a potência do feixe incidente.

Feito isto, podemos estimar o valor da força na equação (3), como sendo

$$F_{tot} \approx \frac{1 \times 10^{-3} W}{3 \times 10^8 m/s} \approx 10^{-11} N = 10 pN \quad (4)$$

De fato, em experimentos com pinças ópticas, as forças estão na escala de piconewtons.

Para entendermos qualitativamente o funcionamento da pinça óptica, devemos analisar as forças que atuam na microesfera. Inicialmente teremos uma força denominada pressão de radiação, surge sempre que a luz é refletida ou absorvida ao incidir numa interface entre dois meios. Imaginemos, um laser fortemente focalizado em certo ponto, e que os raios irão incidir em uma microesfera absorvedora. Cada raio do feixe dará origem primeiramente a um raio refletido e um raio refretado em sua superfície, a contribuição da reflexão total do feixe sobre a microesfera está na pressão de radiação. A expressão para a força da pressão de radiação, devido a um raio, pode ser escrita como

$$F \propto \frac{P_{raio}}{v} \quad (5)$$

com

$$v = \frac{c}{n} \quad (6)$$

onde  $P_{raio}$  é a potência do raio e  $n$  é o índice de refração do meio de incidência.

Paralelamente, a luz também é capaz de exercer outra força sobre a microesfera quando refratada por esta. Isto somente acontece, pois, o momento linear total do sistema isolado luz-microesfera tem que ser o mesmo antes e depois da refração.

Um raio de luz ao incidir em um objeto pequeno, como uma esfera dielétrica, por exemplo, é desviado de sua trajetória original se os índices de refração do meio de

incidência e da esfera forem distintos. Isto é, o raio refratado terá um momento linear numa direção diferente da direção inicial.

Em outras palavras, podemos dizer que o raio sofreu uma variação em seu momento linear, que está relacionada com a mudança de sua trajetória. Sendo assim, a 2ª Lei de Newton requer que a esfera sofra uma variação de momento de mesmo módulo e sentido contrário à variação de momento do raio de luz. Como a esfera possui certa massa, isto implica que uma força atua sobre ela para fazer variar o seu momento. Se o índice de refração da esfera for maior que o do meio que a cerca e se o perfil de intensidades do feixe de luz for gaussiano, os raios refratados deste feixe focalizado exercerão sobre a esfera uma força de gradiente, que tenderá a levá-la para o foco do feixe.

Para visualizar melhor este efeito, vamos começar fazendo uma análise usando o regime da óptica geométrica. Nesse regime, o raio da microesfera é muito maior que o comprimento de onda da luz ( $a \gg \lambda$ ).

A figura 3 exhibe dois raios do feixe de extremidades contrárias, bem como os raios refletidos na superfície da esfera. O desvio do raio (1) origina à força  $\vec{F}_1$  na microesfera, e o desvio do raio (2) dá origem à força  $\vec{F}_2$  na microesfera. A força resultante, nesse caso, tende a empurrar a microesfera no sentido de incidência do feixe.

Finalizando a nossa análise no limite da óptica geométrica, discutiremos os efeitos da refração. A figura 4 representa uma situação na qual a microesfera está situada em uma região abaixo do foco. Ao passar pela microesfera, o raio (1) sofre um desvio, logo terá uma variação em seu momento linear. Para que o momento linear total do sistema raio – microesfera seja conservado, a esfera terá que sofrer uma variação de momento linear de mesma intensidade e sentido contrário à variação de momento linear do raio (1). De fato, é isso que ocorre, dando origem a força  $\vec{F}_1$  que aparece na figura (2). A mesma coisa acontece com o raio (2), mas como temos um perfil gaussiano de intensidade do laser, a força  $\vec{F}_1$  será maior, em módulo, que a força  $\vec{F}_2$ , de forma que a força resultante aponta para cima, empurrando a microesfera para o foco do feixe.

A figura 5 representa a microesfera na região acima do foco. Semelhante ao que acontece quando a esfera está na região abaixo do foco, surgirão forças na microesfera de forma a conservar o momento total do sistema raio - microesfera.

Agora, no caso em que a microesfera está situada em uma região acima do foco, a força resultante na microesfera apontará para baixo, de forma a empurrar novamente



a microesfera na direção do foco do feixe. Em suma, o efeito de refração é deslocar o centro da microesfera para o foco do feixe (força de gradiente), enquanto o efeito da reflexão é empurrar a microesfera no sentido da incidência do raio (pressão de radiação). A competição entre estas forças é que faz com que o objeto fique preso na região focal.

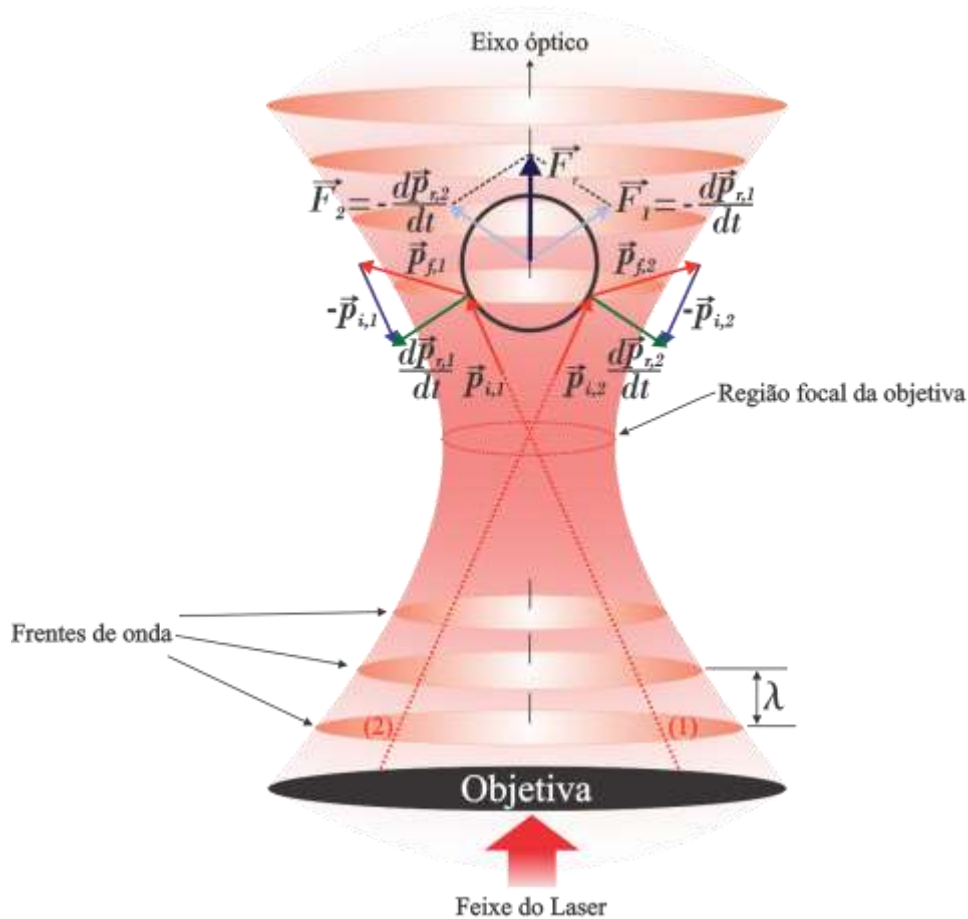


Figura 3: Pressão de Radiação: A força resultante, nesse caso, empurra a microesfera no sentido de incidência do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016).

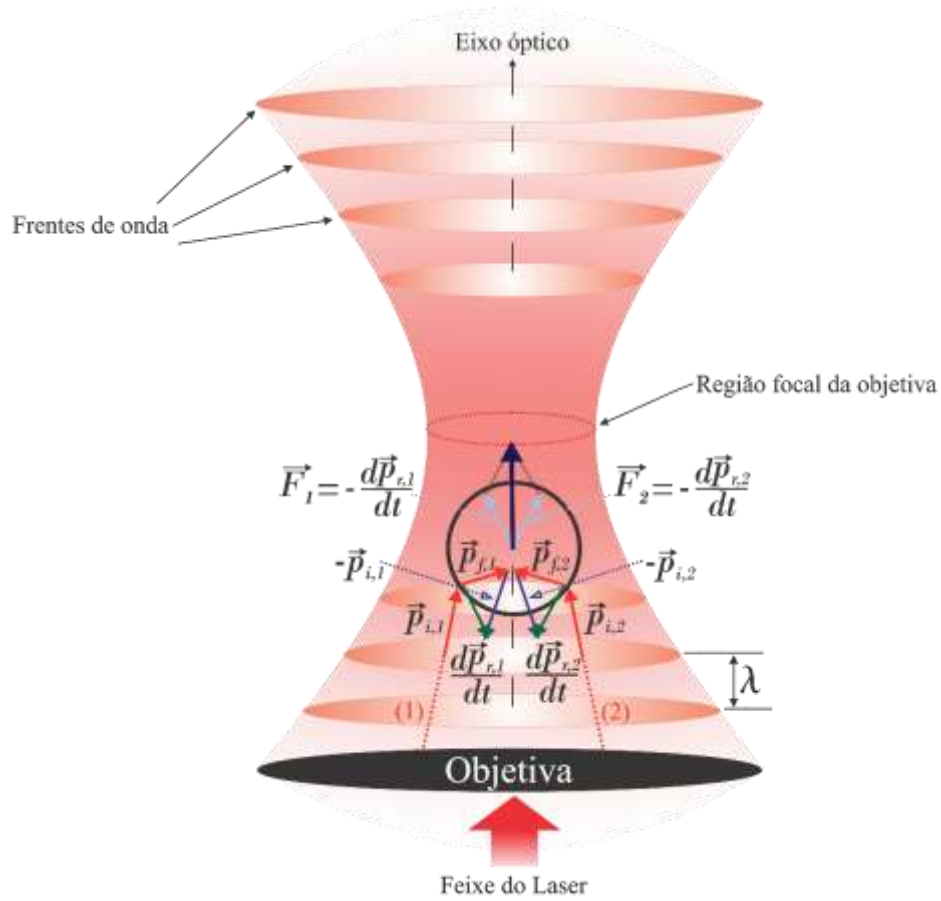


Figura 4: Efeito dos raios refratados para uma microesfera situada abaixo do foco e na metade direita do perfil de intensidades do laser. Observe que a força resultante sobre a microesfera tende a deslocar a mesma para a região do foco do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016).

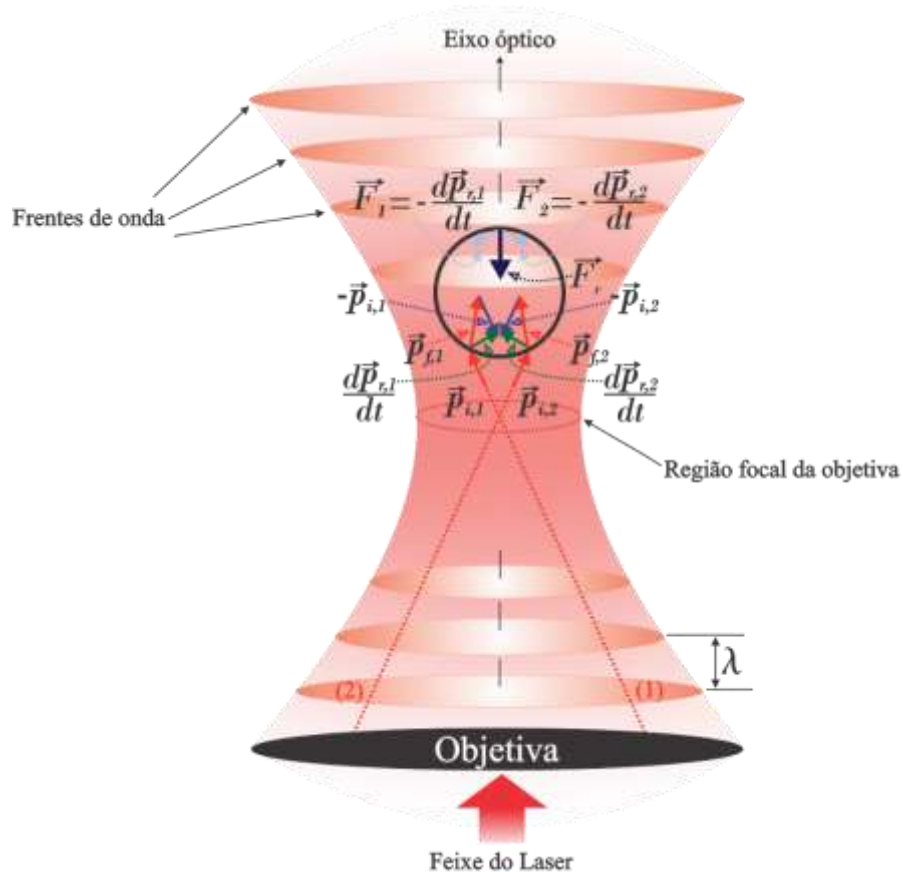


Figura 5: Força de Gradiente: Efeito dos raios refratados para uma microesfera situada acima do foco do laser. Podemos observar que a força total que atua na microesfera tende a deslocar a mesma para a região do foco do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016)

Vale ressaltar que, toda análise foi feita sob o ponto de vista da óptica geométrica, e, portanto, válida apenas neste limite, que ocorre quando o raio da esfera é muito maior do que o comprimento de onda do laser usado na pinça óptica. Podemos observar ainda que, ao desenharmos os raios refratados nas figuras (4) e (5), estamos supondo que a microesfera possui um índice de refração maior que o do meio que a cerca. De fato, isto é fundamental para que ocorra o pinçamento óptico. É fácil perceber que se o índice de refração da esfera fosse menor que o do meio, o pinçamento não aconteceria. A competição entre esses dois efeitos, pressão de radiação e força de gradiente, tem que ser vencida pela força de gradiente, ocorrendo isso daremos origem ao fenômeno de pinçamento óptico.

Podemos observar que quando aprisionamos um objeto na pinça óptica, temos um grau de liberdade nas três dimensões, mas será que a força que atua na microesfera tem a mesma intensidade em todas as direções? Ao fazer qualquer tipo de medida usando a pinça óptica o equipamento tem que estar calibrado em relação aos deslocamentos da microesfera.

Nesse momento vamos descrever um pouco sobre a teoria de calibração de pinça óptica é uma linha de pesquisa ativa nessa área, vamos descrever um procedimento clássico de calibração, conhecido como método de Stokes que é usado em vários laboratórios.

Esse método consiste em deslocar a lamínula do microscópio com velocidade  $v$  constante e medir a nova posição de equilíbrio da microesfera. A microesfera é presa no poço de potencial gerado pela da pinça óptica é um oscilador harmônico browniano, devido ao movimento dentro deste poço de potencial, que é harmônico para pequenos deslocamentos em relação à posição de equilíbrio.

Esse método é análogo ao que encontraremos no simulador PHET, por isso é essencial que o discente saiba que exista esta teoria. A figura abaixo descreve como se comporta a microesfera no poço de potencial.

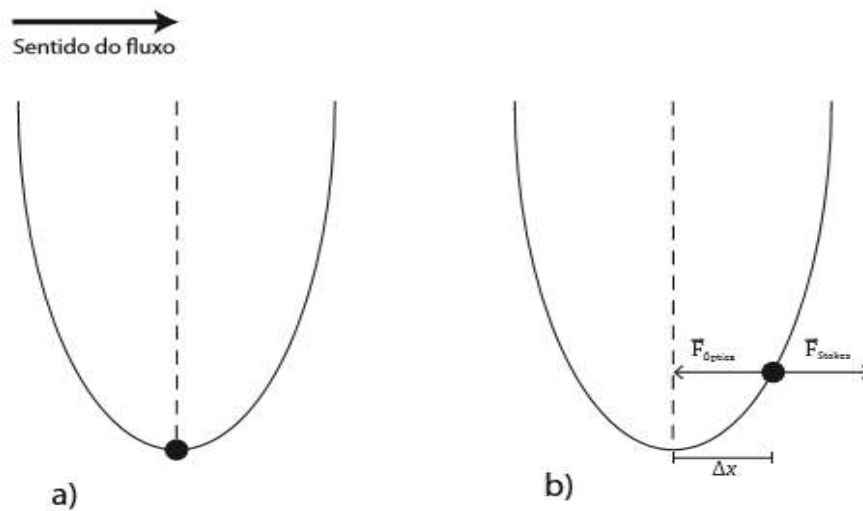


Figura 6: Calibração da Pinça: (a) Microesfera presa a pinça óptica antes de ser estabelecido o fluxo. (b) Microesfera presa a pinça depois do fluxo ser estabelecido. Fonte: (ALVES, 2012)

A figura (a) descreve uma situação na qual a microesfera se encontra em repouso no ponto de equilíbrio no poço de potencial.

Nesse caso, como o piezo que movimenta a lamínula está em repouso, então a velocidade média,  $\vec{v}$  da microesfera é nula e, conseqüentemente, a força de Stokes média também é nula.

Como já mencionado a microesfera presa no poço de potencial da pinça óptica se comporta como um oscilador harmônico browniano, estando sujeito à força óptica

restauradora e a força aleatória devido à interação com o fluido. A Figura (b), mostra a situação na qual a lamínula se movimenta com uma velocidade constante,  $\vec{v}$ , movimentando fluido no qual as microesferas estão imersas.

Esse deslocamento do fluido origina uma força de atrito, chamada de força de Stokes, que faz com que a microesfera atinja uma nova posição de equilíbrio dentro do poço de potencial. Nessa nova posição de equilíbrio a força de Stokes tem o mesmo módulo, à força óptica gerada pelo laser. A força de Stokes pode ser escrita como:

$$F_s = -\gamma\vec{v} \quad (7)$$

onde  $\gamma$  é o coeficiente de atrito viscoso e  $\vec{v}$  é a velocidade. O coeficiente de atrito viscoso sobre uma microesfera em solução aquosa é dado pela expressão aproximada

$$\gamma = \gamma_0 \left[ 1 - \frac{9}{16} \left( \frac{a}{h} \right) + \frac{1}{8} \left( \frac{a}{h} \right)^3 - \frac{45}{256} \left( \frac{a}{h} \right)^4 - \frac{1}{16} \left( \frac{a}{h} \right)^5 \right]^{-1} \quad (8)$$

onde  $a$  é o raio da microesfera,  $h$  é a distância de seu centro em relação à lâmina, e

$$\gamma_0 = 6\pi\eta_a a \quad (9)$$

onde  $\eta_a$  é a viscosidade da água (meio onde as microesferas se encontram).

A viscosidade de um material depende fortemente da temperatura. Podemos determinar o valor da viscosidade da água como função da temperatura usando a equação empírica

$$\eta_a = 10^{-3} \left[ 0,26 + 1,51 \exp \left( \frac{-t_c}{29} \right) \right] \quad (10)$$

onde  $t_c$  é a temperatura em graus Celsius e a viscosidade neste caso é encontrada na unidade Pa.s. Na nova posição de equilíbrio, mostrada na figura (b), podemos escrever que, em módulo,  $\vec{F}_{OP} = \vec{F}_s$ , ou seja,

$$x\Delta_{xp} = \gamma\vec{v} \quad (11)$$

Isolando  $\Delta_{xp}$ , temos que

$$\Delta_{xp} = \frac{\gamma}{k_x} \vec{v} \quad (12)$$

Sabendo o valor da temperatura, a equação (10) é utilizada para descobrir o valor da viscosidade. O valor do raio da microesfera já vem informado pelo fabricante.

A altura  $h$  é encontrada deslocando-se o foco do microscópio onde, inicialmente, focalizamos o fundo da lamínula e, na sequência, ajustamos o foco do microscópio até a altura  $h$  desejada. Por último, essa altura  $h$  é multiplicada pelo índice de refração relativo da água e do vidro, o que fornece o valor real da altura do centro da microesfera em relação à lamínula.

### 3.2 FÓTONS

Em meados do século XIX, Maxwell formulou um conjunto de equações, conhecidas como equações de Maxwell, que fundem todos os princípios sobre Eletromagnetismo, que eram conhecidos até aquela época (GRIFFITHS, 2010).

Através de suas equações, ele conseguiu prever a existência de ondas eletromagnéticas, observando que na presença de um campo magnético que varia com o tempo, irá surgir um campo elétrico induzido, também variável, dando origem a outro campo magnético induzido e, assim, sucessivamente.

Maxwell denominou isso de distúrbio eletromagnético, que durante a sua propagação, deveria apresentar todas as características de um movimento ondulatório, sofrendo reflexão, refração, difração e interferência. Dessa maneira, o distúrbio provocado pela propagação de campos elétricos e magnéticos, foi denominado onda eletromagnética.

Outra descoberta obtida por Maxwell foi a determinação do valor da velocidade de uma onda eletromagnética no vácuo, cujo valor é:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (13)$$

Isso foi importante, pois tal valor coincide com a velocidade de propagação da luz no vácuo, levando Maxwell a propor que a luz fosse uma onda eletromagnética. Hoje, sabemos que a luz é também uma onda eletromagnética (GRIFFITHS, 2010).

No entanto, esse modelo ondulatório para a luz, não conseguia explicar determinados fenômenos que surgiram no início do século XX, como radiação do corpo negro, efeito fotoelétrico etc. (TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

Ao estudar essas experiências, os físicos da época observaram que tais problemas envolviam teorias existentes numa escala microscópica, e nesta escala as

teorias da Física Clássica falhavam. Daí, tivemos o início de uma nova Física, a Física Quântica.

Um dos primeiros desafios a serem entendidos, foi o fato de algumas grandezas físicas, que até então só apresentavam valores contínuos, como a energia, passarem a apresentar valores discretos.

Por exemplo, os números naturais constituem um conjunto discreto, enquanto os números reais formam um conjunto contínuo, ou seja, entre dois números naturais consecutivos não existe um terceiro número, mas entre dois números reais quaisquer existem uma infinidade de outros números reais.

Ao observarem em seus estudos esse comportamento para alguns fenômenos da natureza, surgiu o nome Física Quântica, pois a palavra quantum provém do latim que significa quantidade, ou seu plural quanta, esse termo começou a ser utilizada para caracterizar as unidades discretas das grandezas que deixaram de se comportar como contínuas.

O físico alemão Max Planck, na tentativa de solucionar problemas da radiação emitida por um corpo negro, considerou os átomos constituintes do corpo aquecido como osciladores harmônicos, vibrando em torno do ponto de equilíbrio estável. Os vários osciladores do corpo teriam suas energias distribuídas estaticamente, de acordo com a temperatura (TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

Inicialmente, Planck não obteve êxito, após perceber que a energia de cada oscilador só poderia adquirir valores discretos, ajustou o valor de uma constante multiplicativa  $h$ , que constava de sua expressão, solucionando o problema da radiação térmica.

O oscilador só poderia ser encontrado em determinados níveis de energia e, no caso específico, de osciladores harmônicos, os níveis de energia são igualmente espaçados, separados de uma energia igual a  $hf$ , em que  $f$  é a frequência do oscilador. O valor encontrado para a constante, denominada constante de Planck, é:  $h = 6,63 \times 10^{-34} J \cdot s$ .

Essa descoberta marcou o nascimento da Física Quântica, iniciando uma nova era. A partir disso, começaram os processos para entender o porquê que em determinados momentos, a luz comportava-se como partícula ou transportava essas, embora sabendo que ela era uma onda.

Um dos pioneiros a supor que a luz fosse constituída por pequenas partículas (modelo corpuscular da luz), foi o físico Isaac Newton, em sua obra *Opticks*, publicada em 1704 (NEWTON, 1704).

Planck também acreditava nessa teoria, e que tais partículas seriam pacotes de energias. A explicação para tais pacotes de energias foi dada por Albert Einstein, quando analisou um experimento denominado efeito fotoelétrico, com seu novo modelo para a luz, na tentativa de descrever à hipótese de quantização da energia, proposta por Planck.

Com esse experimento Einstein tentou provar a ideia principal de seu trabalho: a luz seria formada por pequenos pontos materiais cuja energia seria descrita exatamente pela mesma expressão que Planck havia formulado para descrever a quantização de energia:

$$E = hf \quad (14)$$

onde,  $h$  é a constante de Planck.

O efeito fotoelétrico ocorre quando incidimos um feixe de luz sob uma superfície metálica e desses elétrons são arrancados com certa quantidade de energia. Para que isso aconteça, é necessário realizar trabalhos sobre esses elétrons, fornecendo uma quantidade de energia chamada função trabalho do metal  $E_T$ .

Não existia problema nessa teoria, até então, afinal a luz forneceria a energia necessária para arrancá-los. No entanto, observou-se que o fato de arrancar os elétrons do metal, dependia da cor da luz utilizada e não de sua intensidade.

O problema surgiu nesse momento, pois de acordo com o eletromagnetismo de Maxwell, se jogarmos luz vermelha num metal e percebermos que os elétrons não estão sendo arrancados, bastaria usar um feixe de luz mais intenso para arrancá-los. Contudo isso não funcionava.

Em contrapartida, se usássemos luz violeta, mesmo com intensidade baixa, os elétrons poderiam ser arrancados, essa característica da luz não aparece na teoria da onda eletromagnética de Maxwell.

Einstein explicou tal característica embasada em dois argumentos: primeiro, a necessidade de uma dependência da energia da luz com sua frequência e, segundo a conclusão de Planck de que a energia de um oscilador harmônico era quantizada em unidades  $hf$ , propondo, então a ideia de um quantum de luz.



Principiou a hipótese que uma luz monocromática de frequência  $f$  era constituída de unidades indivisíveis, os quantos de luz, cujas energias eram dadas pela equação 13. Assim, explicou a experiência do efeito fotoelétrico num artigo publicado em março de 1905. Em 1926, Gilbert Lewis, criou a palavra fóton para estabelecer um quantum de luz.

Einstein propôs ainda que, sempre que a luz é absorvida ou emitida por um corpo, há absorção ou emissão ocorre nos átomos. Desse modo, um fóton que possui uma frequência  $f$  e uma energia  $hf$ , ao ser absorvido, transfere sua energia para o átomo, ocorrendo a destruição de um fóton. Porém, na emissão de um fóton, sua energia  $hf$  é transferida do átomo para luz, decorrendo a formação de um fóton.

Frisando que, essa é a explicação do Efeito Fotoelétrico para Einstein, e que os pioneiros na observação desse fenômeno foram Hertz, tentando comprovar as ideias de Maxwell sobre as ondas eletromagnéticas.

Vale ressaltar também, que ainda não foi possível observar a luz com os dois comportamentos ao mesmo tempo. Esta é uma particularidade do universo quântico e se diz que o fóton, resultado da quantização do campo eletromagnético, possui uma natureza dual, de onda e partícula.

Na escala macroscópica, não se pode observar esse comportamento dual em função da interação com o meio ambiente, que faz com que o sistema perca suas propriedades quânticas e se comporte classicamente. Porém, na escala microscópica, esta propriedade denominada dualidade onda-partícula é comum.

Segundo a relatividade, uma partícula viajando na velocidade da luz não pode possuir massa de repouso, logo, a massa de repouso do fóton é nula. Sabe-se também, de acordo com a relatividade, que a quantidade de movimento de qualquer partícula com massa de repouso nula é dada por  $q = \frac{E}{c}$ , e que a energia do fóton é dada por  $E = hf$  e para uma onda eletromagnética temos  $c = f\lambda$ .

De maneira sucinta, o fóton, que é o resultado da quantização do campo eletromagnético, possui as seguintes propriedades:

$$v = c \Leftrightarrow m = 0 \text{ e ainda; } E = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow |\vec{q}| = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (15)$$

### 3.3 INTRODUÇÃO A LASERS

O termo laser é uma sigla inglesa, *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que em português significa “Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação”. É um tipo especial de radiação eletromagnética visível, cujas aplicações tecnológicas e científicas vem crescendo dia a dia (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017).

No final do século XVIII, foram desenvolvidas pesquisas que contribuíram para a criação dos lasers, bem como mostra a linha do tempo a seguir:



Theodore Maiman, ao apresentar o laser, proporcionou a emissão estimulada de radiação através do bombardeio entre um cristal de rubi sintético com uma lâmpada de flash.

Para entendermos o funcionamento do laser devemos considerar como a radiação interage com a matéria, ou seja, onde elétrons são deslocados de seus orbitais de equilíbrio, e ao retornarem, emitem a energia excedente sob a forma de luz ou raios x característicos.

Conforme as leis do modelo atômico de Bohr, elétrons só podem ocupar níveis bem definidos de energia. Quando um elétron é atingido por um fóton, ele pode mudar do nível de energia  $E_1$  para  $E_2$ .

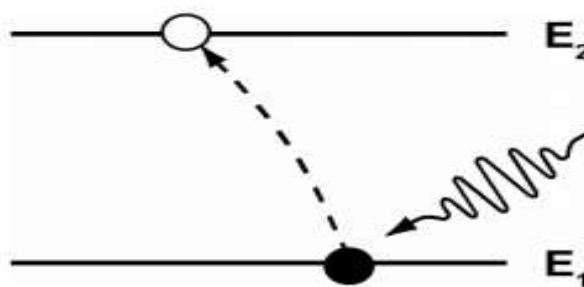


Figura 7: Fóton, representado pela onda-seta, incidindo no elétron. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2016)

No processo de interação podemos distinguir três situações possíveis, que são: absorção, emissão espontânea e emissão estimulada (RENK, 2017).

A figura anterior representa um sistema atômico simples, com apenas dois níveis de energia. Suponha, que um fóton alcance esse sistema atômico e comece a interagir com ele, imaginemos ainda que, a frequência  $f$  associada do fóton seja tal que  $hf = E_2 - E_1$ . Como resultado, obteremos o desaparecimento do fóton, logo, o sistema atômico passará para o seu nível de energia mais alto, no caso, nível  $E_2$ . Denominamos esse processo de absorção.

Estando o sistema atômico, em seu nível mais alto, sem influências externas, ele retornará espontaneamente para o menor nível, isto é, o nível  $E_1$ , emitindo um fóton de energia  $hf = E_2 - E_1$ , como demonstra a figura 8. Note, que não existiu influência externa para que ocorresse a emissão, a este processo, denominamos emissão espontânea (RENK, 2017).

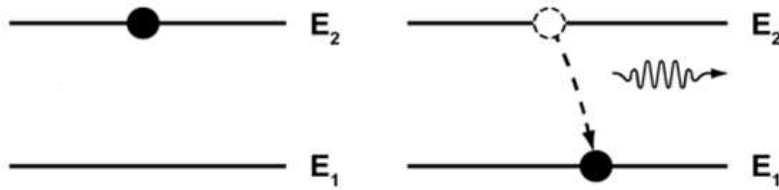


Figura 8: Elétron em seu nível de energia mais alto, após absorver o fóton. Em seguida, cai para o nível de energia menor, emitindo um fóton espontaneamente. Imagem adaptada. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017)

Segundo Maiman, o funcionamento do laser se baseia na ocorrência de transições quânticas nos níveis energéticos de um estado inicial para outro energeticamente superior, aumentando a população dos níveis superiores, que em condições de equilíbrio térmico dados níveis inferiores são mais povoados.

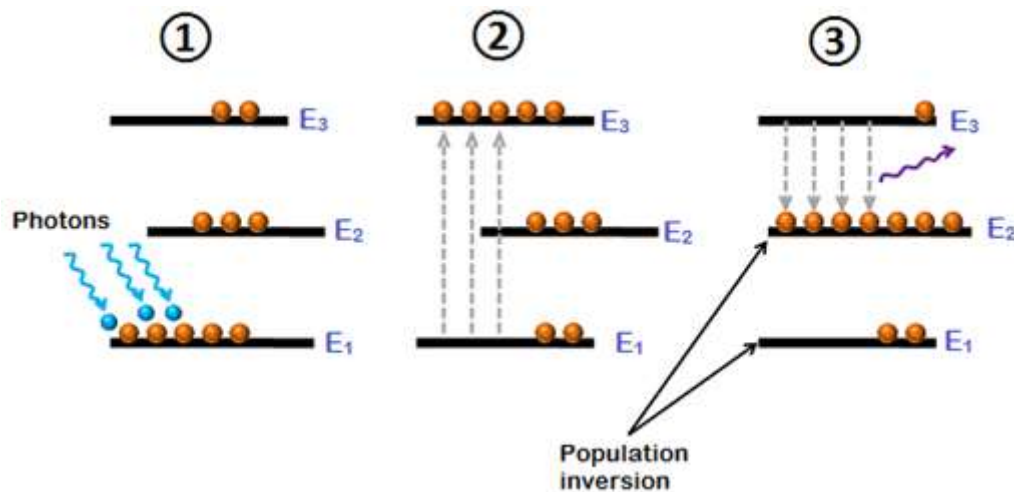


Figura 9: Inversão de população. Fonte: (Physics and Radio-Electronics)

Esse processo é denominado de inversão de população que ocorre com uma emissão estimulada de radiação, isto é, um fóton estimula o elétron de um átomo, tal que o elétron salta para um nível de energia menor, mas ao fazê-lo emite outro fóton idêntico com a mesma frequência, fase, polarização e direção de viagem que o fóton original. Assim a emissão de fóton é estimulada pela ação de outro fóton.

Esse processo é essencial para o funcionamento do laser, que por sua vez, já traz em sua nomenclatura o termo “emissão estimulada”. Para melhor entendimento, vamos considerar novamente, o nosso sistema atômico simples, de modo que não esteja totalmente isolado, existindo um fóton com frequência  $hf = E_2 - E_1$ .

Esse fóton irá interagir com o nosso sistema, fazendo com que ele desça para o seu estado mais baixo. Agora, teremos a presença de dois fótons e não somente um como demonstra a figura abaixo. Chamamos este processo de emissão estimulada (RENK, 2017).

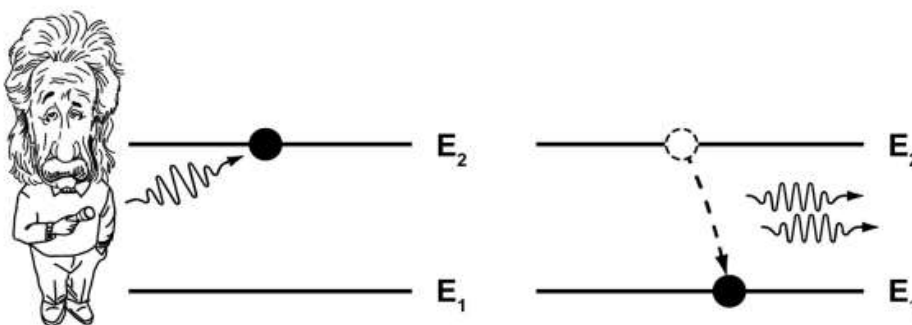


Figura 10: Emissão Estimulada. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017)

A luz do laser é monocromática, isto é, ela é constituída de radiações que apresentam uma única frequência, de valor bem determinado. Com a luz comum seria muito difícil obter esse grau de monocromaticidade, pois ela se apresenta como uma mistura de radiações de várias frequências.

Sendo também coerente, enquanto um feixe de luz comum é incoerente. Isto é, na luz comum, as cristas e os vales das ondas luminosas se distribuem aleatoriamente uns em relação aos outros, ou seja, estão defasadas entre si, e esta defasagem não permanece constante no decorrer do tempo.

Por outro lado, as diversas radiações que constituem um feixe de laser estão rigorosamente em fase, havendo coincidência entre as cristas e vales. Portanto, dizemos que a luz do laser é coerente.

Além disso, para todo laser, o efeito de difração faz com que as ondas de luz se espalhem transversalmente à medida que se propaga o que impede um feixe perfeitamente colimado, mesmo que esse feixe possua modo de operação nas direções perpendiculares à direção de propagação, isto é, modos transversos eletromagnéticos (RENK, 2017).

Atualmente, existe uma variedade de lasers, estes podem ser de estado sólido, líquido, gás e semicondutor. Também são inúmeras as aplicações deles, principalmente na área da ciência, da tecnologia e em nosso dia a dia.

### 3.3.1 Aplicações

É fato que o avanço tecnológico trouxe várias contribuições para a sociedade e o homem. Mas, sem dúvida, o desenvolvimento do laser, corroborou para o progresso da ciência e em nosso cotidiano, nos fazendo evoluir dos supermercados à descoberta de que a luz pode aprisionar um objeto. Esse último foi um dos maiores avanços, quando falamos de laser, remetendo ao prêmio Nobel de Física em 2018.

Dito isto, citaremos algumas aplicações dessa descoberta, que hoje, são indispensáveis em nossas vidas, nas ciências e no dia a dia:

- Indústrias/Comunicações:
  - 1974 – Utilização do laser a introdução de leitores de códigos de barras, para conferir preços de mercadorias em supermercados;
  - Em telecomunicações, utilizando cabo de fibra ótica, para transportar sinais de TV e telefone;
  - Leitores de CD/DVD presente em notebook ou computadores, utilizam laser para ler os arquivos de mídia;
- Na área da medicina, o laser teve muita aplicabilidade, ressaltamos as aplicações no tratamento do coração, na odontologia e nas doenças do HPV;
- Na área da Física e Biologia, mencionamos novamente, a manipulação de objetos por meio da luz; que nesse caso, os primeiros experimentos se deram a partir de organismos vivos, como vocês podem ler no Capítulo 2;

### 3.4 REFLEXÃO E REFRAÇÃO

Quando a luz passa de um meio homogêneo para o outro, existe uma descontinuidade das propriedades materiais, na interface entre os dois (NUSSENZVEIG, 2002).

Suponhamos que  $\Sigma$  seja a superfície de separação entre dois meios transparentes 1 e 2, e imaginemos um raio de luz incidente no meio 1 sobre um ponto P da interface  $\Sigma$ .

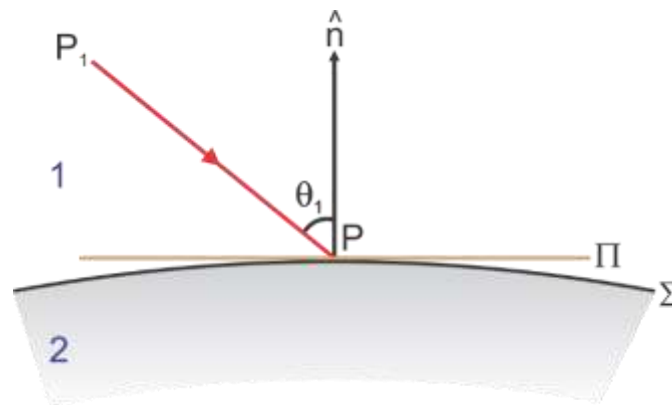


Figura 11: Plano de incidência. Fonte: Autoria própria.

Pela ótica geométrica em que  $\lambda \ll$  raio de curvatura em P,  $\Sigma$  equivale ao nosso plano tangente  $\Pi$ , de modo que os fenômenos ocorram como a interface seja plana. Dito isto, denominamos  $\hat{n}$  o vetor unitário da normal entre  $\Sigma$  e P. O raio incidente  $P_1P$  e a normal  $\hat{n}$ , estão contidos no plano de incidência, formando um ângulo de incidência, o ângulo  $\theta_1$ .

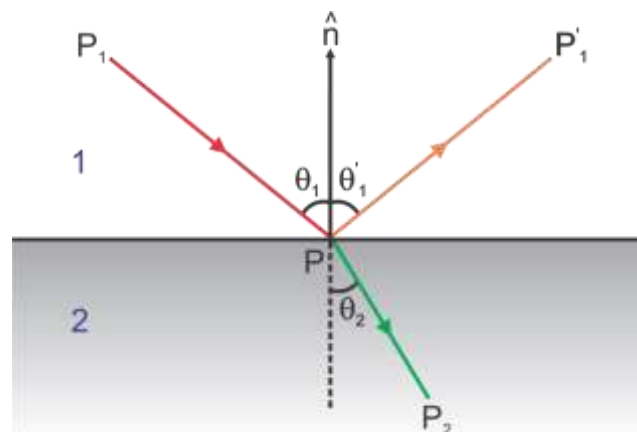


Figura 12: Ângulos de Reflexão e Refração. Fonte: Autoria própria.

Observamos na figura 11 que o raio incidente origina a princípio um raio refletido  $PP_1'$  que volta para o meio 1 formando com a normal o ângulo de reflexão  $\theta_1'$  e a um raio refratado  $PP_2$  transmitido para o meio 2, formando com a direção da normal um ângulo  $\theta_2$  – ângulo de refração.

A lei da reflexão nos diz que:

*O raio refletido pertence ao plano de incidência, e o ângulo de reflexão é igual ao de incidência.*

$$\theta_1' = \theta_1 \quad (16)$$

A lei da refração, descoberta por Willebord Snell – 1621, nos diz que: O raio refratado também permanece no plano de incidência, daí:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = n_{12} \quad (17)$$

onde  $n_{12}$  é o índice de refração do meio 2 relativo ao meio 1.

Se  $n_{12} > 1$ , então, o raio refratado se aproxima da normal. Mas, se  $n_{12} < 1$ , o raio refratado se afasta da normal.

Ressaltamos que a constância do índice de refração relativo é válida para luz monocromática. Assim,  $n_{12}$  varia com a cor, instituindo o fenômeno da dispersão, como ocorre nas experiências de Newton com prismas, a separação das cores.

Em 1657, Pierre de Fermat, encontrou um novo método para determinar a trajetória dos raios luminosos, afirmando que a luz sempre percorrerá a menor distância possível para ir de um ponto ao outro, isto é:

*De todos os caminhos possíveis para ir de um ponto a outro, a luz segue aquele que é percorrido no tempo mínimo.*

O tempo que uma frente de onda luminosa leva para percorrer uma distância  $d$  num meio de índice de refração  $n$  e

$$t = \frac{d}{v} = \frac{nd}{c} \quad (18)$$

O produto  $nd$  do índice de refração do meio pela distância  $d$  nele percorrida chama-se caminho ótico associado a este percurso. Sendo  $c$  uma constante, o tempo mínimo também é equivalente a caminho ótico mínimo.



Assim a propagação da luz num único meio homogênea, se  $n = \text{constante}$ , o caminho óptico mínimo também corresponde à distância mínima, ou seja, o Princípio de Fermat remete à propagação retilínea da luz entre dois pontos.

Consideremos agora dois meios homogêneos diferentes, separados por uma interface plana. Qual é o caminho óptico mínimo para ir de  $P_1$  a  $P'_1$ , conforme a figura 12, passando por um ponto da interface?

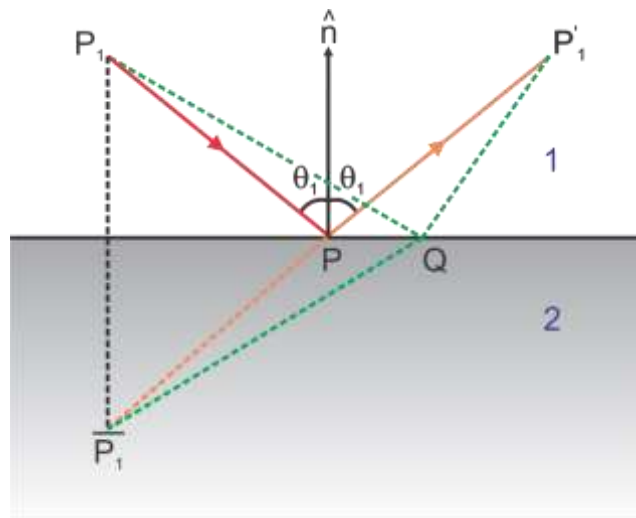


Figura 13: Princípio de Fermat na reflexão. Fonte: Autoria própria.

Como os caminhos mais curtos para ir e voltar da interface são retas, o caminho procurado consiste num par de segmentos de reta, ligando  $P_1$  à interface e a interface  $P'_1$ . Em qual ponto da interface deve passar?

Seja  $\bar{P}_1$  o ponto simétrico de  $P_1$  com relação à interface. O ponto da interface procurado é então a intersecção de  $\bar{P}_1P'_1$  com a interface, na figura 12 vemos o ponto P.

Com efeito, se compararmos o caminho  $P_1PP'_1$  a outro, como  $P_1QP'_1$ , vemos pela figura 12 que  $P_1P = \bar{P}_1P$  e  $P_1Q = \bar{P}_1Q$ , e que o caminho óptico via P equivale ao seguimento de reta  $\bar{P}_1P'_1$ , menor do que o caminho  $\bar{P}_1Q + \overline{QP'_1}$  associado a qualquer outro ponto Q da interface.

Portanto, o Princípio de Fermat leva à lei da reflexão. Vamos mostrar agora que também leva à lei de Snell (figura 13).

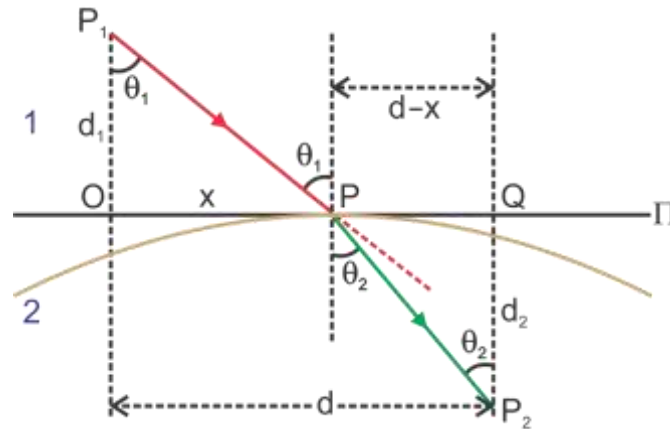


Figura 14: Princípio de Fermat na refração. Fonte: Autoria própria.

Iremos considerar os pontos  $P_1$  e  $P_2$  e buscamos o ponto  $P$  da interface que minimiza o caminho ótico  $n_1 \overline{P_1P} + n_2 \overline{PP_2}$ . Seja  $\Pi$  o plano tangente à interface em  $P$ ,  $O$  e  $Q$  as projeções de  $P_1$  e  $P_2$  sobre  $\Pi$  e  $\overline{P_1O} = d_1$ ,  $\overline{P_2Q} = d_2$ ,  $\overline{OQ} = d$  e  $\overline{OP} = x$ , onde queremos determinar  $x$ .

A figura 10 dá

$$([P_1PP_2]) = \text{caminho ótico} \quad (19)$$

$$[P_1PP_2] \equiv n_1 \overline{P_1P} + n_2 \overline{PP_2} = n_1 (d_1^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} + n_2 (d_2^2 + (d-x)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

Para obter o mínimo, derivamos em relação a  $x$ :

$$0 = n_1 \cdot \frac{x}{(d_1^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} - n_2 \cdot \frac{(d-x)}{[d_2^2 + (d-x)^2]^{\frac{1}{2}}} = n_1 \cdot \frac{x}{\overline{P_1P}} - n_2 \frac{(d-x)}{\overline{PP_2}} \quad (21)$$

$$0 = n_1 \sin \theta_1 - n_2 \sin \theta_2 \quad (22)$$

Dessa forma, o caminho ótico mínimo é aquele que condiz à lei da refração. O caminho “quebrado” minimiza o tempo porque aproveita melhor o caminho no meio 1, onde a velocidade é maior, reduzindo-o no meio 2, onde ela é menor.

Dito isto, em nosso produto educacional, iremos trabalhar os conceitos de fótons, laser, reflexão e refração, utilizando transposição didática do pinçamento óptico com o auxílio do simulador PhET.

## CAPÍTULO 4

### PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este produto educacional foi construído na intenção de auxiliar docentes que tenham interesse em experimentar metodologias alternativas para o ensino de conceitos de óptica geométrica e física contemporânea.

Ele se fundamenta na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1968), em que os fatores mais impactantes no processo de ensino-aprendizagem são os conhecimentos que previamente integram a estrutura cognitiva do estudante.

O produto educacional foi desenvolvido como sendo uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS, proposta por Moreira (2011), em que é sugerida uma estrutura didática teoricamente orientada à aprendizagem significativa.

A avaliação da UEPS é realizada ao longo do processo de ensino-aprendizagem, mas Moreira (2011) também sugere que sejam realizadas avaliações ao final, de tal maneira que o professor possa registrar tudo o que possa ser considerado indício de aprendizagem significativa.

Um dos objetivos específicos que vamos tentar alcançar é verificar a possibilidade do fenômeno de pinçamento óptico que é um conceito não usual no ensino médio ser descrito em uma linguagem acessível para o público-alvo utilizando como metodologia simulações já descritas no PhET, mas que até o momento não temos nenhum trabalho usando como suporte esta simulação.

Todas as aulas dos encontros serão ministradas de maneira presencial, respeitando e obedecendo os protocolos exigidos contra a COVID-19. Tendo em vista a carência dos alunos em internet, estes por sua vez, residem em uma localidade que os sinais não chegam até lá, não possuindo torre para redes móveis. Somente a escola, possui acesso via satélite à internet, limitadas, por meio do programa escolas conectadas.

## 4.1 DELINEAMENTO DO TRABALHO

O primeiro encontro, composto por duas aulas, tem como objetivo instigar os organizadores prévios dos discentes, por meio de imagens (memes), para discutir a influência da luz e de seus fenômenos, em específico o pinçamento óptico.

Será exposta a situação-problema, em nível introdutório, levando-se em conta aspectos gerais do fenômeno de pinçamento óptico. Os discentes assistirão a um episódio do clássico desenho da turma da Mônica – episódio “abduzidos” - <https://www.youtube.com/watch?v=tMI6X-3ZP6k>, que mostra o efeito de pinças ópticas através de “naves espaciais”.

Para que o discente participe de maneira ativa no processo de ensino aprendizagem, pediremos a eles que realizem uma pesquisa em seu navegador com as seguintes palavras “pessoas abduzidas memes”. Feito isto, terá um levantamento de opiniões dos alunos, de maneira oral, sobre os elementos constitutivos do desenho e dos memes, especialmente no que diz respeito a propriedades ópticas.

O desenho e as imagens servirão como organizadores prévios para o ensino do pinçamento óptico, pois mostram, de maneira geral e não inclusiva duas situações em que a pinça óptica é utilizada em contextos artísticos distintos.

O docente pode mediar o processo de resolução da situação-problema, fazendo perguntas acerca da natureza dos materiais apresentados, bem como: É possível ocorrer este fenômeno no cotidiano? Se sim, a força que a luz exerce pode “puxar” qualquer objeto independentemente do formato dele e de sua massa? Que tipos de luz existem, e quais delas podem “puxar” um objeto? Se a luz “puxa” tal objeto, ela exerce força nesse corpo, se exerce força há um gasto energético, então de onde vem a energia da luz?

Após 10 minutos do início da atividade, recolherá o teste para as devidas análises. Poderá ocorrer a citação de algumas respostas dos alunos em sala, para instigar discussões, mas sem interferir no debate entre os discentes.

Espera-se que, nas atividades realizadas na primeira aula, os estudantes percebam as propriedades da luz, que não é qualquer luz que ocorrerá o pinçamento óptico. Caso este conceito não apareça, ele será indicativo de falhas no subsunçor e no avanço hierárquico da aprendizagem, pressupondo a adoção de estratégias complementares e reorientadoras dos problemas de ensino aprendizagem.

Entre a primeira e a segunda aula, o docente fará as devidas análises das atividades entregues pelos discentes, buscando encontrar evidências de que os memes, historinhas e a simulação serviram como organizadores prévios resgataram ou introduziram os subsunçores necessários para a segunda aula na estrutura cognitiva dos estudantes.

O segundo encontro é formado por uma aula com duração de 50 minutos, tem como objetivo especificar a natureza da luz e a sua partícula, o fóton. Seguindo a problemática do primeiro encontro, o docente irá mostrar duas imagens específicas (memes), que retratam o comportamento da luz, projetada a partir do Datashow.

### A luz é onda e partícula



Imagem retirada da internet



Imagem retirada da internet

Em seguida o professor instigará os alunos sobre qual seria a relação existente entre as duas imagens, a partir do primeiro encontro, qual a ideia agora de luz. Após

isso, será trabalhado de maneira prática e sucinta o processo histórico e suas características, por meio do vídeo “O que é luz: Onda ou Partícula” <https://youtu.be/oSUHXeiaQ98> .

Feito isto, duas novas imagens serão exibidas para introduzir o conceito de fótons e suas características.



Imagem retirada da internet



Imagem retirada da internet

Para que os discentes tenham um melhor ensino aprendizagem e abstração desse conceito e em como o efeito fotoelétrico foi importante, o discente mostrará um vídeo “Como surgem os fótons: as partículas de luz” <https://youtu.be/6EG2ttCYbrA> .

O terceiro encontro será dividido em duas aulas de 40 minutos cada, tem como objetivo analisar os fenômenos que ocorrem durante a simulação. Após uma retomada da aula anterior, o ministrante irá expor a simulação PhET e as principais características da luz laser.

Durante o andamento da aula por meio de projeção multimídia (slides), o professor desenvolverá a aula abordando a importância da tecnologia na área de física e algumas de suas aplicações e como surgiu a ideia do pinçamento óptico através do vídeo “Pinça de luz: a luz movimentando matéria” <https://youtu.be/FOI51N07ixs>.

Em seguida, apresentará a plataforma PhET, manuseando a simulação em questão (pinças ópticas). Mencionando as características do laser e seu funcionamento, a partir de dois vídeos (<https://youtu.be/TX4Hyp3TWqQ>, <https://youtu.be/y3SBSbsdiYg> ) e da microesfera, para que ocorra o fenômeno que estamos analisando.

Dada as exposições citadas, irá investigar as opiniões dos alunos, se é realmente possível visualizar o fenômeno de maneira real. Com o auxílio de uma lâmpada, um laser a caneta e uma bolinha de pingpong, o professor irá propor aos discentes que tentem fazer a bolinha “flutuar”, conforme observaram na simulação.

Após a demonstração, instigará os alunos do porquê o pequeno experimento não ter funcionado como durante a simulação? Em que momento os fótons são “protagonistas” no experimento? E o laser, o que ocorre quando varia sua potência?

Dessa maneira, aluno terá a oportunidade de perceber as características da luz laser e o conceito de fótons aplicado no pinçamento óptico.

Neste momento, é ideal que o docente retrate aos alunos que na Física, assim como utilizamos o nosso olho para enxergar, fazemos uso dos experimentos para comprovar as teorias físicas, como o nosso segundo olho. Por não ter recursos suficientes para montar o aparato, a fim de perceber o fenômeno estudado, estamos trabalhando com a simulação.

O intuito aqui, também é mostrar para os alunos que por trás do prêmio Nobel de Física trazem conceitos que eles podem ter acesso deste o ensino médio

corroborando para o ensino aprendizagem e ainda os motivando, deixando a premiação mais importante da ciência palpável para os discentes do ensino básico.

O quarto encontro é formado por duas aulas, cada uma com duração de 40 minutos, tem como objetivo a compreensão dos conceitos sobre os fenômenos de reflexão e refração da luz. O professor utilizará como problemática duas situações, em que a primeira é expor uma poesia, dando ênfase nos primeiros versos (destacados em amarelo), nome da poesia: Ismália, cujo autor é Alphonsus de Guimaraens.

### ISMÁLIA

Quando Ismália enlouqueceu,

Pôs-se na torre a sonhar...

Viu uma lua no céu,

Viu outra lua no mar.

No sonho em que se perdeu,

Banhou-se toda em luar...

Queria subir ao céu,

Queria descer ao mar...

E, no desvario seu,

Na torre pôs-se a cantar...

Estava perto do céu,

Estava longe do mar...

E como um anjo, pendeu

As asas para voar...

Queria a lua do céu,

Queria a lua do mar...

As asas que Deus lhe deu

Ruflaram de par em par...

Sua alma subiu aos céus,

Seu corpo desceu ao mar...



GUIMARAENS, ALPHONSUS DE.  
IN: MELLO, GLASDSTONE CHAVES DE.  
ALPHONSUS DE GUIMARAENS: PPESIA.RIO DE JANEIRO: AGIR, 1963. P. 70.

A segunda situação o docente apresentará um fato comum da região, que consiste em as pessoas colocar sacos plásticos com água, dependurados em suas casas, para espantar moscas.

Em uma roda de conversa, o professor instigará aos alunos qual a relação das duas situações expostas com os fenômenos que estamos estudando? A turma acha que existe algum fenômeno físico apresentado nos versos da poesia? Por que as moscas realmente são espantadas pelo saco plástico com água? O docente não irá interferir na opinião da turma.

Em seguida, o professor irá expor os conteúdos do tema sobre Refração da luz, por meio de projeção multimídia (slides).

O segundo momento da aula, o docente dividirá a turma em dois grupos, cada um irá fazer um pequeno experimento (nome: Onde está o dinheiro?), que consiste em pegar um pequeno copo plástico não transparente (desses para cafezinho), uma moeda pequena e água.

A moeda será colocada no fundo do copo, bem no centro. O copo precisa estar em cima de uma mesa ou outro suporte qualquer, de maneira que os alunos consigam enxergar o fundo do copo, mas não a moeda. Em seguida, iram acrescentar a água aos poucos no copo, até que fique cheio.

Feito isto, o professor em roda de conversa, irá pedir que a turma expresse o que foi observado durante o experimento. Instigará aos alunos, se existe algum fenômeno físico ali. Caso a resposta seja positiva, o professor questionará se trata do mesmo fenômeno estudado anteriormente.

Coletada as opiniões dos alunos, o docente irá expor os conteúdos referentes à refração da luz por meio de projeção multimídia (slides). Em um último momento da aula, o docente pedirá que os alunos identifiquem os fenômenos estudados no pinçamento óptico, no decorrer da simulação Pinças Ópticas.

O quinto e último encontro, finalizará a aplicação do produto, tendo como objetivo avaliar de maneira geral, a compreensão do fenômeno pinçamento óptico, utilizando o simulador PhET como recurso didático.

Após uma explanação geral dos conceitos trabalhados nos encontros anteriores, esse encontro será dividido em duas aulas, cada uma com 40 minutos. No primeiro momento, o docente irá dividir a turma em dois grupos, cada grupo formado por quatro alunos.

Os grupos irão manusear a simulação (nesse momento o professor irá mediar apenas às dúvidas referentes ao uso dos computadores) e observando o fenômeno pinçamento óptico, irão detalhar de maneira discursiva e individual, cada processo que ocorre durante a simulação, a fim de identificar os conceitos estudados nos encontros anteriores.

No segundo momento, será aplicado um questionário, que os alunos deverão responder individualmente.

Uma vez que, o calendário letivo é disponibilizado para as escolas estaduais do Acre (localizadas na zona rural dos municípios) pela Secretaria de Educação, este produto educacional foi aplicado na primeira quinzena do mês de julho de 2022.

## **4.2 PÚBLICO ALVO**

O presente produto educacional foi aplicado em uma turma de 2º ano do ensino médio, na Escola Estadual Rural Nova Vida, localizada na zona rural do município de Bujari, Estado do Acre.

São alunos adolescentes, tem uma média de idade entre 15 aos 21 anos, a turma é composta por 12 alunos, por se tratar de uma escola rural, a tecnologia é pouca utilizada como recurso no ensino aprendizagem, o que viabiliza ainda mais a aplicação do produto, já que eles quase não possuem acesso a elas. A escola é a única na localidade que integra público do ensino médio.



Figura 15 - Frente da Escola Nova Vida, mesma instituição em que foi aplicado o produto. Fonte: Mardilson Gomes.



Figura 16 - Blocos em que ficam as salas de aula na escola. Fonte: Rogério Nogueira.

Vale ressaltar que, nas escolas rurais (consideradas de difícil acesso) no Estado do Acre o sistema de ensino ocorre por meio de programas, no caso da instituição em que o produto foi aplicado é “Caminhos da Educação do Campo”, onde os alunos são atendidos pelos professores por área de conhecimento: Linguagens e Códigos (Língua Portuguesa, Língua Espanhola, Língua Inglesa e Artes), Ciências Humanas (História,

Geografia, Sociologia e Filosofia), Ciências da Natureza (Biologia, Física e Química) e Matemática; sendo essas duas últimas áreas unificadas e lecionadas por um mesmo professor, uma vez que, as turmas do Ensino Médio são poucas, fazendo-se necessário a junção para que preencha a carga horária do contrato do docente. No que se refere a escola em questão, há apenas uma turma de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> série do Ensino Médio respectivamente.

Ao mencionarmos o termo “difícil acesso”, estamos inferindo escolas em localidades como demonstram as imagens abaixo.



Figura 17– A esquerda da imagem temos a professora (Sabrita) da escola atuando na área de Matemática e Ciências da Natureza e mestranda, e, a direita o professor (Darlan) que atua na área de Ciências Humanas, percorrendo trechos a pé para chegar à escola no período invernos. Fonte: Autoria própria.





Figura 18 - a esquerda da imagem temos o professor Darlan e a professora/mestranda Sabrita saindo da estrada de barro em que fica localizada a escola em direção a BR. Fonte: Autoria própria.



Figura 19 - Um dos carros (Marruá) que faz o trajeto pela comunidade, levando os alunos até a escola, atolado em um trecho. Fonte: Autoria própria.

### 4.3 AULA MINISTRADA: APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

#### APÊNDICE

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Duração (minutos)</b>
1	A priori, em nível introdutório, será desenvolvido a aula 1, levando-se em consideração os aspectos mais gerais do pinçamento óptico. O docente fará uso de recursos audiovisuais e projeção multimídia (imagens e vídeos) para explicar o conteúdo sobre o fenômeno a ser estudado, instigando os alunos no decorrer da aula. Em seguida, será aplicado um pré-teste para a turma. Após o recolhimento dele, em roda de conversa com os educandos, o professor poderá citar algumas respostas (sem mencionar nomes), a fim de gerar debates acerca do fenômeno em questão.	80
2	Utilizando como ferramenta projeções multimídias, imagens e vídeos, que retratam o tema a ser trabalhado nesta etapa, o professor fará a abordagem sobre o conteúdo: comportamento da luz e sua partícula.	50
3	Será exposto aos alunos a plataforma PhET, a simulação que utilizaremos para o estudo de Pinças Ópticas e a luz LASER. Também será feito um experimento, manuseando uma lâmpada, um “laser de caneta” e uma bolinha de PingPong.	80
	A aula será expositiva sobre os conceitos de Reflexão e Refração da luz. Será exposto sobre o tema de reflexão, uma poesia e uma situação cotidiana, para instigar as opiniões dos discentes, acerca desse tema.	

4	No que se refere ao tema de Refração, será feito um experimento, composto por copo descartável, água e uma moeda pequena, a fim de estimular os alunos sobre os conceitos que serão abordados.	80
5	Será feita uma explanação geral das aulas anteriores, bem como os conceitos que foram abordados e que estão no pinçamento óptico. Após, a turma será dividida em dois grupos para manusear a simulação pinças ópticas, estudar e identificar o fenômeno e os temas que estudamos no decorrer dos encontros. Finalizando a observação do pinçamento óptico, os educandos irão responder o mesmo questionário que foi entregue na Etapa 1, de maneira individual.	80

**Atividades a serem desenvolvidas em sala de aula na Etapa 1 e Etapa 5:  
Pré-teste/pós-teste**

1. Vocês já ouviram falar do prêmio Nobel de Física?
2. Se a resposta anterior foi sim, o assunto abordado pelo Nobel de Física os alunos do ensino médio podem compreender? Justifique sua resposta se sim ou não.
3. Os cientistas podem elaborar uma teoria qualquer, ou necessitam que suas ideias sejam confirmadas por experiências?
4. Você já deve ter observado fotos de cometas com suas longas caudas que riscam o céu. Um fato bastante interessante é que a cauda de um cometa sempre aponta para o lado oposto ao Sol. Com relação a essa característica, em sua opinião, existe relação com a luz que é emitida pelo Sol que incide sobre o cometa?
5. A luz pode aprisionar objetos iguais que passam nos desenhos, por exemplo, as naves alienígenas abduzindo os seres humanos? Justifique sua resposta.

6. Existem duas maneiras da luz se comportar, diga quais são elas, e qual partícula a luz transporta.
7. Podemos dizer que a luz de uma lâmpada difere da luz LASER? Se sim, cite as características que fazem ocorrer essa diferença.
8. O que são pinças ópticas?
9. Para que ocorra o fenômeno do pinçamento óptico são necessários alguns instrumentos, quais são eles?
10. A luz possui “dupla personalidade”, dependendo da situação, ela irá se comportar de maneiras distintas. No caso do pinçamento óptico, como a luz se comporta?
11. O estudo de pinçamento óptico se dá por meio de experimentos, cujos aparatos são montados em laboratórios. Quando não se pode ocorrer essa montagem, recorreremos ao uso de simulações, como uma ferramenta para análise do fenômeno. Em sua opinião, como as simulações podem ser importantes no estudo desse fenômeno e na física em geral?
12. O LASER foi descoberto em meados da década de 60, uma invenção tecnológica que ganhou “força” e atualmente é utilizado em inúmeras aplicações. Em seu cotidiano, você conseguiria atribuir alguma aplicação para a luz laser?
13. Reflexão e refração são fenômenos físicos que podemos observar em nosso cotidiano, por exemplo: a imagem distorcida de um objeto dentro de uma piscina sendo observado por outro objeto que está fora, a formação da imagem de um pessoal ao passar por uma vitrine de uma loja etc. Estes dois fenômenos em certas condições poderão ser aplicados para fabricação de alguma tecnologia?
14. O LASER está bem presente em nosso cotidiano, desde filmes que assistimos em armas que possuem mira a laser, até placas de divulgação de centro de estética divulgando depilação a laser. A potência do laser é a mesma nestes dois casos? Justifique sua resposta.
15. Podemos utilizar qualquer potência para aprisionar micro objetos ou apenas alguns valores de potências?



#### **4.4 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL**

O produto educacional foi aplicado na primeira quinzena do mês de julho de 2022, em uma escola pública estadual, localizada no município de Bujari – Acre. A escola apresenta uma infraestrutura razoável quando comparadas com outras escolas rurais do município, sendo a mesma considerada a “escola modelo” para o campo. Além de refeitório e quatro banheiros (sendo um adaptado), possui três blocos, o primeiro com quatro salas na alvenaria (sendo uma a biblioteca, as demais são salas de aulas), todas dispõe de quadro branco e ventiladores; o segundo é de madeira, possuindo três salas de aula (também com quadro branco e ventiladores) e duas pequenas salas consideradas o almoxarifado; o terceiro bloco dispõe de duas salas – diretoria e sala dos professores.

A presente mestranda atua na escola como professora de Matemática e Ciências da Natureza nas turmas 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> série do Ensino Médio e no 6<sup>o</sup> ano do Ensino Fundamental II na modalidade uni docente (leciona todas as disciplinas por área de conhecimento).

O produto foi aplicado na única turma que a escola possui como 2<sup>a</sup> série do Ensino Médio, com uma média de 10 alunos que frequentavam regularmente as aulas. No geral, os estudantes foram participativos e compreensivos durante as aulas de aplicação do produto, contribuindo para a autenticidade das informações coletadas.

Foi explicado para a turma o porquê acerca das atividades que seriam desenvolvidas, bem como também as etapas a serem feitas para ingressar em um mestrado e o que seria um produto educacional. Era do saber da docente que, boa parte dos alunos não tinham conhecimentos básicos para manuseio do Notebook, foi orientado os princípios básicos que seriam necessários para a etapa 5 do produto educacional. Todos os alunos presentes no início do produto se propuseram a participar do mesmo.



Figura 20 – Primeiro encontro (aplicação do produto educacional). Fonte: Autoria própria.



Figura 21 - Aplicação do questionário Etapa 1. Fonte: Autoria própria.

O primeiro encontro foi no dia primeiro de julho de 2022 (01/07/2022), com 12 (doze) estudantes presentes. Ao perceberem que usaríamos recursos multimídia os alunos ficaram animados na expectativa de aulas diferentes, no qual se distanciariam do ensino tradicional existente na escola e fazer uso desses recursos não é uma prática muito adotada em escolas do campo.

Ao expor as imagens (memes) para discutir a influência da luz e seus fenômenos, a fim de obter levantamentos de opiniões dos alunos, a turma no geral, opinou de imediato. Uma vez que, para os alunos a ideia de “a luz levantar um corpo” era absurda e não existia essa possibilidade, as imagens arrancaram risos e piadas da

turma, foi um momento de distração para eles. De modo análogo, ocorreu quando assistiram o episódio do clássico desenho da turma da Mônica – Abduzidos (nessa fase ocorreu um problema com a saída de áudio do Datashow, então os alunos assistiram um pouco mais próximos do notebook, em duplas).

Foi notória a dedicação dos alunos em participar da aula acerca do tema, sentindo-se o sujeito ativo, quando informado que fariam uma pesquisa em seu smartphone (navegadores) sobre memes de “pessoas abduzidas”, tendo em vista que a ideia central desse momento era que a turma participasse de maneira ativa no processo de ensino aprendizagem.

Quando instigados sobre o “bicho” que anda com o rabo para frente, os alunos não conseguiram identificar que era referência aos cometas, no entanto, participaram citando nomes de animais como o “rola-bosta”, caranguejo entre outros. Após a explicação do fenômeno em questão, a turma aparentou ficar surpresa, com os novos conceitos introduzidos. Nesse momento, os alunos já obtiveram uma pequena abordagem sobre as forças que a luz exerce em pequenas partículas e seu duplo comportamento.

No decorrer da exposição de imagens e vídeos, os alunos eram indagados sobre os fenômenos descritos. Após, foi mencionado o prêmio Nobel de Física. Não foi possível aplicar o questionário no mesmo dia, então no dia cinco de julho em um contraturno (podemos observar a distinção das salas nas imagens), foi feita a entrega do questionário da Etapa 1, doze (12) alunos entregaram. Ressalto que o contraturno foi possível, pois é uma logística utilizada no decorrer do ano letivo das escolas rurais.

No decorrer da aula o docente percebeu a existência de alguns subsunçores e ao analisar os questionários observou que outros foram introduzidos na aula, por exemplo, a dualidade da luz, podendo introduzir a segunda aula sem problemas.

A segunda aula foi iniciada com uma breve revisão da primeira aula, ainda com doze (12) alunos presentes. Ao serem instigados sobre o que seria a luz, responderam de imediato exemplos como, a luz de uma lâmpada, a luz solar etc. Foram expostas as imagens referentes a essa etapa sobre a natureza da luz. Houve pouca participação, os alunos pareciam não assimilar as imagens com o fenômeno descrito.



Figura 22 - 2º Encontro (representação da natureza da luz por meio de imagens). Fonte: Autoria própria.

Em seguida, o conceito de luz foi trabalhado por meio de um vídeo, e aqui se percebeu a dificuldade para entender o processo histórico e suas características. Embora a turma atenta no decorrer do vídeo, os alunos reclamaram que não estavam entendendo o conteúdo exposto. O vídeo foi repassado por mais duas vezes, e aqui, boa parte da turma já tinha assimilado um pouco o tema. A maior dificuldade encontrada, foi para entender o processo histórico da luz.



Figura 23 - 2º Encontro (vídeo explicativo sobre o processo histórico da luz e suas características). Fonte: Autoria própria.

Foram apresentadas duas novas imagens, introduzindo o conceito de fótons e suas características, assim como um vídeo. Sobre a partícula em si, não teve

dificuldades para o entendimento e foi assimilado que ao se tratar do fenômeno pinças ópticas, a luz se comporta como partícula. Com relação ao efeito fotoelétrico que é citado no vídeo e foi abordado para que a turma tivesse ideia do quão importante foi a descoberta para o estudo da luz, os estudantes também não conseguiram assimilar diretamente o tema. Sendo necessária uma explanação no quadro sobre o respectivo fenômeno.

Tendo em vista que uma das maiores dificuldades foi sobre o processo histórico da luz, uma parte mais interpretativa e conceitual, a professora foi orientada a aplicar um questionário externo que continha quatro (4) questões referentes ao estudo não presencial durante a pandemia COVID-19 que tivemos nos dois anos anteriores. Uma vez que, essa dificuldade em interpretar e assimilar conteúdos um pouco mais abstratos, já tinha ocorrido em disciplinas anteriores em que a mesma lecionou para a turma.

Tal questionário tinha por objetivo justificar um pouco do déficit existente na turma. A docente repassou aos alunos que seria aplicado um questionário externo (4 questões), provavelmente a aplicação seria juntamente com o questionário da Etapa 5 do produto, pois tinha identificado um agente externo no decorrer do ensino aprendizagem deles. Nenhum aluno foi obrigado a responder esse questionário.

No que se refere aos vídeos e imagens expostas, a turma continuou reagindo bem a metodologia, animados, pois não estavam escrevendo tanto e ainda assim conseguiam assimilar aos poucos os conteúdos abordados. Mesmo com as dificuldades apresentadas nessa segunda aula, alguns objetivos foram alcançados, bem como entender a natureza da luz e as principais características dos fótons.

O terceiro encontro ocorreu com apenas 10 alunos na turma. É “normal” em escolas do campo, alunos saírem no decorrer das disciplinas para trabalharem em fazendas próximas a sua comunidade, mesmo assim, foi dado a continuidade na aplicação do produto.

A docente revisou alguns conceitos básicos trabalhados na aula anterior de maneira sucinta. Em seguida, dialogou com a turma algumas tecnologias na área da física e possíveis aplicações, e se eles conseguiriam citar exemplos, esperava-se que eles falassem sobre o laser, a tecnologia utilizada no pinçamento óptico e citado no questionário da Etapa 1. E assim foi feito, e antes mesmo de abordar o funcionamento do laser citaram a divergência de potência para cada aplicação.

A docente parabenizou os alunos e demonstrou bastante contentamento, pois isso remetia que apesar das dificuldades que iam aparecendo no decorrer das aulas e temas, estava ocorrendo uma aprendizagem.

Ao observarem o vídeo “Pinça de luz: a luz movimentando matéria”, foi possível observar certo espanto da turma, pareciam não acreditar que realmente estavam assistindo que a luz poderia manipular um objeto. A ideia pareceu um pouco confusa a eles, pediram para assistir novamente o vídeo, e assim foi feito.

Nesse momento quando citado sobre o fenômeno que a luz solar exerce sobre as caudas dos cometas eles comentaram que já viram sobre isso (1ª aula). Foi feita uma explanação no quadro sobre o pinçamento óptico para um melhor entendimento, uma vez que, nos encontros anteriores apenas foram introduzidos ou resgatados subsunçores e não realmente abordado o fenômeno.

A turma entendeu razoavelmente bem para um primeiro contato com o tema. Após, foi assistido dois vídeos sobre o funcionamento e as características do laser. O primeiro vídeo foi passado três vezes e o segundo vídeo somente uma vez, pois, os alunos tiveram dificuldades na leitura da legenda, já que o áudio era em inglês. Sobre o funcionamento por meio da emissão estimulada, os estudantes tinham estudado algo parecido na disciplina de Química sobre Modelos Atômicos.



Figura 24 - 3º Encontro (momento em que foi abordado inversão de população, processo em que ocorre a luz LASER). Fonte: Autoria própria.



A docente teve que abordar melhor o conceito de inversão de população e a diferença da luz laser para a luz de uma lâmpada. Eram esperadas dificuldades nesta aula, já que tínhamos um conteúdo mais abstrato e conceitual. Logo em seguida, foi apresentada a plataforma PhET e a simulação sobre Pinças Ópticas.



Figura 25 - 3º momento (apresentação da plataforma PhET com ênfase na simulação sobre Pinças Ópticas). Fonte: Autoria própria.

Os alunos ficaram entusiasmados para manusear a simulação, mas foi explicado que nessa aula ainda não fariam isso, apenas entenderiam o fenômeno ali estudado, na tentativa de identificar tudo que já tinha sido abordado até o momento.

Não foi possível fazer o pequeno experimento descrito nessa etapa do produto, pois, a professora foi furtada na escola e o laser a caneta foi levado juntamente com seu estojo escolar. E pelo tempo que deveria ser aplicado o produto com o tempo para terminar a disciplina de Física, estava esgotando, e como citado anteriormente a escola é de difícil acesso.

No entanto, a professora fez uso do “imaginemos” e repassou a situação para os alunos e ao ser instigados se o experimento funcionaria ou não, a resposta foi não, de maneira quase unânime, justificando que a bolinha não poderia “flutuar” pois, eles viram no vídeo que deveria ser pequena e o laser tinha que possuir uma potência maior.

A docente parabenizou a turma mais uma vez, e ressaltou que é por essas razões que se fazem experimentos, para comprovar teorias físicas, e como eles tinham percebido a dificuldade de montar um aparato, estávamos trabalhando a simulação que nos aproximava do fenômeno. A ideia de se fazer experimentos para comprovar teorias,

eles já tinham em seu cognitivo e foi percebido através das respostas na Etapa 1 do produto.

Até o presente momento a turma, se fazia animada e prestativa nas aulas, mesmo sabendo que não teria premiações ou punições caso não quisessem participar do produto.

Todos os encontros iniciavam-se a partir de uma retomada da aula anterior, e o quarto (4) não foi diferente.

A professora mostrou-lhes a Poesia: Ismália, dando enfoque nos primeiros versos, inicialmente ocorreu certo repúdio, pois acharam que teriam que escrever algo ou até mesmo ler. Foi explicada sucintamente a importância da leitura, e pedido um voluntário. Um dos alunos que é bastante participativo da turma decidiu ler.



Figura 26 - 4º Encontro abordando o tema Reflexão da luz (Poesia: Ismália). Fonte: Autoria própria.

A turma ficou pensativa com relação ao tema implícito abordado na poesia. Em seguida foi dado ênfase aos versos que retrata um fenômeno físico. Foi indagado aos alunos se eles conseguiriam nomear o fenômeno, a resposta foi que não, só sabiam que “a lua do mar” era um reflexo da lua do céu.

Em seguida, foi abordado sobre os sacos plásticos, dependurados em casas, para espantar moscas, aqui participaram muitos, falando que isso era feito em suas casas e que chegava a funcionar. Ao indagar a turma se realmente funcionava ou era “coisa da cabeça deles”, pairou um silêncio. E para não aparentar que a professora não estava acreditando em seus alunos, pois eles pareceram estar “errados” em falar que tal ação funciona, ela indagou por que as moscas realmente são espantadas e se existia relação



com os versos da poesia. Alguns alunos responderam que achava que sim, mas não sabiam explicar qual relação.

A partir daí a professora foi “criando” o conceito juntamente com a turma e após repassado as suas características, ou seja, como se dá o fenômeno.

Dividindo a turma em dois grupos, foi feito o experimento “Onde está o dinheiro?”, que consistia em colocar uma moeda pequena em um copo plástico não transparente. Um segundo experimento foi adicionado, que consistia em pegar um copo de vidro com água e adicionar uma caneta. Os experimentos foram montados e foi pedido que os alunos se aproximassem para observar.



Figura 27 - 4º Encontro iniciando a abordagem sobre Refração da luz (um grupo observando os experimentos). Fonte: Autoria própria.

A docente fez a exposição dos conteúdos referentes à refração da luz também por meio de projeção multimídia. Finalizando os temas, indagou aos alunos se conseguiriam identificar os fenômenos estudados na simulação referente Pinças Ópticas. Alguns alunos disseram que sim e outros que talvez não conseguiriam. Aqui, a professora abordou que esses dois temas eram retratados com nomes diferentes – pressão de radiação e força de gradiente.

Em todas as aulas, até o presente momento, a dificuldade estava em assimilar conteúdos que eram interpretativos e mais abstratos. Existia pouca participação, quando a aula era mais dialogada, explicativa, do que quando se trabalhava com vídeos e imagens.

O quinto e último encontro, foi a finalização do produto educacional, onde a professora pode observar se realmente a turma compreendeu o fenômeno pinçamento óptico.

Estavam presentes os doze (12) alunos que participaram do início da aplicação do produto e em alguns encontros, no entanto, apenas dez (10) responderam aos questionários e desses, nove (9) alunos entregaram o questionário referente a Etapa 5 e o questionário externo. Somente onze (11) participaram do manuseio da simulação.

Os estudantes manusearam a simulação em grupos de quatro pessoas, tiveram dificuldades em mediar o notebook, e conforme iam manuseando comentavam sobre os fenômenos que estudaram e identificavam na simulação. Ficaram alegres, era um contato novo que estavam tendo, uma vez que não fazem uso de computadores e muito menos de simulações. Observaram principalmente, que conforme iam diminuindo a potência do laser, a microesfera saía do eixo principal e que as setas (representando as forças) diminuía. Tiveram dificuldades em identificar o fenômeno de refração.



Figura 28 - 5º e último encontro (alunos manuseando a simulação). Fonte: Autoria própria.



Figura 29 - 5º Encontro (alunos respondendo ao questionário Etapa 5 e questionário externo). Fonte: Autoria própria.

O quinto encontro foi feito no dia oito de julho de 2022 (08/07/2022) encerrando a aplicação do produto educacional.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro encontro tinha por finalidade verificar a presença ou ausência de subsunçores na turma relacionado às forças que a luz exerce em um objeto. Com base nas imagens e vídeos apresentados, juntamente com a interação dos alunos, referente às características básicas da luz, por exemplo, refletir sobre um objeto, foi possível perceber que 58% (sete alunos) da turma possuíam subsunçores necessários para os demais encontros, enquanto outros 42% não foi identificado subsunçores. Salienta-se que eles sabiam da presença do fenômeno, identificando no cotidiano, mas não o abordar precisamente, bem como o conceito físico.

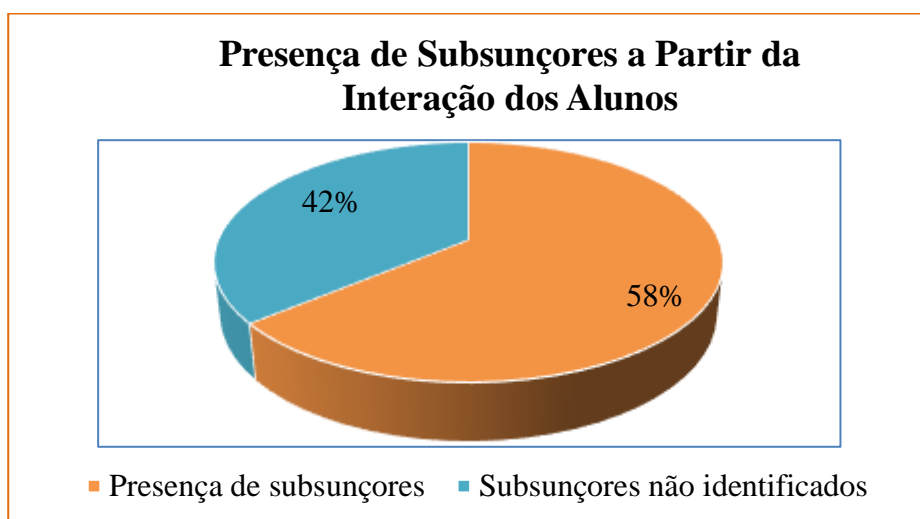


Gráfico 1 - Presença de subsunçores a partir da interação dos alunos. Fonte: Autoria própria.

Utilizando como suporte a explicação da cauda dos cometas para demonstrar nesse primeiro momento as forças que a luz exerce em um corpo, percebeu-se que 100% da turma não tinha conhecimento dessa característica, tampouco do comportamento da luz e que sua partícula é denominada fóton. Conseqüentemente foi introduzido então neste primeiro encontro, dois subsunçores: as forças que a luz exerce (pressão de radiação – reflexão e força de gradiente – refração) e seu comportamento onda-partícula. Ainda sobre a fixação de novos subsunçores, foi instruída a turma sobre o Prêmio Nobel de Física.

No que concerne o questionário, após a desenvoltura do encontro, percebeu-se que, cerca de 75% da turma admitiu a presença de novos subsunçores. Essa mesma parcela tinha a noção que poderia compreender assuntos abordados pelo Nobel de Física e que tais ideias necessitavam de uma comprovação por experiência para que fossem de fato validadas.

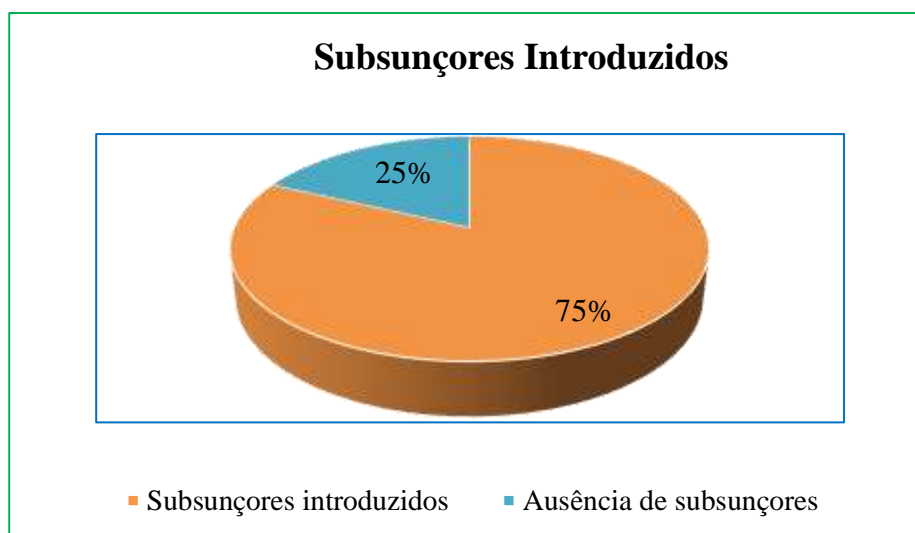


Gráfico 2 - Análise gráfica de subsunçores introduzidos, identificados após a desenvoltura do decorrer da primeira aula. Fonte: Autoria própria.

Constatou-se que, aproximadamente, 58% dos estudantes tinham subsunçores relevantes sobre a luz Laser, antes mesmo da citação do tema em sala, tal como o reconhecimento de suas aplicações em nosso cotidiano e que existiria diferença de potência entre elas. As questões presentes no questionário (8, 9 e 10) que diz respeito ao fenômeno Pinças Ópticas, notou-se que os alunos não tinham conhecimento e não conseguiram opinar, para eles a concepção da luz aprisionar um determinado objeto era improvável, o que era esperado. No entanto, quando indagados sobre a possibilidade de reproduzir tal fenômeno que tipo de luz seria utilizada, responderam que não poderia ser a de uma lâmpada, pois se assim fosse, os objetos do dia a dia, inclusive os presentes em sala, sairiam “levitando”.

Esse tipo de resposta foi curioso, o que nos leva a perceber que mesmo sendo o primeiro contato com o tema Pinças Ópticas e julgando que não poderia ocorrer tal fenômeno a turma reconheceu, inconscientemente, que não poderia ser qualquer luz e nem qualquer objeto que poderia ser aprisionado. No gráfico abaixo, observamos o quantitativo geral, de subsunçores identificados no questionário.

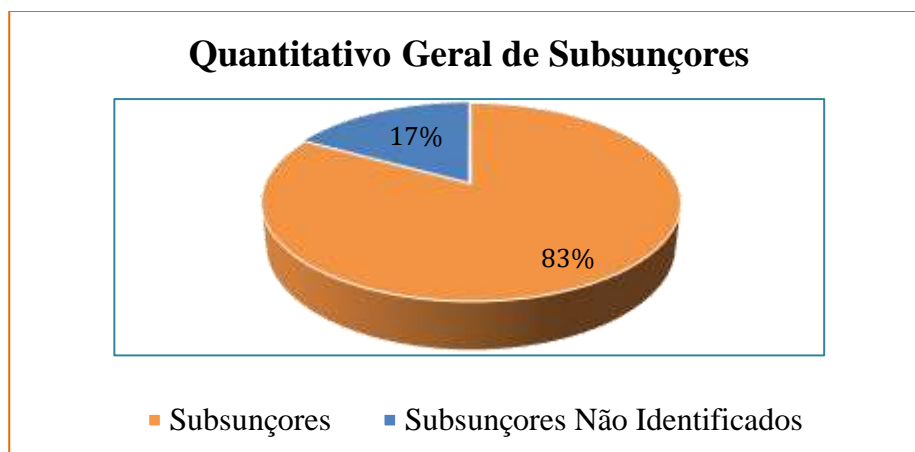


Gráfico 3 - Quantitativo geral de subsunçores identificados no questionário. Fonte: Autoria própria.

O segundo encontro tinha como objetivo especificar a natureza da luz e a sua partícula, o fóton. A partir dos dados obtidos do 1º encontro, percebeu-se que a turma tinha organizadores prévios suficientes para darmos continuidade à aplicação do produto, não sendo necessárias estratégias complementares, uma vez que os estudantes corresponderam as definições que foram incorporadas na primeira aula.

Instintivamente, os estudantes opinaram acerca da luz (66%), exemplificando-a em sua rotina. Em torno de 42% da turma conseguiu relacionar uma das imagens apresentadas com conceitos introduzidos no primeiro encontro, bem como o fenômeno ora onda, ora partícula, porém não sabiam dizer em quais momentos isso ocorreria.

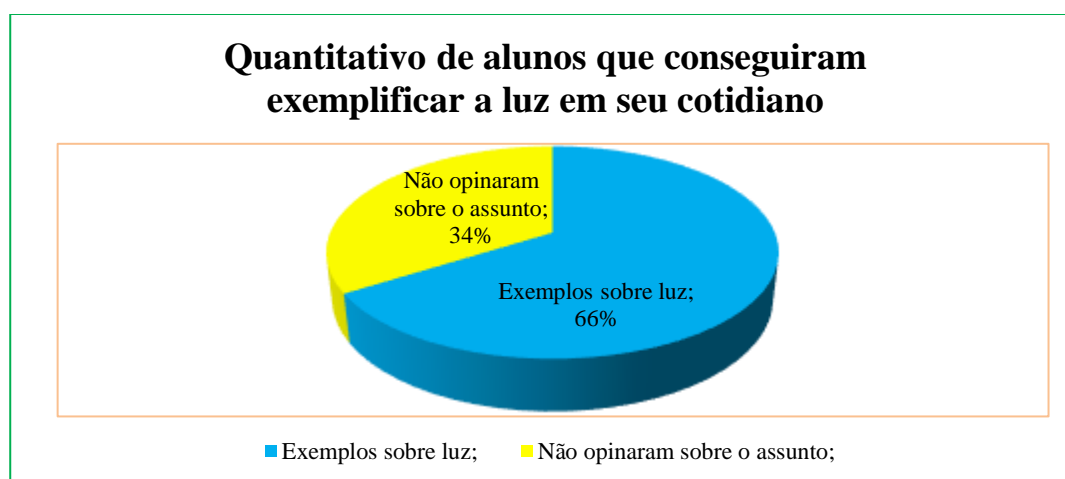


Gráfico 4 – Representação do quantitativo de alunos que opinaram acerca da luz, antes de abordar sobre o fenômeno óptico mais precisamente. Fonte: Autoria própria.

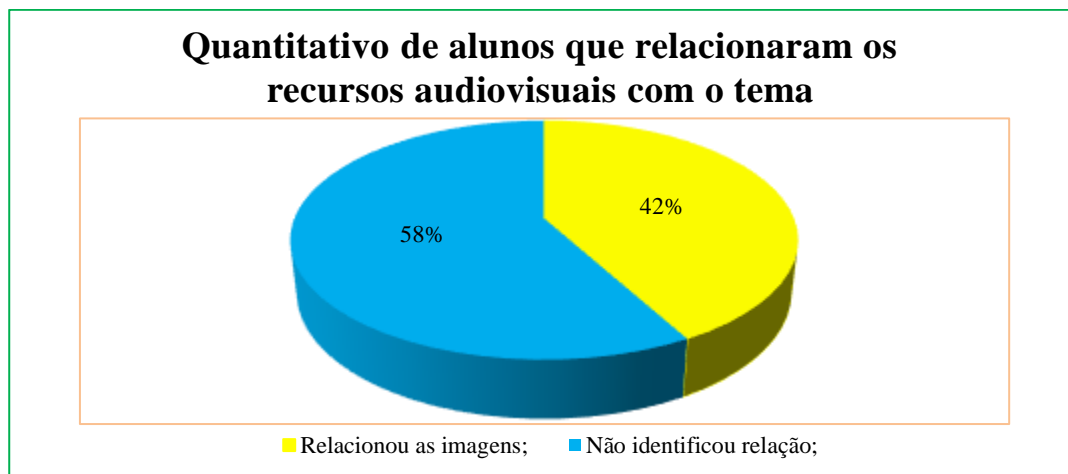


Gráfico 5 – Representação do quantitativo de alunos que relacionaram os recursos áudio visuais com os subsunçores introduzidos no primeiro encontro. Fonte: Autoria própria.

Foram apontadas dificuldades pela turma, para compreender conceitos que necessitavam de abstração, quando estudado o processo histórico da luz, através do vídeo “o que é luz: onda ou partícula” notou-se que as ideias ficaram embaraçadas em um quantitativo de 100%, de preferência no que diz respeito à onda e partícula, o que dificultou o raciocínio dos conteúdos, por exemplo.

O vídeo foi visualizado algumas vezes e com o auxílio da docente, que mediou o conteúdo explanando no quadro (partes que consideraram relevantes e de fácil entendimento), verificou-se que 50% da turma conseguiu assimilar o tema proposto no recurso audiovisual com as imagens anteriores.

No que diz respeito às figuras relacionadas aos fótons, um dado interessante e que merece ser mencionado é que boa parte dos estudantes conseguiram entender a piada referente à ausência de massa na partícula da luz, antes mesmo de assistirem ao vídeo e estudar com mais atenção suas características. De maneira geral, quanto à representações audiovisuais referentes a esse tema, por volta de 58% dos alunos apropriaram-se das novas informações.

Decerto, também foram encontradas dificuldades para entender o efeito fotoelétrico, por se tratar de um assunto um pouco subjetivo; contudo, como é originado um fóton foi esclarecido, dado que, paralelo as aulas do produto, na disciplina de Química a turma estava estudando “Modelos Atômicos”, o que contribuiu para a aprendizagem deste segundo encontro e os temas abordados.

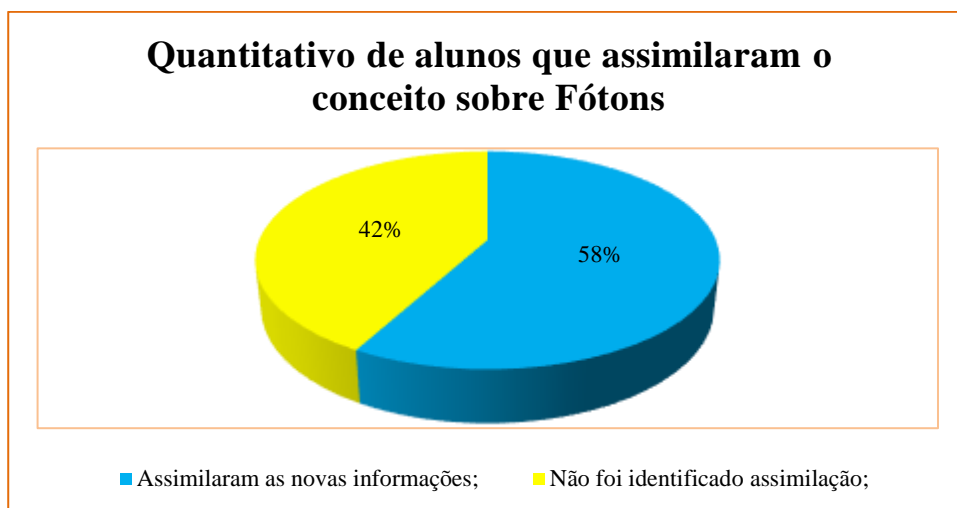


Gráfico 6 – Representação do quantitativo de alunos que assimilaram o conceito de fótons a partir do uso dos recursos audiovisuais em sala. Fonte: Autoria própria.

Vale enfatizar que as dificuldades apresentadas até o momento e as subsequentes eram aguardadas pela docente, visto que era o primeiro contato da turma com a temática apresentada por este produto educacional, também foi encontrado barreiras em outras disciplinas que discorrem tópicos mais abstratos, que iam do conceitual ao interpretativo, o que levou ao seguinte diagnóstico: saímos da pandemia com um grande déficit de aprendizagem.

Desse modo, a docente optou por elaborar e aplicar um questionário, para averiguar a presença desse agente externo, sendo executado no último encontro, a fim de esclarecer as dificuldades manifestadas.

O terceiro encontro se deu em duas aulas, a primeira discorreu sobre a importância da tecnologia na área de Física e aplicações e como surgiu a ideia do pinçamento óptico. Boa parte dos alunos (60%) reconheceu que a Física, por ser uma ciência, teria sua importância tanto no avanço tecnológico quanto em suas aplicações em nosso cotidiano.



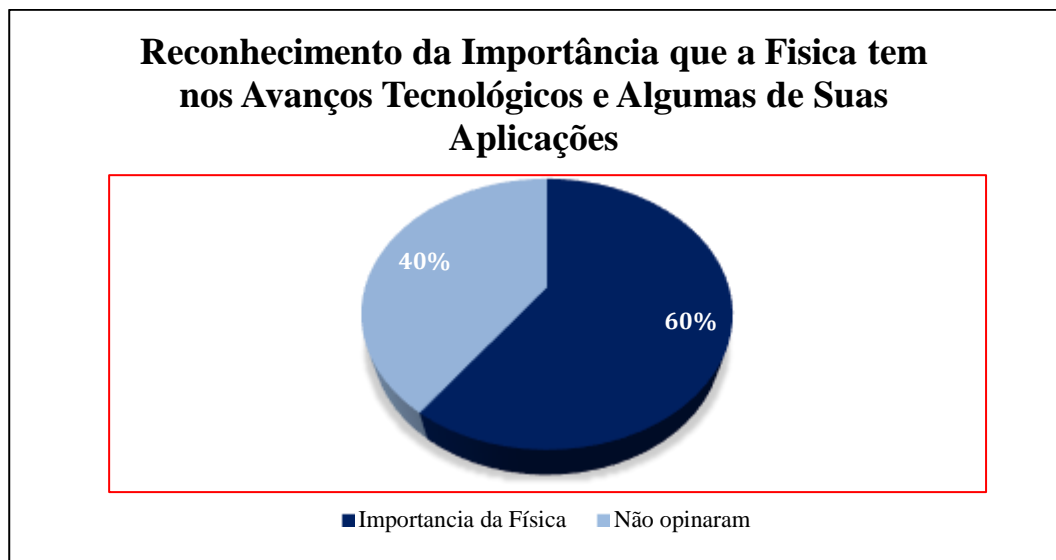


Gráfico 7 – Representação do quantitativo dos alunos que reconheceram a importância da Física nos avanços tecnológicos atuais e algumas aplicações em seu cotidiano. Fonte: Autoria própria.

Sobre essas possíveis aplicações, os alunos destacaram a lâmpada e o LASER, ambos os presentes em seu dia a dia. Aqui, poderíamos inferir que o LASER foi citado aleatoriamente, todavia, na resolução do questionário da Etapa 1, têm-se indícios que eles tinham noção do assunto. Essa informação foi relevante, pois pressupõe que a turma discerne bem sobre um dos principais conceitos da nossa sequência.

Ainda nesse momento foi debatido sobre o pinçamento óptico, através do vídeo e abordagem do tema no quadro, observou-se que os subsunçores (partícula da luz, forças que a luz exerce) tinham sido fixados no cognitivo dos alunos e que novos foram inseridos nessa aula da temática em questão (a luz se comporta como partícula no pinçamento óptico).

Aproximadamente 70% dos estudantes compreenderam sobre o fenômeno, mesmo sendo o primeiro contato com o tema. Os outros 30%, não conseguiam comentar ainda sobre o conceito e não demonstrava presença ou assimilação dos conteúdos.

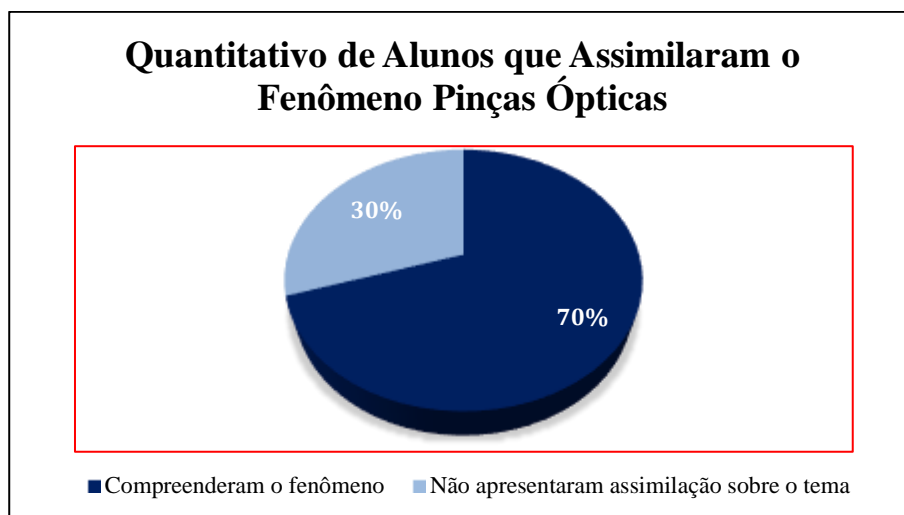


Gráfico 8 – Representação do quantitativo dos alunos presentes no 3º encontro e que apresentaram assimilação do fenômeno Pinças Ópticas, após a abordagem sobre o tema. Fonte: Autoria própria.

A segunda aula desse encontro, foi desenvolvida a característica da luz LASER e em seguida apresentada o simulador PhET. Sobre o LASER, vimos que os alunos já tinham conhecimento dessa tecnologia, porém não era sabido sobre o seu funcionamento e propriedades básicas. Teve-se uma parcela de 60% da turma que alcançou os objetivos desta parte da aula.

Posteriormente, apresentada a plataforma PhET, com ênfase na simulação Pinças Ópticas, pode-se verificar o reconhecimento em algumas características para que o fenômeno ocorra, tal como, a forças aumentam ou diminuem conforme a mudança na potência do LASER, com isso, a microesfera pode ficar ou sair do foco da objetiva.

Aqui, já se notou que o simulador PhET é uma ferramenta valiosa para a transposição didática, pois ele possibilitou a representação visual dos fenômenos ópticos da pinça, tornando-os mais tangíveis e compreensíveis.

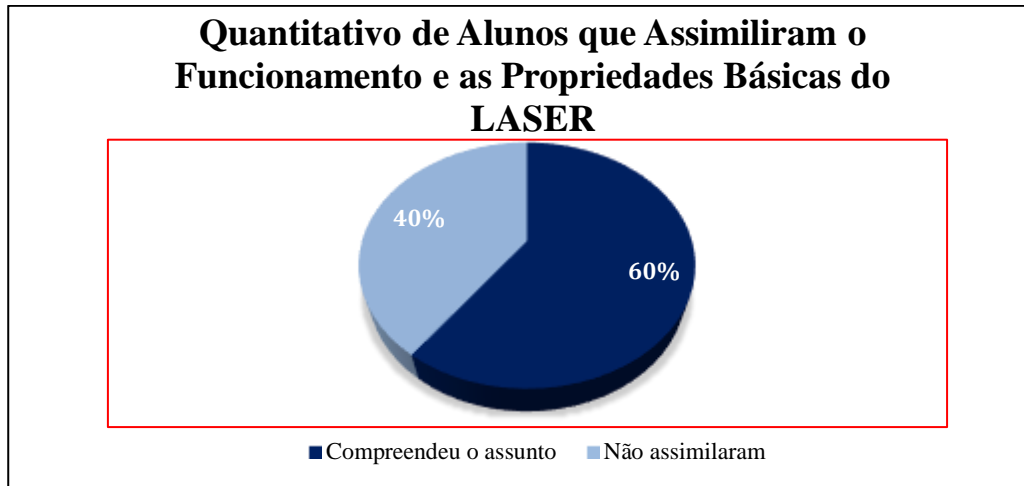


Gráfico 9 – Representação do quantitativo geral de alunos que estavam presentes no 3º encontro e que demonstraram assimilação sobre o tema LASER. Fonte: Autoria própria.

A partir do manuseio da simulação (feito pela docente), foi evidenciado que os alunos estavam distinguindo os temas incorporados em cada encontro e apesar de termos subunçores introduzidos nas duas primeiras aulas, estes ainda se faziam presentes no cognitivo deles. Em suma, 80% dos discentes interpretaram e assimilaram o conceito de Pinça Óptica, após a demonstração por meio da simulação.

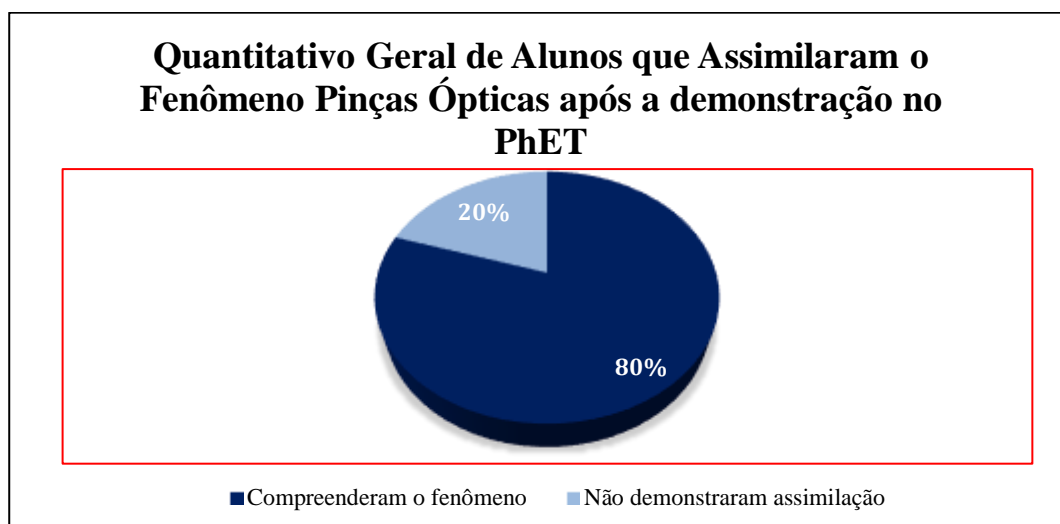


Gráfico 10 – Representação do quantitativo geral dos alunos presentes no 3º encontro que interpretaram e assimilaram o conceito de Pinças Ópticas, após a demonstração por meio da simulação na plataforma PhET. Fonte: Autoria própria.

Na primeira aula do quarto encontro, começamos com a exposição da Poesia: Ismália, com ênfase nos primeiros versos, 91% da turma sabia que existia um reflexo

na água, mas não o apontavam como um fenômeno óptico, logo, não conheciam suas propriedades básicas.

O segundo recurso foi fazer uso da exemplificação dos sacos plásticos com água para espantar moscas, todos ali presentes conheciam esse experimento e sua comprovação que realmente funcionava. No entanto, ao serem indagados sobre a relação com o verso da Poesia trabalhado anteriormente e o porquê que essa prática tinha uma eficácia, apenas 54% dos estudantes opinaram sobre o assunto, respondendo que “as moscas enxergavam seus reflexos nos sacos e com isso ocorria a evasão desses insetos”.

A respeito da explicação de reflexão da luz, embora sendo um assunto complexo, a partir das problemáticas apresentadas, 63% dos alunos, absorveram os conteúdos, o que antes não tinha ocorrido.

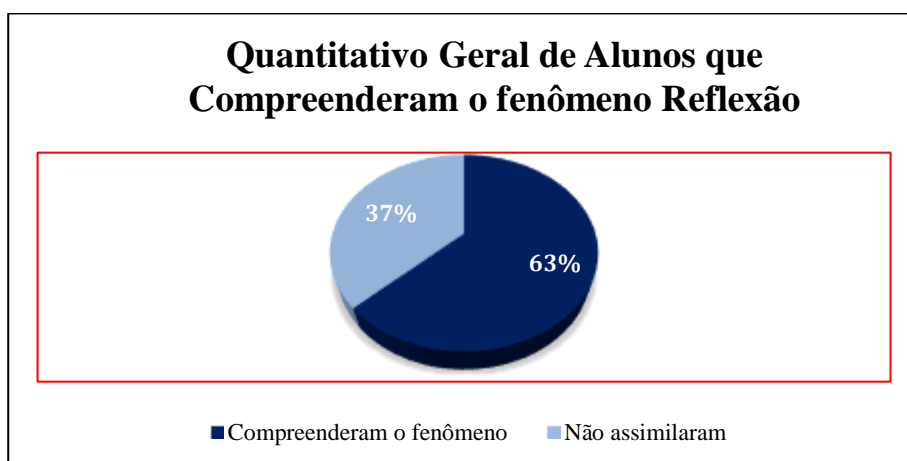


Gráfico 11 – Representação do quantitativo de alunos presentes no 4º encontro que através dos descritivos, apresentaram assimilação do fenômeno óptico reflexão. Fonte: Autoria própria.

Em contrapartida, a segunda aula foi bastante difícil. Toda a turma não ouvira sequer a palavra refração antes da aplicação desse produto e com isso não deliberaram sobre o tema. Embora o retratando através das práticas experimentais, apenas um aluno comentou que “a caneta parecia estar quebrada por conta da água presente no copo”, o que fez outros concordarem com o comentário.

A opinião desse aluno foi considerada para iniciarmos a abordagem do tema, pois grosso modo refração é a passagem de um raio de luz de um meio para outro. Ao final da aula, verificou-se que 45% da turma assimilou refração.

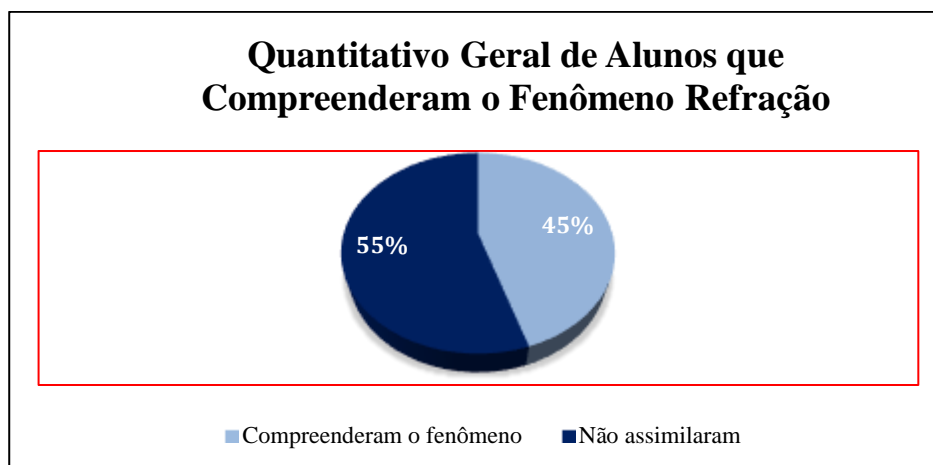


Gráfico 12 - Representação do quantitativo de alunos presentes no 4º encontro que através dos descritivos apresentaram assimilação sobre o fenômeno óptico refração. Fonte: Autoria própria.

O quinto e último encontro, foi formado por duas aulas (40 min cada), tendo como finalidade avaliar a compreensão que a turma obteve no decorrer de todos os encontros acerca do fenômeno pinçamento óptico. Na tabela 1, temos o quantitativo geral dos estudantes que participaram das atividades no último encontro.

TABELA 1 – QUANTITATIVOS DE ALUNOS QUE PARTICIPARAM DA ETAPA 5	
Quantidades de alunos presentes.	<b>12 alunos</b>
Quantidades de alunos que entregaram o questionário Etapa 5.	<b>09 alunos</b>
Quantidade de alunos que entregaram questionário Agente Externo.	<b>06 alunos</b>
Quantidades de alunos que participaram da simulação.	<b>11 alunos</b>
Quantidades de alunos que entregaram a síntese.	<b>06 alunos</b>

O quantitativo de alunos que quiseram participar das atividades no decorrer deste produto incluindo a fase final, não foi questionado pela docente, pois para que tivéssemos um resultado adequado embasado na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, se fez necessário partir do pressuposto que o aluno precisa ter disposição para aprender, sendo assim, o diagnóstico final foi deliberado apenas com os estudantes que se dispuseram a colaborar para o mesmo.

Vale ressaltar alguns pontos importantes para a nossa análise de dados: foi o primeiro contato da turma com este tema – Pinças Ópticas; assuntos que se referem sobre os fenômenos ópticos (comportamento da luz, reflexão da luz, refração da luz) e até mesmo as características da luz LASER, também era o primeiro contato dos estudantes. Ou seja, tudo era novidade para a turma.

Apesar das dificuldades encontradas no decorrer das aulas, foi possível perceber que o objetivo principal foi alcançado: a turma compreendesse o fenômeno, soubesse da sua existência e que podemos utilizar simulações para descrever este e demais fenômenos na área da Física.

A Figura 30 retrata o relato de um aluno após o manuseio da simulação, podemos observar que apesar do curto prazo em que ocorreu a aplicação do produto e por ser a primeira vez que tem contato com o tema, o estudante conseguiu assimilar moderadamente o conteúdo e a finalidade da simulação. Este mesmo aluno no questionário da Etapa 1, não soube responder as questões 8, 9 e 10 (referente ao tema central), após os encontros ao responder novamente o mesmo questionário, porém agora na última etapa, conseguiu responder as questões 8 e 10, como demonstra na Figura 31.

A professora mostrou pra gente a simulação Phet, dentro da tem pinças ópticas que é o que estudamos, e feita pelo computador.

começa com a bolinha batendo para todo o lado. Depois que o laser toca na bolinha ela não fica parada no centro, aparece algumas setinhas, que a professora explicou que são as forças. Eu entendi que uma dessas forças é a de refração que atraiu a bolinha, a outra é de reflexão quando a luz do laser bate na bolinha.

Fica uma ficando para um lado e a outra para outro, entendi que a reflexão da luz pode ser chamada também de pressão de radiação, por causa das suas partículas e que refração é força de gradiente, aqui ficou um pouco confuso, mas eu entendi que tem um nome diferente. Pra acabar entendi que curvam a pinça óptica, segura um objeto pequenininho por causa da luz do laser que tem partículas.

A professora explicou também outras coisas que não fiz na minha simulação.

Figura 30 - Descrição (síntese) de um aluno após o manuseio da simulação. Fonte: Autoria própria.

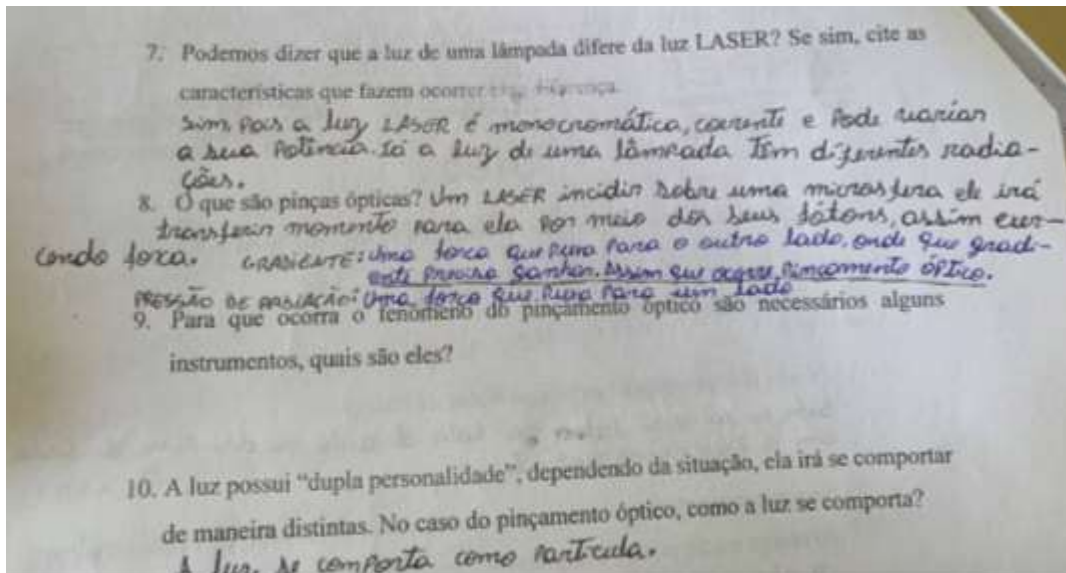


Figura 31 - Resolução de um aluno das questões na Etapa 5. Fonte: Autoria própria.

Notemos que o aluno conseguiu identificar que a partir da partícula fóton, presente na luz, haverá forças que atuam na microesfera, o que faz ocorrer o pinçamento óptico, novamente, outro indício da transposição didática do conhecimento científico para o contexto educacional.

Outro aluno também fez a descrição (figura 32) e respondeu às perguntas que antes tinha o tema desconhecido por ele (figura 33).

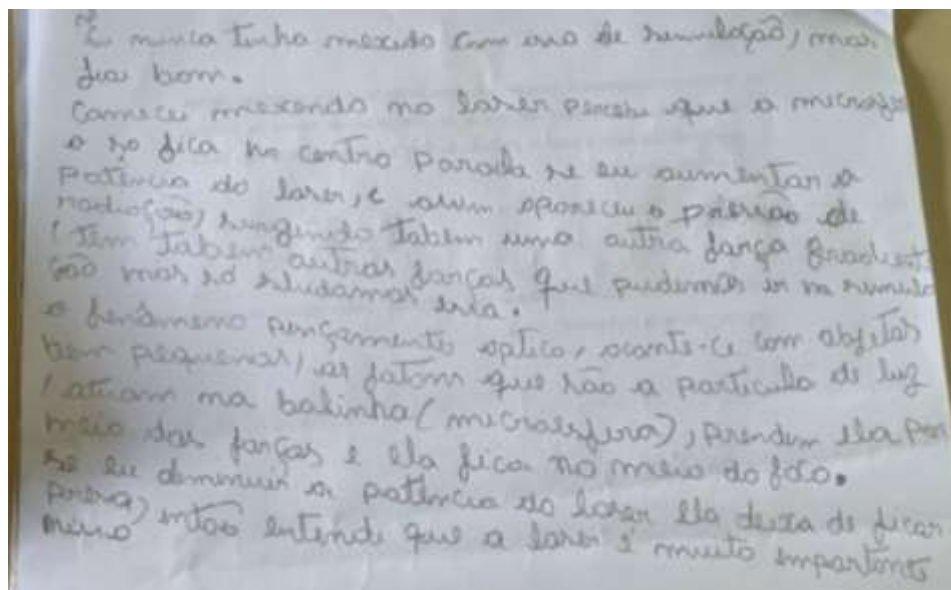


Figura 32 - Síntese de um aluno sobre o manuseio da simulação. Fonte: Autoria própria.

Nessa outra descrição, nos atentemos ao comentário que o aluno fez sobre a luz LASER, em que o mesmo percebe que a partir do aumento ou diminuição da potência, é que temos o aprisionamento da microesfera e, que através disso surgem forças, embora aparente que o conceito de força pressão de radiação e força de gradiente ficou “aberto”, nota-se que o princípio básico para que ocorra o pinçamento óptico foi assimilado.

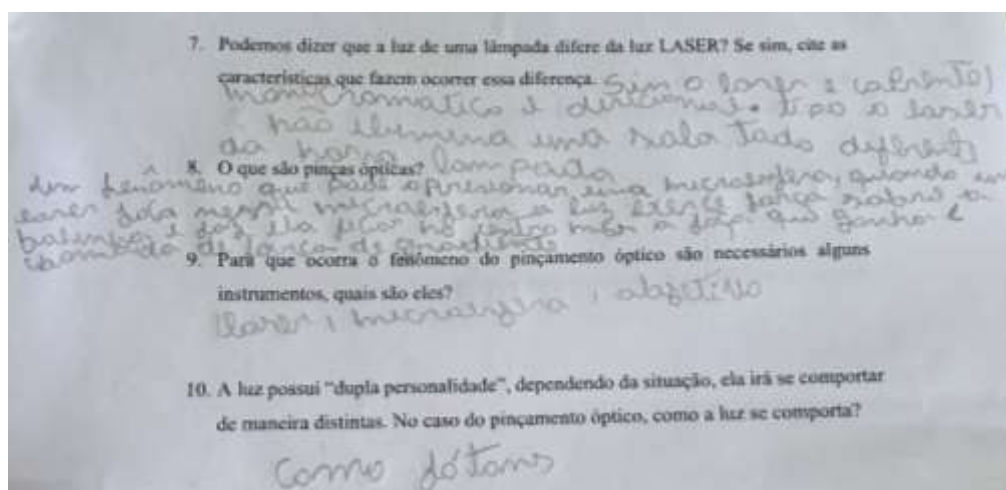


Figura 33 - Resolução das questões 8, 9 e 10 do aluno. Fonte: Autoria própria.

A maioria dos estudantes que estavam presentes em todos os encontros conseguiu responder as questões de maneira significativa e coerente, principalmente no que diz respeito às questões 8, 9 e 10.

Ressaltamos que dois alunos faltaram alguns encontros, dentre eles está o que não participou da simulação e não entregou o questionário da Etapa 5, o outro fez a entrega dos questionários, mas não da síntese, embora participando do manuseio da simulação, e, ainda temos dois alunos que mesmo participando de todos os encontros não quiseram entregar as atividades propostas.

Em suma, o gráfico 13 demonstra o desempenho individual dos alunos, no qual 6 alunos notaram-se indícios de aprendizagem significativa, os demais (03 alunos) não se teve respostas conexas com as questões, ficando os mesmos ausentes no gráfico. Logo, de nove alunos que entregaram o questionário da etapa 5, tivemos um percentual no geral de 66%.



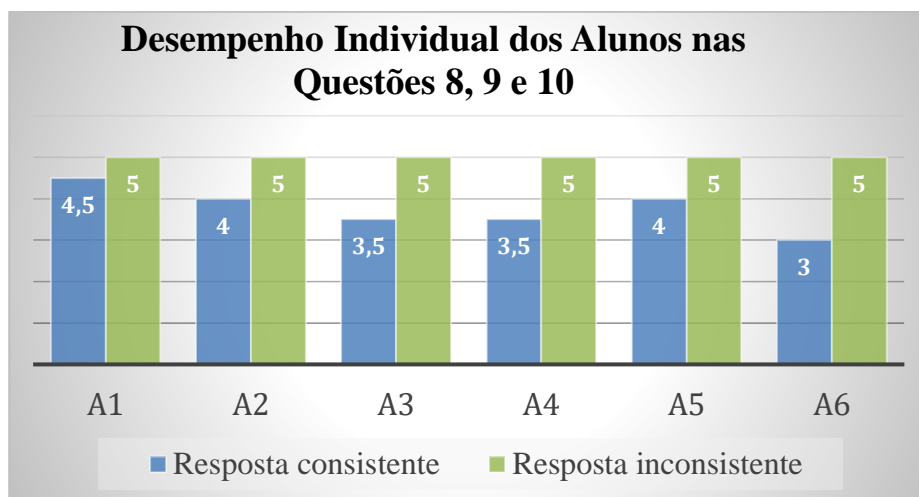


Gráfico 13 - Desempenho individual dos alunos que entregaram o questionário na Etapa 5. Fonte: Autoria própria.

É notório que ficaram ainda lacunas a serem preenchidas diante desse tema, pois se trata de um assunto complexo, sendo todos os seus conceitos novos para estes estudantes. No entanto, as dificuldades apresentadas pela turma e os resultados negativos que alguns estudantes tiveram – no qual não foi possível identificar evidências de aprendizagem significativa, não se deve ao modelo em que a sequência didática deste produto foi desenvolvida, uma vez que, em disciplinas anteriores que abordavam temas bem menos complexos também se teve barreiras para assimilação de conteúdo.

Sendo assim, percebeu-se que o ensino remoto ocasionado pela pandemia do COVID-19 não foi suficiente para a aprendizagem dos alunos, trazendo ainda mais déficit na assimilação e compreensão dos conteúdos, inclusive no decorrer da aplicação deste produto educacional. Desse modo, foi elaborado e aplicado um questionário referente a este agente externo, com quatro questões, onde 6 alunos responderam e entregaram.

Podemos observar que os próprios alunos reconhecem a falta de aprendizagem que não ocorreu no ensino remoto, o que prejudicou a eficácia dos resultados deste produto. Nas figuras abaixo (14, 15 e 16), é notório erros ortográficos, que em média, alunos que estão cursando a 2ª série do ensino médio não teriam dificuldades para expressar suas ideias. Na figura 15, ao responder o item b da questão 1, o aluno ressalta que teve dificuldades em lembrar conteúdo.

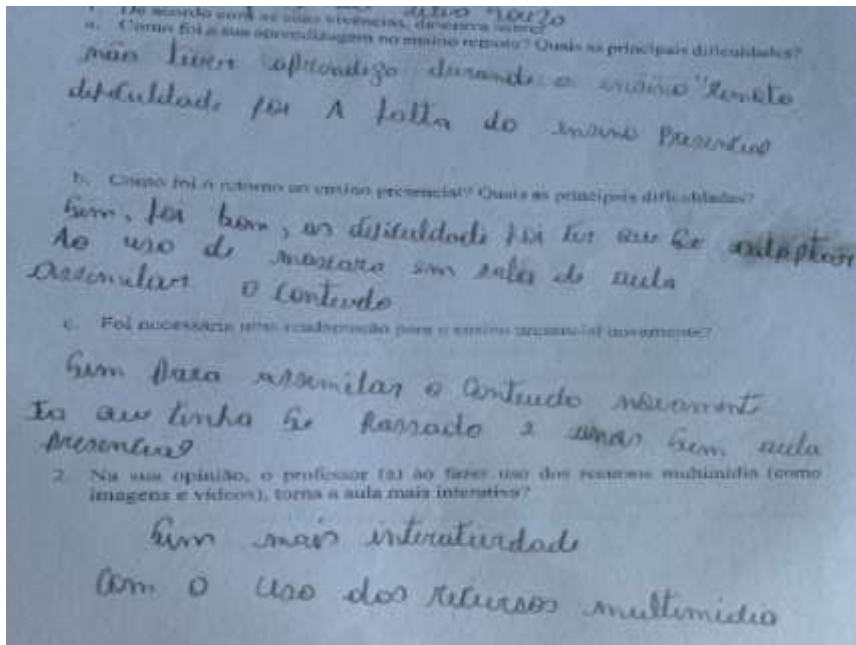


Figura 34 - Resposta do aluno A6 nas questões 1 e 2 do questionário externo. Fonte: Autoria própria.

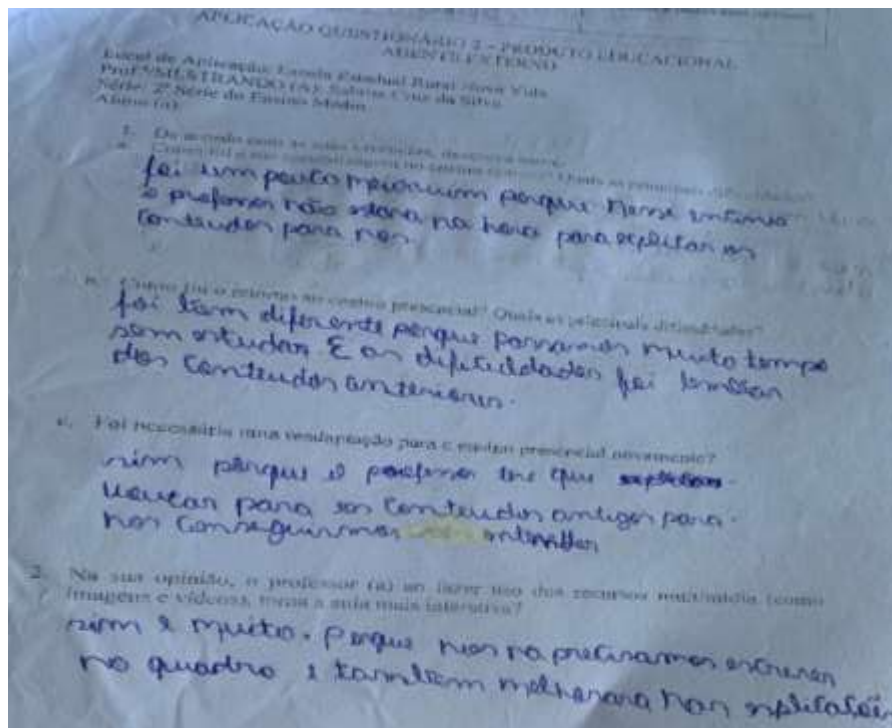


Figura 35 - Resposta do aluno A2 no item c da questão 1 e questão 2 do questionário externo. Fonte: Autoria própria.

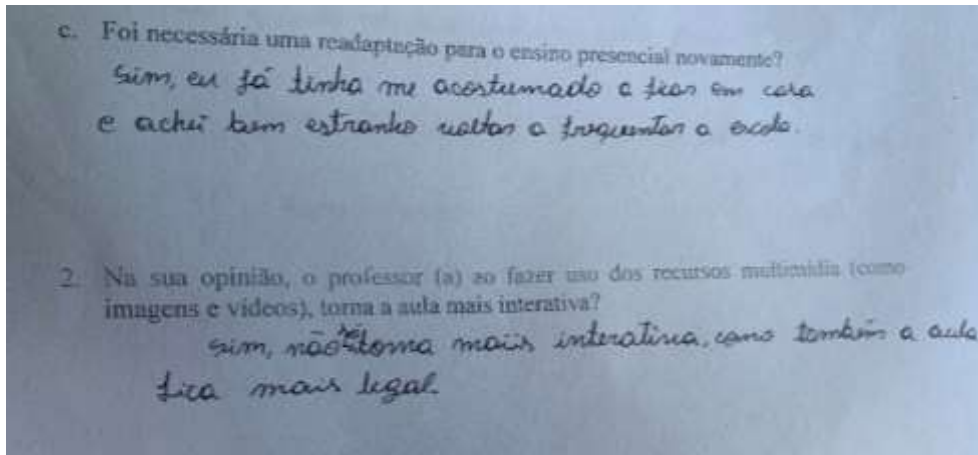


Figura 36 - Resposta do aluno A2 no item c da questão 1 e questão 2 do questionário externo. Fonte: Autoria própria.

Quando indagados sobre o uso do recurso de multimídia, observamos que os alunos aprovaram a metodologia, o que nos leva a concluir que não foi a metodologia utilizada que ocasionou as dificuldades apresentadas.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

Uma das barreiras que se pretende quebrar ainda no ensino de Física é atrair a atenção dos alunos durante a exposição dos temas, de maneira que não se sintam desestimulados no decorrer das aulas, sobretudo, em conteúdo que se é necessária uma atenção maior dos estudantes, para que de fato ocorra uma assimilação dos temas a serem abordados, como é o caso de conceitos que envolvem Óptica Geométrica e Física Contemporânea.

Assim sendo, o presente trabalho tinha por finalidade utilizar a plataforma PhET, com ênfase na simulação sobre Pinças Ópticas, a fim de caracterizar e abordar os conceitos físicos envolvidos neste fenômeno, por meio de uma sequência didática na qualidade de UEPS, que foi desenvolvida e aplicada, a fim de demonstrar para alunos do ensino médio, que estes podem compreender aqueles temas.

Ao levarmos em consideração os aspectos mais gerais da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, no qual o quantitativo geral de subsunçores que estavam presentes no cognitivo dos alunos (aproximadamente 83% dos estudantes) e a predisposição dos alunos durante aprendizagem, este último aspecto predominante no 5º encontro, mediante os resultados apresentados no capítulo anterior, notou-se que o objetivo principal deste trabalho teve êxito.

No que diz respeito, ao uso da simulação e dos recursos multimídias, essa metodologia foi bem aceita por boa parte dos estudantes, o que nos leva a concluir que o desafio de “prender” a atenção dos alunos no decorrer das aulas, por ora, foi vencido. Embora, existindo algumas exceções na turma, que decaíram sua atenção no encontro final, não sendo possível observar indícios de aprendizagem significativa, obteve-se resultados satisfatórios, sendo os resultados negativos também sido observados em outras disciplinas e em outros temas (como citado no capítulo anterior).

Uma possível justificativa para isso foi a pandemia do COVID-19 que ocasionou muitos déficits de aprendizagem em nosso sistema de ensino, adotado na época, sendo os seus prejuízos refletidos nas salas de aulas atualmente.

Corroborando ainda mais para a validação deste produto, alguns estudantes acreditam que o aluno do ensino médio pode aprender temas debatidos pela sociedade

científica, esse tipo de opinião permaneceu como resposta na aplicação de ambos os questionários do produto educacional, logo, ocorreu de fato uma transposição didática.

Em suma, o ensino de pinças ópticas utilizando o simulador PhET pode ser efetivamente conduzido com base na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, garantindo que os alunos construam um conhecimento sólido e bem fundamentado. A Transposição Didática permite que o professor adapte o conteúdo de forma a torná-lo acessível e relevante, promovendo uma aprendizagem mais envolvente e significativa para os estudantes.

Uma sugestão para resultados mais eficazes seria aplicar este produto educacional para turma de 3<sup>a</sup> série do ensino médio, uma vez que estes já estarão familiarizados com os conceitos de reflexão e refração da luz.

## REFERÊNCIAS

**a.pdf**, [s.d.]. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num1/a08.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021

ALMEIDA, G. P. DE. **Transposição didática: por onde começar?** 2ª edição ed. São Paulo: Cortez, 2014.

ALVES, P. S. **Teoria e calibração de pinças ópticas**. 16 fev. 2012.

ASHKIN, A. Acceleration and Trapping of Particles by Radiation Pressure. **Physical Review Letters**, v. 24, n. 4, p. 156–159, 26 jan. 1970.

AUSUBEL, D. P.; ROBINSON, F. G. **School Learning: An Introduction to Educational Psychology**. New York: Holt, 1969.

BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias Ativas para uma Educação Inovadora: Uma Abordagem Teórico-Prática**. 1ª edição ed. Porto Alegre - RS: Penso, 2017.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2018 b.

CARRARO, F. L.; PEREIRA, D. R. F. **O uso de simuladores virtuais do phet como metodologia de ensino de eletrodinâmica**. p. 18, [s.d.].

CHEVALLARD, Y. **Transposicióndidáctica**. [s.l.] Aique, 2005.

COELHO, R. O. **O Uso da Informática no Ensino de Física de Nível Médio**. p. 101, 2002.

CRISAFULI, F. A. DE P. **Caracterização das interações do DNA com as moléculas Actinomicina D e GelRed**.

FROTA, P. R. O. & ALVES, V. C. **Conversando com quem ensina, mas pretende ensinar diferente**. Florianópolis: Metrópole, 2000.

GRIFFITHS, D. J. **Eletrodinâmica**. 3ª edição ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2010.

KLAJIN, S. **Física a vilã da escola**. Passo Fundo: UPF, 2002.

MOREIRA, M. A. **Uma Abordagem Cognitivista Ao Ensino De Física**. Porto Alegre (RS): UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a Teoria e Textos Complementares**. 1ª edição ed. [s.l.] Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa**. 2ª edição ed. [s.l.] Centauro, 2006.

NEWTON, I. **OPTICKS**. 1. ed. London: [s.n.].

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica. Fluidos, Oscilações - Volume 2**. 4ª edição ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

**PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis**. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Acesso em: 15 jun. 2021.

REESE, S. C. AUSUBEL, DAVID P., and ROBINSON, FLOYD G. School Learning: An Introduction to Educational Psychology. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1969. 691 pp. \$7.95. **Journal of Teacher Education**, v. 21, n. 1, p. 149–150, 1 mar. 1970.

RENK, K. F. Laser Principle. In: RENK, K. F. (Ed.). **Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering**. GraduateTexts in Physics. Cham: Springer InternationalPublishing, 2017. p. 17–42.

SILVA NETO, C. P. DA; FREIRE JÚNIOR, O. Um Presente de Apolo: lasers, história e aplicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, 26 set. 2016.

SILVA NETO, C. P. DA; FREIRE JÚNIOR, O. Um Presente de Apolo: lasers, história e aplicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, 2017.

SOUSA, R. P. DE; MOITA, F. M. C. DA S. C.; CARVALHO, A. B. G. (EDS.). **Tecnologias digitais na educação**. Campina Grande, PB: Eduepb, 2011.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6ª edição ed. [s.l.] LTC, 2017.

VERRET, Michael. (1975). *Le Temps d'Étude*. Paris: Librairie Honoré Champion.

# **Apêndice A - Produto Educacional**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**SABRITA CRUZ DA SILVA**

**PRODUTO EDUCACIONAL: UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR PHET  
SOBRE PINÇAS ÓPTICAS COMO RECURSO METODOLÓGICO NO  
ENSINO DE CONCEITOS DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA**

**Rio Branco – AC  
2023**



## Apresentação

Este produto educacional foi construído na intenção de auxiliar docentes que estejam com interesse em experimentar metodologias alternativas para o ensino de conceitos de óptica geométrica e física contemporânea.

Ele se fundamenta na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1968), em que os fatores mais impactantes no processo de ensino-aprendizagem são os conhecimentos que previamente integram a estrutura cognitiva do estudante.

Os conhecimentos prévios têm a função de fornecer “uma sustentação” para a aprendizagem de novos assuntos de um tema específico. Esse processo é chamado por Ausubel de subsunção, em que os conhecimentos prévios relevantes para a aprendizagem são chamados de subsunçores.

Ao atingir a esperada aprendizagem significativa, o discente não deve mais recorrer aos processos de memorização de conceitos para se preparar para algum tipo de exame, pois o aluno já tem obtido o significado, ou seja, o conhecimento deve estar à sua disposição a qualquer momento, podendo ser aplicado em diversas situações diferentes das apresentadas pelo professor no processo de ensino-aprendizagem, em diferentes níveis de complexidade e em diversas abordagens conceituais e metodológicas.

O produto educacional foi desenvolvido como sendo uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS, proposta por Moreira (2011), em que é sugerida uma estrutura didática teoricamente orientada à aprendizagem significativa.

Primeiramente devemos escolher um assunto a ser desenvolvido, em seguida após esta escolha vamos analisar situações quem levem o discente a externar seus conhecimentos prévios, pois esse é o ponto de partida para a discussão de novos tópicos de ensino dentro da visão *Ausubeliana* (AUSUBEL, 1968).

A avaliação da UEPS é realizada ao longo do processo de ensino-aprendizagem, mas Moreira (2011) também sugere que sejam realizadas avaliações ao final, de tal maneira que o professor possa registrar tudo o que possa ser considerado indício de aprendizagem significativa.

Um dos objetivos específicos que vamos tentar alcançar é verificar a possibilidade do fenômeno de pinçamento óptico, que é um conceito não usual no ensino médio, ser descrito em uma linguagem acessível para o público alvo utilizando

como metodologia simulações já descritas no PhET, mas que até o momento, são poucos os trabalhos que fazem uso desta simulação como suporte.

A ciência não é estática, pelo contrário, é dinâmica, é este dinamismo que tem que chegar aos alunos do ensino básico. O prêmio Nobel de Física de 2018 que se deu em um processo histórico, iniciado com o surgimento do laser em 1960, já em 1968 houve a primeira armadilha óptica e em 1970 obtiveram a primeira manipulação óptica.

A ideia de manipulação gerou dois prêmios Nobel o de Física 1997 que foi atribuído em conjunto ao professor Steven Chu da Stanford University, Califórnia, EUA, ao Professor Claude Cohen-Tannoudji, Collège de France e École Normale Supérieure, em Paris, França, e ao Dr. William D. Phillips, Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia, Gaithersburg, Maryland, EUA, em seguida houve o de 2018.

E os impactos no nosso cotidiano com advento desses fenômenos são diversos, inicia do corte de placas de navio e avião via laser até manipulação de células para analisar a eficiências de fármacos e infelizmente estes conhecimentos não estão chegando à educação básica.

O produto vai ser aplicado, devidamente testado em uma turma do 2º ano de ensino médio de uma escola estadual pública, localizada no município de Bujari – AC, na zona rural, todas as aulas dos encontros, serão ministradas de maneira presencial, respeitando e obedecendo critérios e normas contra a COVID-19. Possuindo cinco (5) encontros, com uma média de duas aulas de duração. Cada encontro trabalhará os aspectos e fenômenos que compreendem a óptica geométrica e física contemporânea, por conseguinte o pinçamento óptico (fenômeno em questão).

Uma vez que, o calendário letivo é disponibilizado para as escolas estaduais do Acre (localizadas na zona rural dos municípios) pela Secretaria de Educação, espera-se que a intervenção tenha início na primeira quinzena do mês de julho de 2022, tendo como base o calendário escolar.

## Conceitos de Pinça óptica

### 1. Pinças Ópticas

As pinças ópticas, também conhecidas como armadilhas ópticas, revelaram-se como um instrumento poderoso, com amplas aplicações em Biologia e Física.

Em 1969, Arthur Ashkin e seus colaboradores, em pesquisas nos laboratórios Bell, nos Estados Unidos, demonstraram que as forças ópticas podiam deslocar e levitar partículas dielétricas do tamanho de um micrón (ASHKIN, 1970).

De maneira geral, a pinça óptica consiste em um laser, fortemente focalizado através da objetiva de um microscópio, que ao incidir em uma microesfera ou qualquer outro objeto com certa simetria, é capaz de aprisioná-lo, ao transferir momento para este.

Com o desenvolvimento da teoria eletromagnética de Maxwell no século XIX, foi possível demonstrar que a luz é capaz de transferir momento para um meio ao incidir sobre este, exercendo assim uma força sobre ele. Desse modo, origina-se um dos “braços” do fenômeno do pinçamento óptico, quando um laser ao incidir sobre uma microesfera transfere momento para esta por meio de seus fótons, exercendo assim força.

O primeiro conceito intuitivo é a da transferência de momento dos fótons de um raio de luz. Para termos ideia da ordem de grandeza das forças envolvidas no pinçamento óptico, imagine um laser com alguns mW (miliwatts) de potência, incidindo radialmente sobre uma microesfera absorvedora. Cada fóton absorvido possui um momento dado por

$$\mathbf{p} = \hbar \cdot \mathbf{k} \quad (1)$$

onde  $\vec{k}$  é o seu vetor de onda e  $\hbar$  é a constante de Planck dividida por  $2\pi$ . Em módulo, podemos escrever que

$$p = \hbar k = \hbar \frac{\omega}{c} = \frac{E}{c} \quad (2)$$

onde  $c$  é a velocidade da luz,  $\omega$  é a frequência angular da luz incidente e  $E = \hbar\omega$  a energia de cada fóton. Para  $N$  fótons, teremos  $E_{tot} = N\hbar\omega = NE$ .

A força total exercida por um feixe com  $N$  fótons por segundo incidindo sobre a microesfera pode ser obtida a partir da equação (2). Usando a 2ª Lei de Newton, teremos

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{E_{tot}}{c} \right) = \frac{P_{tot}}{c} \quad (3)$$

onde  $P_{tot}$  é a potência do feixe incidente.

Feito isto, podemos estimar o valor da força na equação (3), como sendo

$$F_{tot} \approx \frac{1 \times 10^{-3} W}{3 \times 10^8 m/s} \approx 10^{-11} N = 10 pN \quad (4)$$

De fato, em experimentos com pinças ópticas, as forças estão na escala de piconewtons.

Para entendermos qualitativamente o funcionamento da pinça óptica, devemos analisar as forças que atuam na microesfera. Inicialmente teremos uma força denominada pressão de radiação, surge sempre que a luz é refletida ou absorvida ao incidir numa interface entre dois meios. Imaginemos, um laser fortemente focalizado em um certo ponto, e que os raios irão incidir em uma microesfera absorvedora. Cada raio do feixe dará origem primeiramente a um raio refletido e um raio refretado em sua superfície, a contribuição da reflexão total do feixe sobre a microesfera está na pressão de radiação. A expressão para a força da pressão de radiação, devido a um raio, pode ser escrita como

$$F \propto \frac{P_{raio}}{v} \quad (5)$$

com

$$v = \frac{c}{n} \quad (6)$$

onde  $P_{raio}$  é a potência do raio e  $n$  é o índice de refração do meio de incidência.

Paralelamente, a luz também é capaz de exercer outra força sobre a microesfera quando refratada por esta. Isto somente acontece, pois, o momento linear total do sistema isolado luz-microesfera tem que ser o mesmo antes e depois da refração.

Um raio de luz ao incidir em um objeto pequeno, como uma esfera dielétrica, por exemplo, é desviado de sua trajetória original se os índices de refração do meio de incidência e da esfera forem distintos. Isto é, o raio refretado terá um momento linear numa direção diferente da direção inicial.

Em outras palavras, podemos dizer que o raio sofreu uma variação em seu momento linear, que está relacionada com a mudança de sua trajetória. Sendo assim, a 2ª Lei de Newton requer que a esfera sofra uma variação de momento de mesmo módulo e sentido contrário à variação de momento do raio de luz. Como a esfera possui uma certa massa, isto implica que uma força atua sobre ela para fazer variar o seu momento. Se o índice de refração da esfera for maior que o do meio que a cerca e se o perfil de intensidades do feixe de luz for gaussiano, os raios refratados deste feixe focalizado exercerão sobre a esfera uma força de gradiente, que tenderá a levá-la para o foco do feixe.

Para visualizar melhor este efeito, vamos começar fazendo uma análise usando o regime da óptica geométrica. Nesse regime, o raio da microesfera é muito maior que o comprimento de onda da luz ( $a \gg \lambda$ ).

A figura 37 exhibe dois raios do feixe de extremidades contrárias, bem como os raios refletidos na superfície da esfera. O desvio do raio (1) origina a força  $\vec{F}_1$  na microesfera, e o desvio do raio (2) dá origem à força  $\vec{F}_2$  na microesfera. A força resultante, nesse caso, tende a empurrar a microesfera no sentido de incidência do feixe.

Finalizando a nossa análise no limite da óptica geométrica, discutiremos os efeitos da refração. A figura 38 representa uma situação na qual a microesfera está situada em uma região abaixo do foco. Ao passar pela microesfera, o raio (1) sofre um desvio, logo terá uma variação em seu momento linear. Para que o momento linear total do sistema raio – microesfera seja conservado, a esfera terá que sofrer uma variação de momento linear de mesma intensidade e sentido contrário à variação de momento linear do raio (1). De fato, é isso que ocorre, dando origem a força  $\vec{F}_1$  que aparece na figura (2). A mesma coisa acontece com o raio (2), mas como temos um perfil gaussiano de intensidade do laser, a força  $\vec{F}_1$  será maior, em módulo, que a força  $\vec{F}_2$ , de forma que a força resultante aponta para cima, empurrando a microesfera para o foco do feixe.

A figura 39 representa a microesfera na região acima do foco. Semelhante ao que acontece quando a esfera está na região abaixo do foco, surgirão forças na microesfera de forma a conservar o momento total do sistema raio - microesfera.

Agora, no caso onde a microesfera está situada em uma região acima do foco, a força resultante na microesfera apontará para baixo, de forma a empurrar novamente a microesfera na direção do foco do feixe. Em suma, o efeito de refração é deslocar o centro da microesfera para o foco do feixe (força de gradiente), enquanto o efeito da

reflexão é empurrar a microesfera no sentido da incidência do raio (pressão de radiação). A competição entre estas forças é que faz com que o objeto fique preso na região focal.

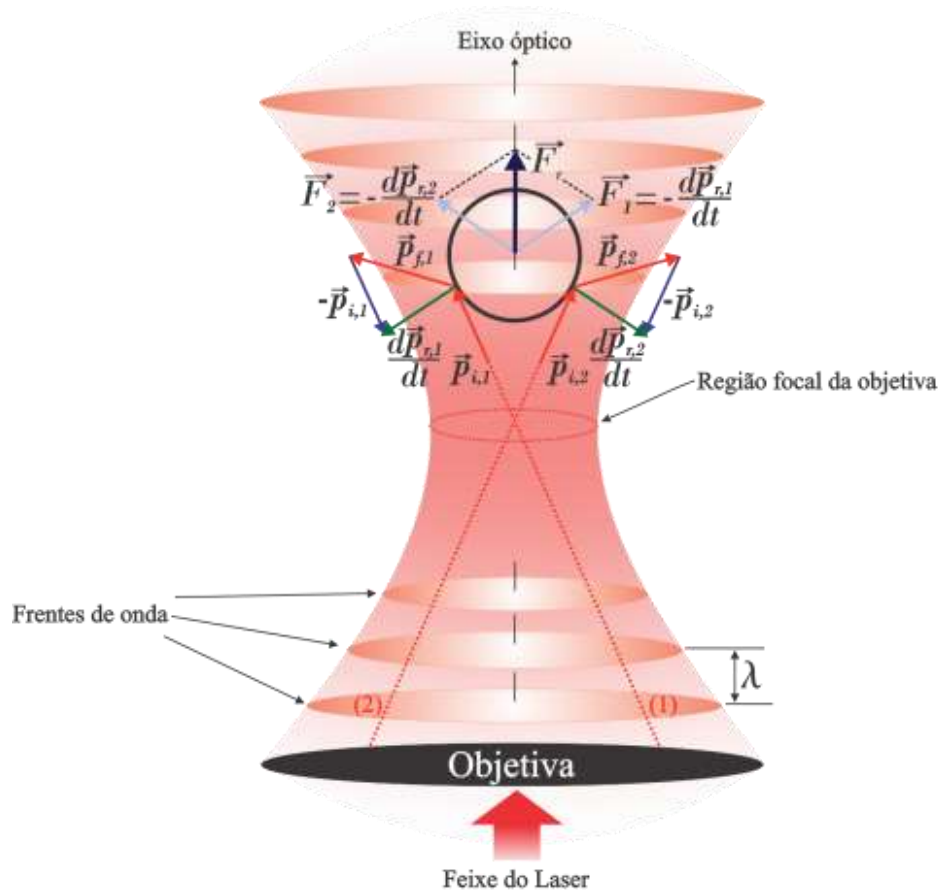


Figura 37: Pressão de Radiação: A força resultante, nesse caso, empurra a microesfera no sentido de incidência do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016)

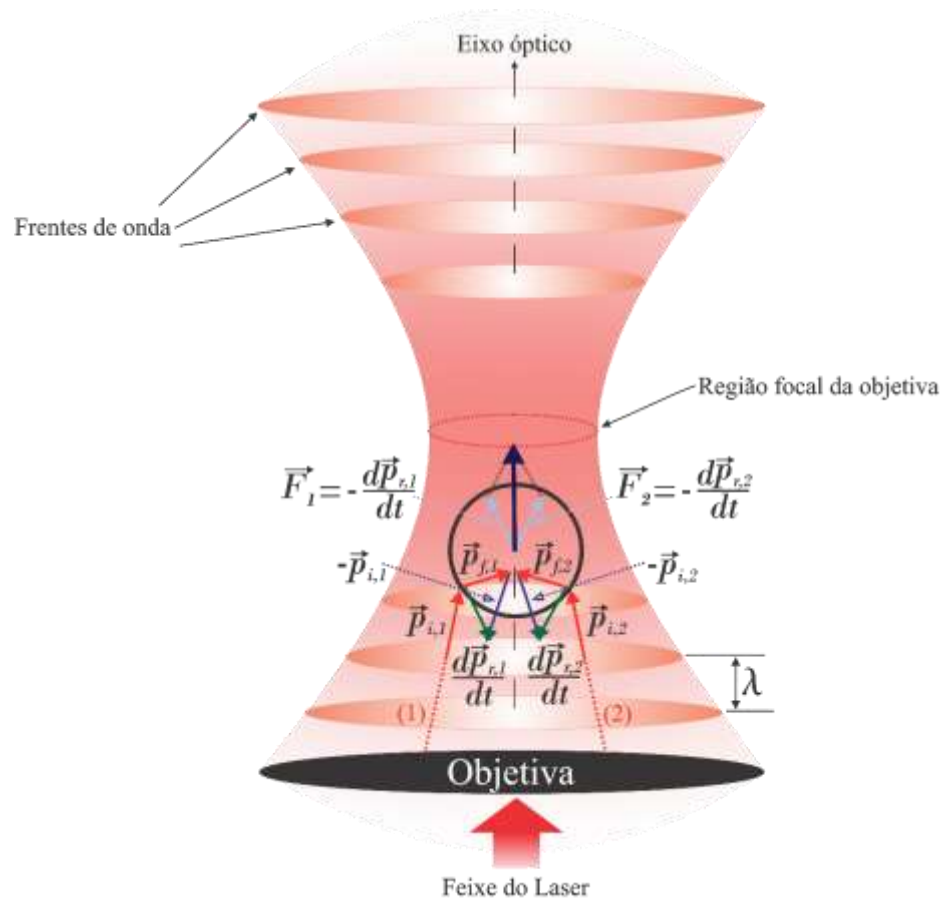


Figura 38: Efeito dos raios refratados para uma microesfera situada abaixo do foco e na metade direita do perfil de intensidades do laser. Observe que a força resultante sobre a microesfera tende a deslocar a mesma para a região do foco do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016)

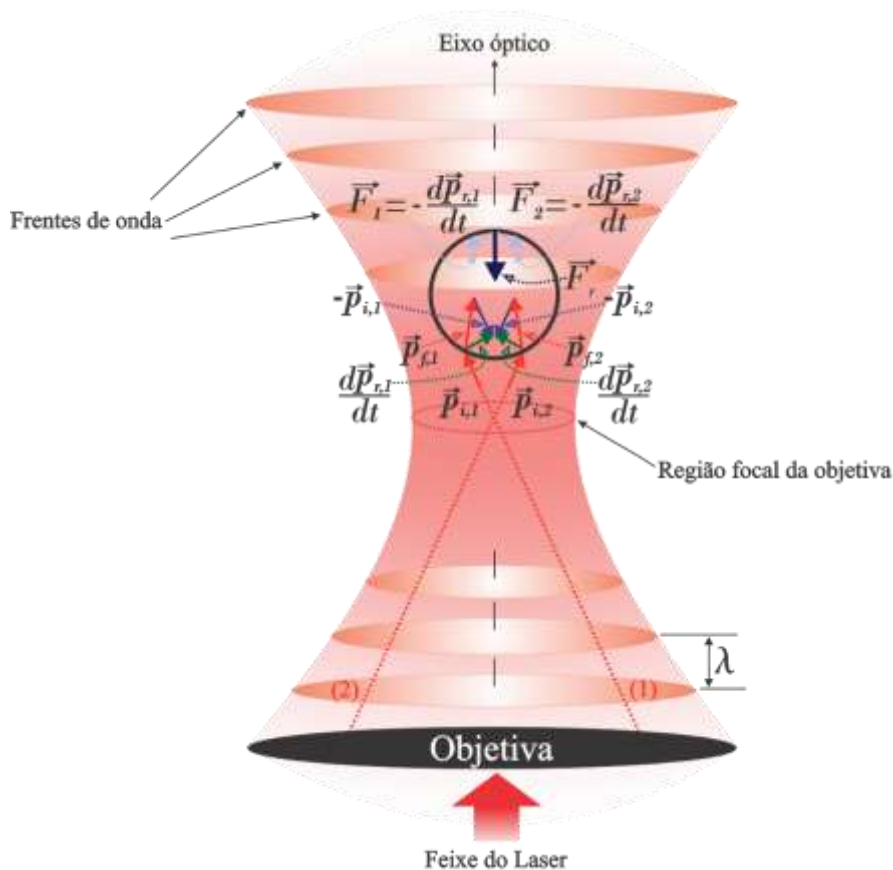


Figura 39: Força de Gradiente: Efeito dos raios refratados para uma microesfera situada acima do foco do laser. Podemos observar que a força total que atua na microesfera tende a deslocar a mesma para a região do foco do feixe. Fonte: (CRISAFULI, 2016)

Vale ressaltar que, toda análise foi feita sob o ponto de vista da óptica geométrica, e, portanto, válida apenas neste limite, que ocorre quando o raio da esfera é muito maior do que o comprimento de onda do laser usado na pinça óptica. Podemos observar ainda que, ao desenharmos os raios refratados nas figuras (38) e (39), estamos supondo que a microesfera possui um índice de refração maior que o do meio que a cerca. De fato, isto é fundamental para que ocorra o pinçamento óptico. É fácil perceber que se o índice de refração da esfera fosse menor que o do meio, o pinçamento não aconteceria. A competição entre esses dois efeitos, pressão de radiação e força de gradiente, tem que ser vencida pela força de gradiente, ocorrendo isso daremos origem ao fenômeno de pinçamento óptico.



## Conceitos de Física Contemporânea.

### 1. Fótons

Em meados do século XIX, Maxwell formulou um conjunto de equações, conhecidas como equações de Maxwell, que fundem todos os princípios sobre Eletromagnetismo, que eram conhecidos até aquela época (GRIFFITHS, 2010).

Através de suas equações, ele conseguiu prever a existência de ondas eletromagnéticas, observando que na presença de um campo magnético que varia com o tempo, irá surgir um campo elétrico induzido, também variável, dando origem a outro campo magnético induzido e, assim, sucessivamente.

Maxwell denominou isso de distúrbio eletromagnético, que durante a sua propagação, deveria apresentar todas as características de um movimento ondulatório, sofrendo reflexão, refração, difração e interferência. Dessa maneira, o distúrbio provocado pela propagação de campos elétricos e magnéticos, foi denominado onda eletromagnética.

Outra descoberta obtida por Maxwell, foi a determinação do valor da velocidade de uma onda eletromagnética no vácuo, cujo valor é: (GRIFFITHS, 2010)

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (13)$$

Isso foi importante, pois tal valor coincide com a velocidade de propagação da luz no vácuo, levando Maxwell a propor que a luz fosse uma onda eletromagnética. Hoje, sabemos que a luz é também uma onda eletromagnética.

No entanto, esse modelo ondulatório para a luz, não conseguia explicar determinados fenômenos que surgiram no início do século XX, como radiação do corpo negro, efeito fotoelétrico etc. (TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

Ao estudar essas experiências, os físicos da época observaram que tais problemas envolviam teorias existentes numa escala microscópica, e nesta escala as teorias da Física Clássica falhavam. Daí, tivemos o início de uma nova Física, a Física Quântica.

Um dos primeiros desafios a serem entendidos, foi o fato de algumas grandezas físicas, que até então só apresentavam valores contínuos, como a energia, passarem a apresentar valores discretos.

Por exemplo, os números naturais constituem um conjunto discreto, enquanto os números reais formam um conjunto contínuo, ou seja, entre dois números naturais consecutivos não existe um terceiro número, mas entre dois números reais quaisquer existe uma infinidade de outros números reais.

Ao observarem em seus estudos esse comportamento para alguns fenômenos da natureza, surgiu o nome Física Quântica, pois a palavra quantum, provém do latim que significa quantidade, ou seu plural quanta, esse termo começou a ser utilizada para caracterizar as unidades discretas das grandezas que deixaram de se comportar como contínuas.

O físico alemão Max Planck, na tentativa de solucionar problemas da radiação emitida por um corpo negro, considerou os átomos constituintes do corpo aquecido como osciladores harmônicos, vibrando em torno do ponto de equilíbrio estável. Os vários osciladores do corpo teriam suas energias distribuídas estaticamente, de acordo com a temperatura (TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

Inicialmente, Planck não obteve êxito, após perceber que a energia de cada oscilador só poderia adquirir valores discretos, ajustou o valor de uma constante multiplicativa  $h$ , que constava de sua expressão, solucionando o problema da radiação térmica.

O oscilador só poderia ser encontrado em determinados níveis de energia  $e$ , no caso específico, de osciladores harmônicos, os níveis de energia são igualmente espaçados, separados de uma energia igual a  $hf$ , em que  $f$  é a frequência do oscilador. O valor encontrado para a constante, denominada constante de Planck, é:  $h = 6,63 \times 10^{-34} J \cdot s$ .

Essa descoberta marcou o nascimento da Física Quântica, iniciando uma nova era. A partir disso, começaram os processos para entender o porquê que em determinados momentos, a luz comportava-se como partícula ou transportava essas, embora sabendo que a mesma era uma onda.

Um dos pioneiros a supor que a luz fosse constituída por pequenas partículas (modelo corpuscular da luz) foi o físico Isaac Newton, em sua obra *Opticks*, publicada em 1704 (NEWTON, 1704).

Planck também acreditava nessa teoria, e que tais partículas seriam pacotes de energias. A explicação para tais pacotes de energias foi dada por Albert Einstein, quando analisou um experimento denominado efeito fotoelétrico, com seu novo modelo para a luz, na tentativa de descrever a hipótese de quantização da energia, proposta por Planck.

Com esse experimento Einstein tentou provar a ideia principal de seu trabalho: a luz seria formada por pequenos pontos materiais cuja energia seria descrita exatamente pela mesma expressão que Planck havia formulado para descrever a quantização de energia:

$$E = hf \quad (14)$$

onde,  $h$  é a constante de Planck.

O efeito fotoelétrico ocorre quando incidimos um feixe de luz sob uma superfície metálica e desses elétrons são arrancados com uma certa quantidade de energia. Para que isso aconteça, é necessário realizar trabalhos sobre esses elétrons, fornecendo uma quantidade de energia chamada função trabalho do metal  $E_T$ .

Não existia problema nessa teoria, até então, afinal a luz forneceria a energia necessária para arrancá-los. No entanto, observou-se que o fato de arrancar os elétrons do metal, dependia da cor da luz utilizada e não de sua intensidade.

O problema surgiu nesse momento, pois de acordo com o eletromagnetismo de Maxwell, se jogarmos luz vermelha num metal e percebermos que os elétrons não estão sendo arrancados, bastaria usar um feixe de luz mais intenso para arrancá-los. Contudo isso não funcionava.

Em contrapartida, se usássemos luz violeta, mesmo com intensidade baixa, os elétrons poderiam ser arrancados, essa característica da luz não aparece na teoria da onda eletromagnética de Maxwell.

Einstein explicou tal característica embasado em dois argumentos: primeiro, a necessidade de uma dependência da energia da luz com sua frequência e, segundo a conclusão de Planck de que a energia de um oscilador harmônico era quantizada em unidades  $hf$ , propondo, então a ideia de um quantum de luz.

Principiou a hipótese que uma luz monocromática de frequência  $f$  era constituída de unidades indivisíveis, os quanta de luz, cujas energias eram dadas pela equação 13. Assim, explicou a experiência do efeito fotoelétrico num artigo publicado

em marco de 1905. Em 1926, Gilbert Lewis, criou a palavra fóton para estabelecer um quantum de luz.

Einstein propôs ainda que, sempre que a luz é absorvida ou emitida por um corpo, a absorção ou emissão ocorre nos átomos. Desse modo, um fóton que possui uma frequência  $f$  e uma energia  $hf$ , ao ser absorvido, transfere sua energia para o átomo, ocorrendo a destruição de um fóton. Porém, na emissão de um fóton, sua energia  $hf$  é transferida do átomo para luz, decorrendo a formação de um fóton.

Frisando que, essa é a explicação do Efeito Fotoelétrico para Einstein, e que os pioneiros na observação desse fenômeno foi Hertz, tentando comprovar as ideias de Maxwell sobre as ondas eletromagnéticas.

Vale ressaltar também, que ainda não foi possível observar a luz com os dois comportamentos ao mesmo tempo. Esta é uma particularidade do universo quântico e se diz que o fóton, resultado da quantização do campo eletromagnético, possui uma natureza dual, de onda e partícula.

Na escala macroscópica, não se pode observar esse comportamento dual em função da interação com o meio ambiente, que faz com que o sistema perca suas propriedades quânticas e se comporte classicamente. Porém, na escala microscópica, esta propriedade denominada dualidade onda-partícula é comum.

Segundo a relatividade, uma partícula viajando na velocidade da luz não pode possuir massa de repouso, logo, a massa de repouso do fóton é nula. Sabe-se também, de acordo com a relatividade, que a quantidade de movimento de qualquer partícula com massa de repouso nula é dada por  $q = \frac{E}{c}$ , e que a energia do fóton é dada por  $E = hf$  e para uma onda eletromagnética temos  $c = f\lambda$ .

De maneira sucinta, o fóton, que é o resultado da quantização do campo eletromagnético, possui as seguintes propriedades:

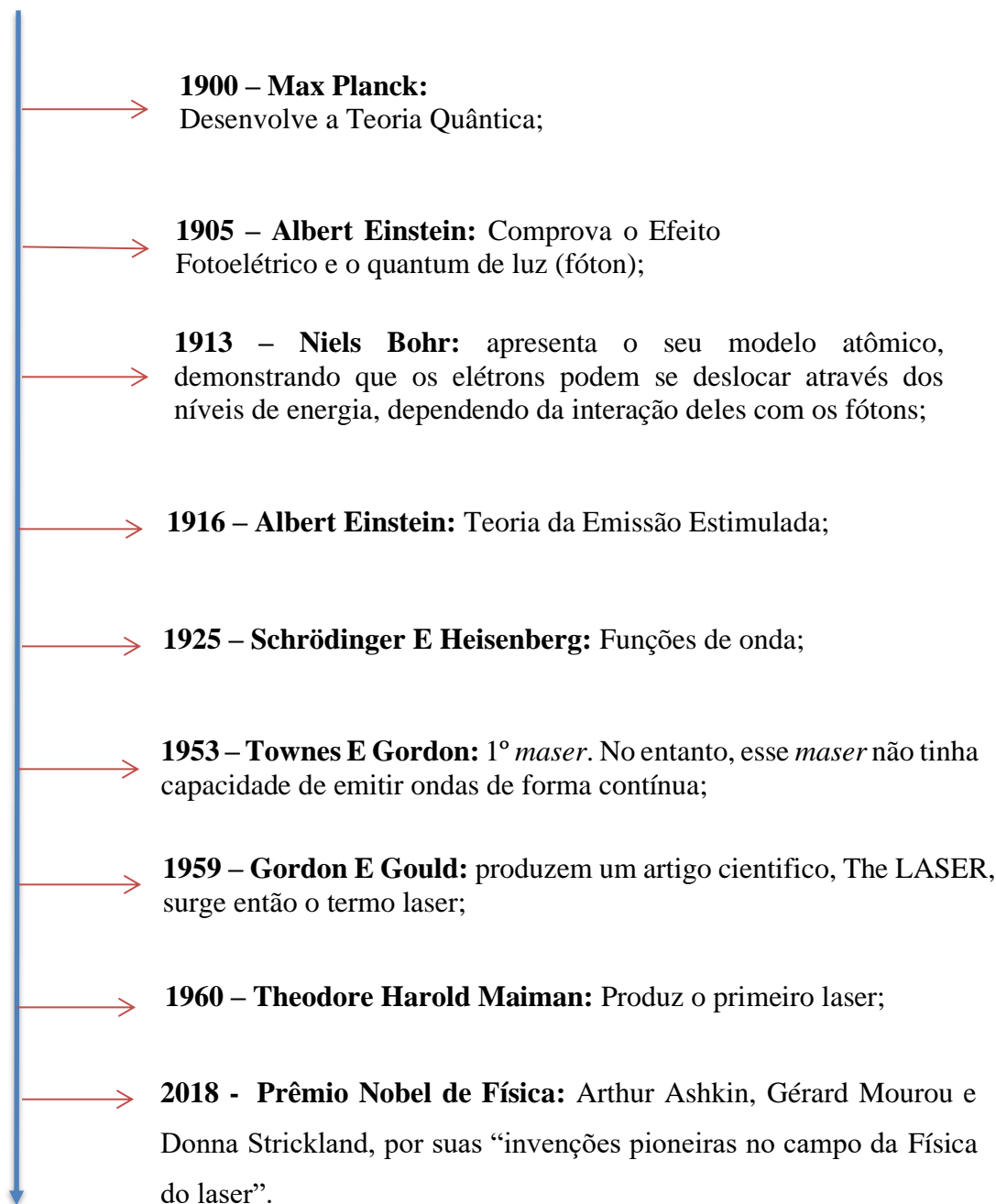
$$v = c \Leftrightarrow m = 0 \text{ e ainda; } E = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow |\vec{q}| = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (15)$$

## 2. Introdução a Lasers

O termo laser é uma sigla inglesa, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, que em português significa “Amplificação da Luz por Emissão

Estimulada de Radiação”. É um tipo especial de radiação eletromagnética visível, cujas aplicações tecnológicas e científicas vem crescendo dia a dia (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017).

No final do século XVIII, foram desenvolvidas pesquisas que contribuíram para a criação dos lasers, bem como mostra a linha do tempo a seguir:



Theodore Maiman, ao apresentar o laser, proporcionou a emissão estimulada de radiação através do bombardeio entre um cristal de rubi sintético com uma lâmpada de flash.

Para entendermos o funcionamento do laser devemos considerar como a radiação interage com a matéria, ou seja, onde elétrons são deslocados de seus orbitais de equilíbrio, e ao retornarem, emitem a energia excedente sob a forma de luz ou raios x característicos.

Conforme as leis do modelo atômico de Bohr, elétrons só podem ocupar níveis bem definidos de energia. Quando um elétron é atingido por um fóton, ele pode mudar do nível de energia  $E_1$  para  $E_2$ .

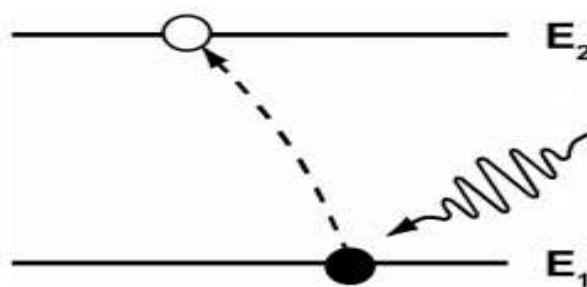


Figura 40: Fóton, representado pela onda-seta, incidindo no elétron. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2016)

No processo de interação podemos distinguir três situações possíveis, que são: absorção, emissão espontânea e emissão estimulada (RENK, 2017).

A figura anterior representa um sistema atômico simples, com apenas dois níveis de energia. Suponha, que um fóton alcance esse sistema atômico e comece a interagir com ele, imaginemos ainda que, a frequência  $f$  associada do fóton seja tal que  $hf = E_2 - E_1$ . Como resultado, obteremos o desaparecimento do fóton, logo, o sistema atômico passará para o seu nível de energia mais alto, no caso, nível  $E_2$ . Denominamos esse processo de absorção.

Estando o sistema atômico, em seu nível mais alto, sem influências externas, ele retornará espontaneamente para o menor nível, isto é, o nível  $E_1$ , emitindo um fóton de energia  $hf = E_2 - E_1$ , como demonstra a figura 8. Note, que não existiu influência externa para que ocorresse a emissão, a este processo, denominamos emissão espontânea (RENK, 2017).

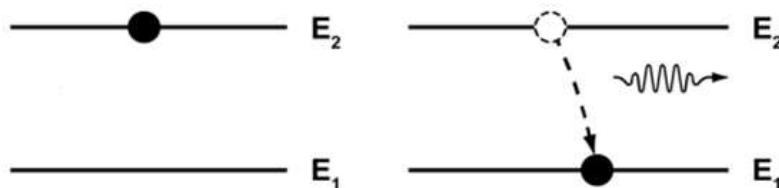


Figura 41: Elétron em seu nível de energia mais alto, após absorver o fóton. Em seguida, cai para o nível de energia menor, emitindo um fóton espontaneamente. Imagem adaptada. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017)

Segundo Maiman, o funcionamento do laser se baseia na ocorrência de transições quânticas nos níveis energéticos de um estado inicial para outro energeticamente superior, aumentando a população dos níveis superiores, que em condições de equilíbrio térmico dado segundo a Lei de Boltzmann níveis inferiores são mais povoados.

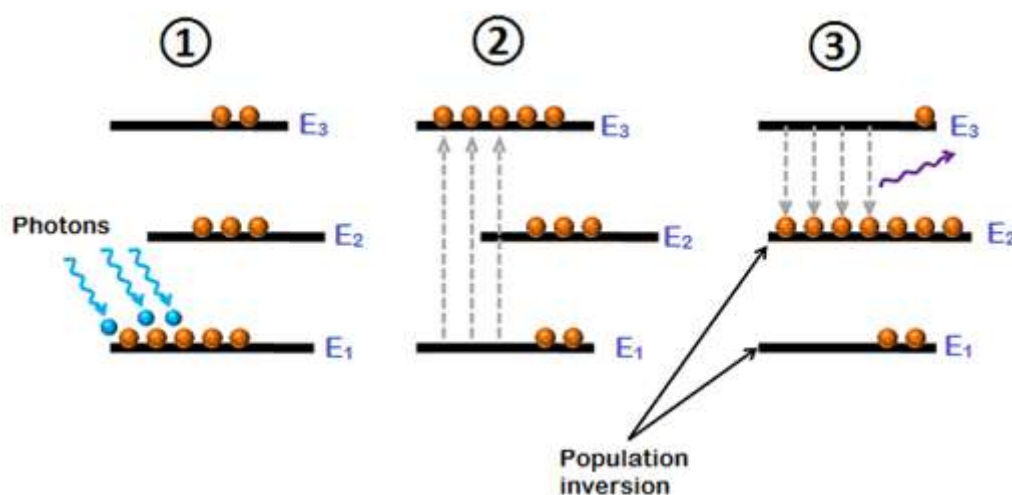


Figura 42: Inversão de população. Fonte: (Physics and Radio-Electronics)

Esse processo é denominado de inversão de população que ocorre com uma emissão estimulada de radiação, isto é, um fóton estimula o elétron de um átomo, tal que o elétron salta para um nível de energia menor, mas ao fazê-lo emite outro fóton idêntico com a mesma frequência, fase, polarização e direção de viagem que o fóton original. Assim a emissão de fóton é estimulada pela ação de outro fóton.

Esse processo é essencial para o funcionamento do laser, que por sua vez, já traz em sua nomenclatura o termo “emissão estimulada”. Para melhor entendimento,

vamos considerar novamente, o nosso sistema atômico simples, de modo que não esteja totalmente isolado, existindo um fóton com frequência  $hf = E_2 - E_1$ .

Esse fóton irá interagir com o nosso sistema, fazendo com que ele desça para o seu estado mais baixo. Agora, teremos a presença de dois fótons e não somente um, como demonstra a figura abaixo. Chamamos este processo de emissão estimulada (RENK, 2017).

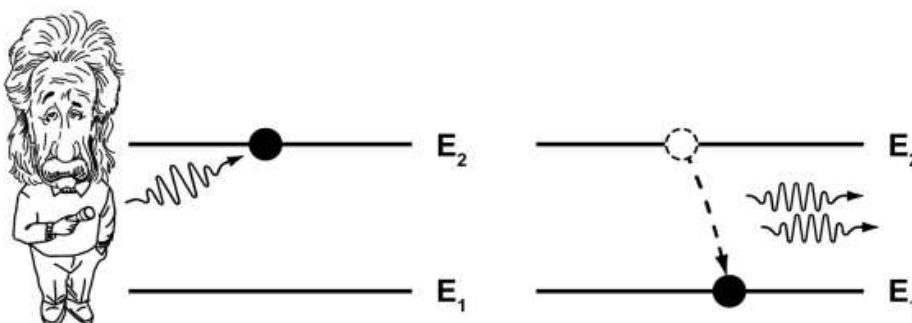


Figura 43: Emissão Estimulada. Fonte: (SILVA NETO; FREIRE JÚNIOR, 2017)

A luz do laser é monocromática, isto é, ela é constituída de radiações que apresentam uma única frequência, de valor bem determinado. Com a luz comum seria muito difícil obter esse grau de monocromaticidade, pois ela se apresenta como uma mistura de radiações de várias frequências.

Sendo também coerente, enquanto um feixe de luz comum é incoerente. Isto é, na luz comum, as cristas e os vales das ondas luminosas se distribuem aleatoriamente uns em relação aos outros, ou seja, estão defasadas entre si, e esta defasagem não permanece constante no decorrer do tempo.

Por outro lado, as diversas radiações que constituem um feixe de laser estão rigorosamente em fase, havendo coincidência entre as cristas e vales. Portanto, dizemos que a luz do laser é coerente.

Além disso, para todo laser, o efeito de difração faz com que as ondas de luz se espalhem transversalmente à medida que se propaga o que impede um feixe perfeitamente colimado, mesmo que esse feixe possua modo de operação nas direções perpendiculares à direção de propagação, isto é, modos transversos eletromagnéticos (RENK, 2017).



Hoje, existe uma variedade de lasers, estes podem ser de estado sólido, líquido, gás e semicondutor. Também são inúmeras as aplicações dos mesmos, principalmente na área da ciência, da tecnologia e em nosso dia a dia.

### **3. Aplicações**

É fato que o avanço tecnológico trouxe várias contribuições para a sociedade e o homem. Mas, sem dúvida, o desenvolvimento do laser, corroborou para o progresso da ciência e em nosso cotidiano, nos fazendo evoluir dos supermercados a descoberta de que a luz pode aprisionar um objeto. Esse último foi um dos maiores avanços, quando falamos de laser, remetendo ao prêmio Nobel de Física em 2018.

Dito isto, citaremos algumas aplicações dessa descoberta, que hoje, é indispensável em nossas vidas, nas ciências e no dia a dia.

- **Indústrias/Comunicações:**
  - 1974 – Utilização do laser a introdução de leitores de códigos de barras, para conferir preços de mercadorias em supermercados;
  - Em telecomunicações, utilizando cabo de fibra ótica, para transportar sinais de TV e telefone;
  - Leitores de CD/DVD presente em notebook ou computadores utilizam laser para ler os arquivos de mídia;
- Na área da medicina, o laser teve muita aplicabilidade, ressaltamos as aplicações no tratamento do coração, na odontologia e nas doenças do HPV;
- Na área da Física e Biologia, mencionamos novamente, a manipulação de objetos por meio da luz; que nesse caso, os primeiros experimentos se deram a partir de organismos vivos;

## Conceitos de Óptica Geométrica

### 1. Reflexão e Refração

Quando a luz passa de um meio homogêneo para o outro, existe uma descontinuidade das propriedades materiais, na interface entre os dois (NUSSENZVEIG, 2002).

Suponhamos que  $\Sigma$  seja a superfície de separação entre dois meios transparentes 1 e 2, e imaginemos um raio de luz incidente no meio 1 sobre um ponto P da interface  $\Sigma$ .

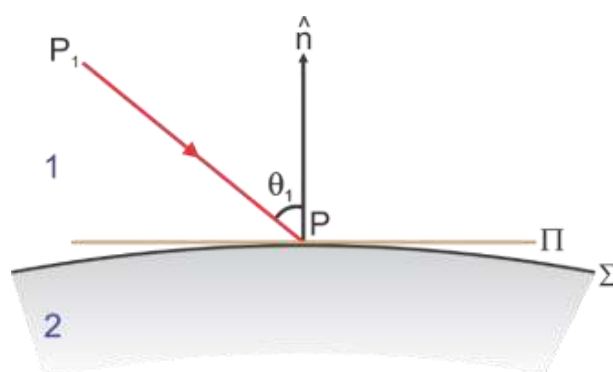


Figura 44: Plano de incidência. Fonte: Autoria própria.

Pela ótica geométrica em que  $\lambda \ll$  raio de curvatura em P,  $\Sigma$  equivale ao nosso plano tangente  $\Pi$ , de modo que os fenômenos ocorram como a interface seja plana. Dito isto, denominamos  $\hat{n}$  o vetor unitário da normal entre  $\Sigma$  e P. O raio incidente  $P_1P$  e a normal  $\hat{n}$ , estão contidos no plano de incidência, formando um ângulo de incidência, o ângulo  $\theta_1$ .

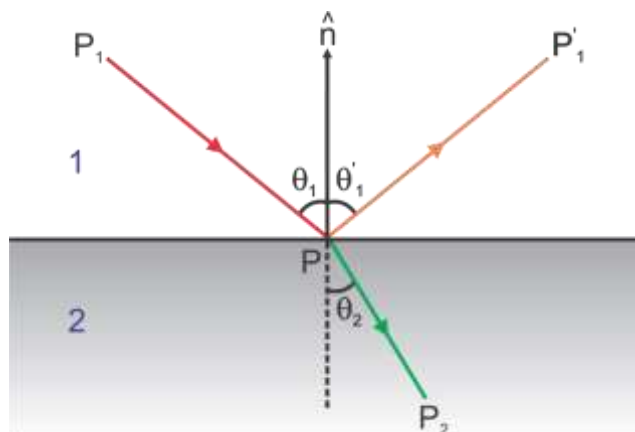


Figura 45: Ângulos de Reflexão e Refração. Fonte: Autoria própria.

Observamos na figura 44 que o raio incidente origina a princípio um raio refletido  $PP_1'$  que volta para o meio 1 formando com a normal o ângulo de reflexão  $\theta_1'$  e a um raio refratado  $PP_2$  transmitido para o meio 2, formando com a direção da normal um ângulo  $\theta_2$  – ângulo de refração.

A lei da reflexão nos diz que:

*O raio refletido pertence ao plano de incidência, e o ângulo de reflexão é igual ao de incidência.*

$$\theta_1' = \theta_1 \quad (16)$$

A lei da refração, descoberta por Willebord Snell – 1621, nos diz que: O raio refratado também permanece no plano de incidência, daí:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = n_{12} \quad (17)$$

onde  $n_{12}$  é o índice de refração do meio 2 relativo ao meio 1.

Se  $n_{12} > 1$ , então, o raio refratado se aproxima da normal. Mas, se  $n_{12} < 1$ , o raio refratado se afasta da normal.

Ressaltamos que a constância do índice de refração relativo é válida para luz monocromática. Assim,  $n_{12}$  varia com a cor, instituindo o fenômeno da dispersão, como ocorre nas experiências de Newton com prismas, a separação das cores.

Em 1657, Pierre de Fermat, encontrou um novo método para determinar a trajetória dos raios luminosos, afirmando que a luz sempre percorrerá a menor distância possível para ir de um ponto ao outro, isto é:

*De todos os cominhos possíveis para ir de um ponto a outro, a luz segue aquele que é percorrido no tempo mínimo.*

O tempo que uma frente de onda luminosa leva para percorrer uma distância  $d$  num meio de índice de refração  $n$

$$t = \frac{d}{v} = \frac{nd}{c} \quad (18)$$

O produto  $nd$  do índice de refração do meio pela distância  $d$  nele percorrida chama-se caminho ótico associado a este percurso. Sendo  $c$  uma constante, o tempo mínimo também é equivalente a caminho ótico mínimo.

Assim a propagação da luz num único meio homogêneo, se  $n = \text{constante}$ , o caminho ótico mínimo também corresponde à distância mínima, ou seja, o Princípio de Fermat remete à propagação retilínea da luz entre dois pontos.

Consideremos agora dois meios homogêneos diferentes, separados por uma interface plana. Qual é o caminho ótico mínimo para ir de  $P_1$  a  $P'_1$ , conforme a figura 45, passando por um ponto da interface?

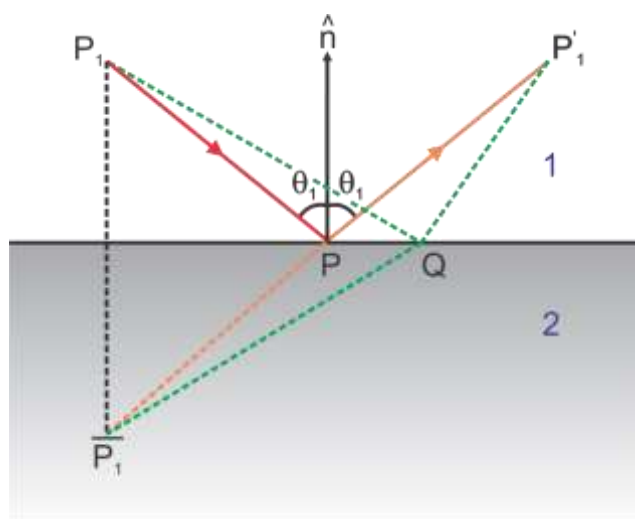


Figura 46: Princípio de Fermat na reflexão. Fonte: Autoria própria.

Como os caminhos mais curtos para ir e voltar da interface são retas, o caminho procurado consiste num par de segmentos de reta, ligando  $P_1$  à interface e a interface  $P'_1$ . Em qual ponto da interface deve passar?

Seja  $\overline{P_1}$  o ponto simétrico de  $P_1$  com relação à interface. O ponto da interface procurado é então a intersecção de  $\overline{P_1P'_1}$  com a interface, na figura 45 vemos o ponto P.

Com efeito, se compararmos o caminho  $P_1PP'_1$  a outro, como  $P_1QP'_1$ , vemos pela figura 45 que  $P_1P = P_1\overline{P}$  e  $P_1Q = \overline{P_1}Q$ , e que o caminho ótico via P equivale ao seguimento de reta  $\overline{P_1P'_1}$ , menor do que o caminho  $\overline{P_1Q} + \overline{QP'_1}$  associado a qualquer outro ponto Q da interface.

Portanto, o Princípio de Fermat leva à lei da reflexão. Vamos mostrar agora que também leva à lei de Snell (figura 46).

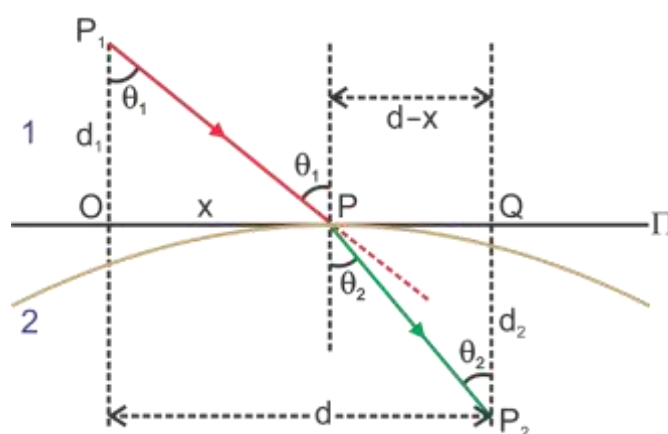


Figura 47: Princípio de Fermat na refração. Fonte: Autoria própria.

Iremos considerar os pontos  $P_1$  e  $P_2$  e buscamos o ponto P da interface que minimiza o caminho ótico  $n_1\overline{P_1P} + n_2\overline{PP_2}$ . Seja  $\Pi$  o plano tangente à interface em P, O e Q as projeções de  $P_1$  e  $P_2$  sobre  $\Pi$  e  $\overline{P_1O} = d_1$ ,  $\overline{P_2Q} = d_2$ ,  $\overline{OQ} = d$  e  $\overline{OP} = x$ , onde queremos determinar  $x$ .

A figura 10 dá

$$([P_1PP_2]) = \text{caminho ótico} \quad (19)$$

$$[P_1PP_2] \equiv n_1\overline{P_1P} + n_2\overline{PP_2} = n_1(d_1^2 + x^2)^{1/2} + n_2(d_2^2 + (d-x)^2)^{1/2} \quad (20)$$

Para obter o mínimo, derivamos em relação a  $x$ :

$$0 = n_1 \cdot \frac{x}{(d_1^2 + x^2)^{1/2}} - n_2 \cdot \frac{(d-x)}{[d_2^2 + (d-x)^2]^{1/2}} = n_1 \cdot \frac{x}{\overline{P_1P}} - n_2 \cdot \frac{(d-x)}{\overline{PP_2}} \quad (21)$$

$$0 = n_2 \sin \theta_1 - n_2 \sin \theta_2 \quad (22)$$

Dessa forma, o caminho ótico mínimo é aquele que condiz à lei da refração. O caminho “quebrado” minimiza o tempo porque aproveita melhor o caminho no meio 1, onde a velocidade é maior, reduzindo-o no meio 2, onde ela é menor.

Dito isto, neste produto educacional, iremos trabalhar os conceitos de fótons, laser, reflexão e refração, utilizando transposição didática do pinçamento óptico com o auxílio do simulador PhET.

### Plano de Aula – 1º Encontro

<b>Professor:</b> Sabrita Cruz da Silva
<b>Nível de Ensino:</b> Médio
<b>Modalidade:</b> Ensino Presencial
<b>Tema:</b> Pinçamento óptico
<b>Título da Aula:</b> Avaliação de conhecimentos prévios e o conceito de pinçamento óptico
<b>Duração Prevista:</b> 80 minutos (duas horas aulas)
<b>Problema:</b> Descobrir se é possível a luz exercer força em objetos a partir de desenhos animados e memes.
<b>Objetivos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Discutir as propriedades da luz com ênfase nos fótons;</li> <li>• Mostrar que o momento linear descrito no universo newtoniano pode ser aplicado para partículas;</li> <li>• Refletir sobre o tipo de força que a luz exerce sobre objetos e visualizar sua ordem de grandeza;</li> </ul>
<b>Metodologia:</b> <p>O primeiro encontro com a turma será dividido em duas aulas de 40 (quarenta) minutos cada. Na primeira delas, será proposta a situação-problema, em nível introdutório, levando-se em conta aspectos mais gerais do fenômeno de pinçamento óptico. Pressupõe-se o seguinte desenvolvimento:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i) Apresentar aos discentes, um episódio do clássico desenho da turma da Mônica que mostra o efeito de pinçamento óptico através das “naves espaciais”</li> </ol>

<https://www.youtube.com/watch?v=tMI6X-3ZP6k> o nome do episódio é “abduzidos”;

- ii) Para que o discente participe de forma mais ativa do processo de ensino aprendizagem, vamos pedir para os alunos realizem uma pesquisa em seu navegador com as seguintes palavras “pessoas abduzidas memes”;
- iii) Investigar a opinião dos alunos sobre elementos constitutivos do desenho e dos memes, especialmente no que diz respeito a propriedades ópticas;
- iv) O desenho e as imagens servirão como organizadores prévios para o ensino do pinçamento óptico, pois mostram, de maneira geral e não inclusiva duas situações em que a pinça óptica é utilizada em contextos artísticos distintos;
- v) O professor pode mediar o processo de resolução da situação-problema, fazendo perguntas acerca da natureza dos materiais apresentados.
- vi) Após 10 (dez) minutos do início da atividade, o professor recolherá o teste para as devidas análises.
- vii) O professor poderá citar algumas respostas dos alunos em sala para instigar alguma discussão, mas sem interferir no debate entre os discentes.
- viii) Em seguida, o professor fará menção às caudas dos cometas, instigando aos alunos se eles sabem de algum “bicho” que anda com o rabo para frente. Após, irá explicar o dito fenômeno.
- ix) Espera-se que, nas atividades realizadas na primeira aula, os estudantes percebam as propriedades da luz, que não é qualquer luz que ocorrerá o pinçamento óptico. Caso este conceito não apareça, ele será indicativo de falhas no subsunçor e no avanço hierárquico da aprendizagem, pressupondo a adoção de estratégias complementares e reorientadoras dos problemas de ensino aprendizagem;

**Recursos didáticos:**

Notebook, smartphones, datashow.

**Verificação da aprendizagem (avaliação):**

Entre a primeira e a segunda aula, o docente fará as devidas análises das atividades entregues pelos discentes, buscando encontrar evidências de que os memes e as historinhas

serviram como organizadores prévios, resgataram ou introduziram os subsunçores necessários para a segunda aula na estrutura cognitiva dos estudantes.

## Plano de Aula – 2º Encontro

**Professor:** Sabrita Cruz da Silva

**Nível de Ensino:** Médio

**Modalidade:** Ensino Presencial

**Tema:** Pinçamento óptico

**Título da Aula:** Fótons

**Duração Prevista:** 50 minutos (uma hora aula)

**Problema:** Especificar o que é luz e as características de sua partícula (fóton).

### Objetivos:

- Entender a natureza da luz;
- Descrever as principais características dos fótons;
- Expor, historicamente, o efeito fotoelétrico na construção do conceito fóton;

### Metodologia:

Esse encontro é formado por uma aula com duração de 50 minutos (50 min). Após uma breve recapitulada da aula anterior, e seguindo a problemática citada na mesma, pressupõe-se o seguinte desenvolvimento:

- O docente irá mostrar duas imagens específicas (meme), que retratam o comportamento da luz, projetada a partir do Datashow.





- ii) Instigar aos alunos a ideia do que é luz, qual seria a relação das duas imagens.
- iii) Será trabalhado o conceito de luz, por meio do vídeo “O que é luz: Onda ou Partícula” (<https://youtu.be/oSUHXeiaQ98>), abordando de maneira prática e sucinta o processo histórico e suas características, resumidamente.
- iv) Apresentar duas novas imagens para introduzir o conceito de fótons e suas características;



- v) Para um melhor entendimento será exposto um vídeo “Como surgem os fótons: as partículas de luz” (<https://youtu.be/6EG2ttCYbrA>). O efeito fotoelétrico também é representado no recurso áudio visual.

**Recursos didáticos:**

Notebook, Datashow;

**Verificação da aprendizagem (avaliação):**

Observar a interação dos alunos no decorrer da aula.

### Plano de Aula – 3º Encontro

<b>Professor:</b> Sabrita Cruz da Silva
<b>Nível de Ensino:</b> Médio
<b>Modalidade:</b> Ensino Presencial
<b>Tema:</b> Pinçamento óptico
<b>Título da Aula:</b> Apresentação do simulador PhET e Características da luz laser.
<b>Duração Prevista:</b> 80 minutos (duas horas aulas)
<b>Problema:</b> Analisar os fenômenos físicos que ocorrem na simulação.
<p><b>Objetivos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreender a importância de utilizar o simulador PhET.</li> <li>• Conhecer e relacionar cada fenômeno físico presente no pinçamento óptico.</li> <li>• Manusear a simulação.</li> <li>• Discutir as características da luz laser.</li> </ul>
<p><b>Metodologia:</b></p> <p>Este encontro será dividido em duas aulas de 40 minutos (40 min) cada. Após uma retomada da aula anterior, o professor irá expor a simulação PhET e as principais características da luz laser. Pressupõe-se o seguinte desenvolvimento:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i) Por meio de projeção multimídia (slides), o docente desenvolverá a aula abordando a importância da tecnologia na área de física e algumas de suas aplicações e como surgiu a ideia do pinçamento óptico através do vídeo “Pinça de luz: a luz movimentando matéria” (<a href="https://youtu.be/FOI51N07ixs">https://youtu.be/FOI51N07ixs</a>);</li> <li>ii) Apresentará a plataforma PhET, manuseando a simulação em questão (pinçamento óptico);</li> <li>iii) Mencionará as características do laser e seu funcionamento, a partir de dois vídeos (<a href="https://youtu.be/TX4Hyp3TWqQ">https://youtu.be/TX4Hyp3TWqQ</a>, <a href="https://youtu.be/y3SBSbsdiYg">https://youtu.be/y3SBSbsdiYg</a>) e da microesfera, para que ocorra o fenômeno que estamos estudando;</li> <li>iv) Investigar a opinião dos discentes se é possível analisar o fenômeno de maneira real;</li> </ol>

- v) Com o auxílio de uma lâmpada, um laser a caneta e uma bolinha de PingPong, o professor irá propor aos alunos que tentem fazer a bolinha “flutuar”, conforme observaram na simulação;
- vi) Instigar aos alunos do porquê o pequeno experimento não ter funcionado como durante a simulação.
- vii) Neste momento, é ideal que o docente retrate aos alunos que na física, assim como utilizamos o nosso olho para enxergar, fazemos uso dos experimentos para comprovar as teorias físicas, como o nosso segundo olho. Por não ter recursos suficientes para montar o aparato, a fim de perceber o fenômeno estudado, estamos trabalhando com a simulação.

**Recursos didáticos:**

Data show, notebook, laser a caneta, lâmpada, bolinha de PingPong;

**Verificação da aprendizagem (avaliação):**

Observar a interação dos alunos no decorrer da aula.

## Plano de Aula – 4º Encontro

<b>Professor:</b> Sabrita Cruz da Silva
<b>Nível de Ensino:</b> Médio
<b>Modalidade:</b> Ensino Presencial
<b>Tema:</b> Pinçamento óptico
<b>Título da Aula:</b> Refração e Reflexão
<b>Duração Prevista:</b> 80 minutos (duas horas aulas)
<b>Problema:</b> Identificar Refração e Reflexão da luz na pinça óptica.
<b>Objetivos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreender os conceitos de refração e reflexão da luz;</li> </ul>
<b>Metodologia:</b> <p>Esse encontro é formado por duas aulas, cada uma com duração de 40 minutos (40 min). Após uma retomada da aula anterior, o professor irá expor os conteúdos referente a reflexão e refração da luz. Pressupõe-se o seguinte desenvolvimento:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i) O docente irá apresentar uma poesia diante da turma (poderá ser lida por algum aluno para que eles participem de forma ativa da aula) – Poesia: Ismália, de Alphonsus de Guimaraens, com enfoque nos primeiros versos da poesia.</li> <li>ii) Em seguida, o professor apresentará um fato comum da região, onde as pessoas colocam sacos plásticos com água, dependurados em suas casas, a fim de espantar moscas.</li> <li>iii) Após, em uma roda de conversa, o docente recolherá as opiniões dos alunos referentes as problemáticas apresentadas.</li> <li>iv) O docente irá expor o conteúdo de reflexão da luz por meio de multimídia (slides).</li> <li>v) O segundo momento da aula, o professor dividirá a turma em dois grupos, para fazer um pequeno experimento, nome: Onde está o dinheiro?</li> <li>vi) Em roda de conversa com a turma, o docente irá pedir que a turma expresse o que foi observado durante o experimento.</li> <li>vii) O docente explanará o conteúdo de refração da luz por meio de multimídia.</li> </ol>

viii) Em um último momento da aula, o docente pedirá que os alunos identifiquem os fenômenos estudados no pinçamento óptico, no decorrer da simulação Pinças Ópticas.
<b>Recursos didáticos:</b> Datashow, notebook, copo descartável, moeda...
<b>Verificação da aprendizagem (avaliação):</b> Observar a interação dos alunos no decorrer da aula.

### Plano de Aula – 5º Encontro

<b>Professor:</b> Sabrita Cruz da Silva
<b>Nível de Ensino:</b> Médio
<b>Modalidade:</b> Ensino Presencial
<b>Tema:</b> Pinçamento óptico
<b>Título da Aula:</b> Fazer o experimento no PhET e aplicar o questionário.
<b>Duração Prevista:</b> 80 minutos (duas horas aulas)
<b>Problema:</b> Avaliar, de maneira geral, a compreensão do fenômeno pinçamento óptico, utilizando o simulador PhET como recurso didático.
<b>Objetivos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar a simulação e questionário;</li> </ul>
<b>Metodologia:</b> <p>Este último encontro é formado por duas aulas, cada uma com 40 minutos (40 min). Após uma explanação geral dos conceitos trabalhados nos encontros anteriores, pressupõe-se o seguinte desenvolvimento:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i) O docente dividirá a turma em dois grupos, cada grupo formado por 4 (quatro) alunos;</li> <li>ii) Cada grupo irá manusear a simulação (nesse momento o professor irá mediar apenas as dúvidas referente ao uso dos computadores) e observando o fenômeno pinçamento óptico, irá detalhar de maneira discursiva e individual, cada processo que ocorre durante a simulação, a fim de identificar os conceitos estudados nos encontros anteriores.</li> </ol>

- |                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| iii) Finalizando, será aplicado um questionário (Etapa 5), que os alunos deverão responder individualmente. Também deverão discorrer uma pequena síntese sobre o manuseio da simulação. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

<b>Recursos didáticos:</b>
----------------------------

Datashow, notebook...
-----------------------

<b>Verificação da aprendizagem (avaliação):</b>
-------------------------------------------------

A partir das respostas obtidas no questionário.
-------------------------------------------------

## Apêndice B –Tutorial da Simulação PhET Pinças Ópticas

### MANUSEANDO O SIMULADOR PhET (PINÇA ÓPTICAS E SUAS APLICAÇÕES)

O PhET oferece simulações de ciência e matemática divertidas, gratuitas, interativas e baseadas em pesquisa. As simulações são escritas em HTML5 (com algumas simulações legadas em Java ou Flash), podendo ser executadas online ou baixadas em seu computador. Esta seção, dedicou-se a descrever um pequeno tutorial de acesso e manuseio da simulação descrita no PhET, pinça óptica.

#### 1. Passo: acessando o site (plataforma)

Entrar no site [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/), você será redirecionado a seguinte página:



Figura 48 - Plataforma PhET. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.]

Em seguida, irá clicar no círculo rosa “Física”, onde irá aparecer as simulações referentes aos conceitos físicos existentes no simulador PhET.

## 2. Passo: acessando simulações na área de Física

Após clicar no ícone “Física”, aparecerá na tela, algumas simulações na área de Física, como demonstra a Figura 49.

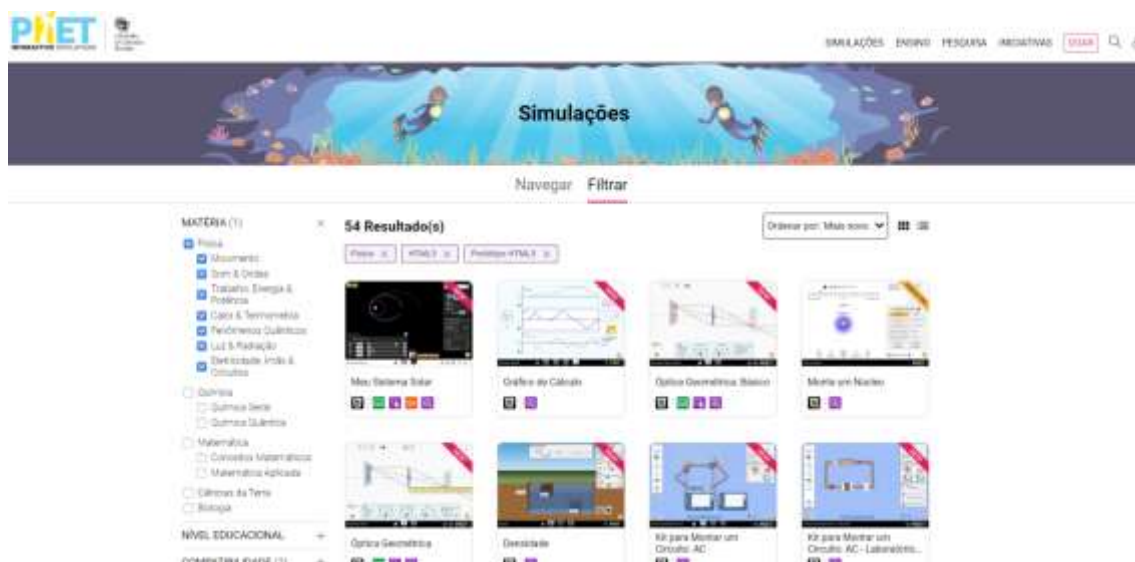


Figura 49 - Simulações na área de Física, descritas no simulador PhET. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.]

Para que encontre e acesse a simulação Pinças Ópticas de maneira mais rápida, você irá filtrar marcando ou desmarcando os conceitos da Física, nível educacional e compatibilidade, como demonstra as imagens abaixo.



The screenshot shows the PhET website interface. At the top, there are navigation links: SIMULAÇÕES, ENSINO, PESQUISA, INICIATIVAS, and DOAR. Below this is a banner for 'Simulações' with an underwater scene. The main content area is titled 'Navegar Filtrar' and shows a search result for 'Luz e Radiação'. The left sidebar has a 'MATERIA (1)' section with 'Física' selected, and 'Luz & Radiação' checked under it. The main area shows 22 results, with filters for 'Luz & Radiação', 'Universidade', 'HTML5', 'Protótipo HTML5', 'Java via CheerpJ', 'Java', and 'Flash'. Several simulation thumbnails are visible, including 'Alongamento DNA' and 'Decaimento Alfa'.

Figura 50 - Demonstração de como encontrar a simulação Pinças Ópticas, deixar marcado somente o item “Luz e Radiação”. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.]

Na compatibilidade, você poderá marcar todos os itens, nenhum item ou somente o item “JAVA”, que ainda assim, aparecerá a simulação em questão.

The screenshot shows the PhET website interface with search filters applied. The left sidebar has 'NÍVEL EDUCACIONAL (1)' with 'Universidade' selected, and 'COMPATIBILIDADE (7)' with 'HTML5', 'Protótipo HTML5', 'Java via CheerpJ', 'Java', and 'Flash' all selected. The main area shows a grid of simulation thumbnails, including 'Efeito Fotoelétrico', 'Espectro de Corpo Negro', 'Fusão Nuclear', 'Fótons Confinados', 'Interferência de Onda', 'Fritadeira Quântica', 'IRM Simples', 'Insulinas Carga', 'Lasers', 'Lâmpadas de néon e outros lâmpadas de...', 'Micro-ondas', 'Modelo do Átomo de Bohr', 'Moléculas e Luz', 'Moléculas Moleculares', 'Ondas de Rádio e Campos Eletromagnéticos', and 'Pinças Ópticas e Aplicações'.

Figura 51 - No item "Nível Educacional", deixar marcado o critério "Universidade". Já no item "Compatibilidade", pode-se marcar todas as opções, ou somente o "Java". Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.]

Após isto, clique na simulação “Pinças Ópticas e aplicações”.

### 3. Passo: acessando a simulação Pinças Ópticas e suas Aplicações

Você poderá acessar a simulação online ou baixar em seu computador, como o próprio site orienta.

Conforme descrito na imagem abaixo, tem a seta em lilás para fazer o Dowland da simulação e, clicando em play na simulação, terá duas opções.



Figura 52 - Simulação Pinças Ópticas e suas aplicações. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.]

A primeira opção é acessar a simulação online. Já a segunda é fazer o download, como podemos observar na imagem abaixo.

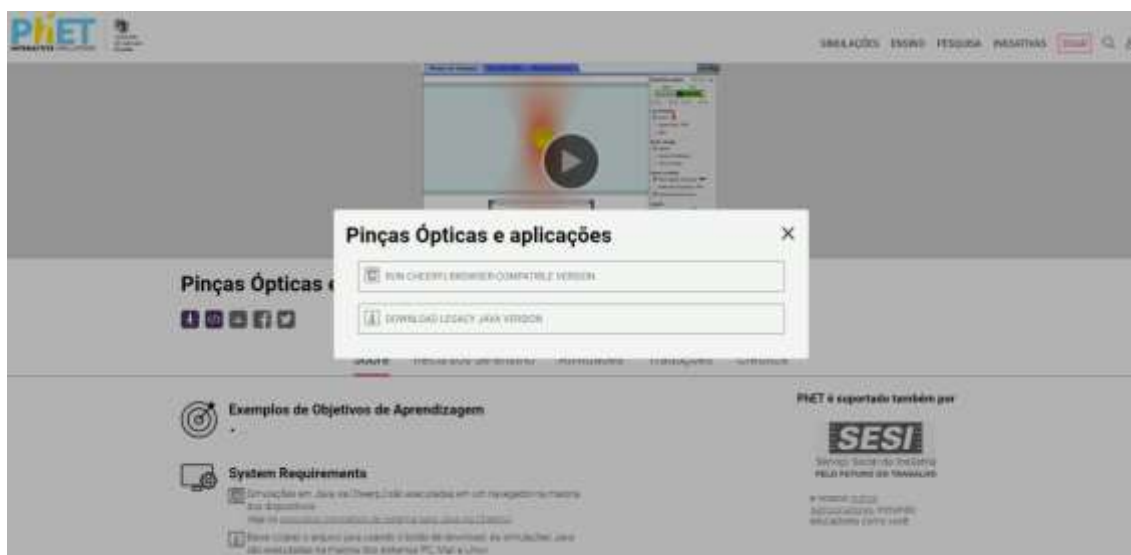


Figura 53 - A plataforma disponibiliza a opção de download e acesso online da simulação. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.]

Se decidir acessar a simulação online, será redirecionado para as páginas abaixo, que dará início a simulação.

Cheerp2 runtime ready



Figura 54 - Acesso a simulação Pinças Ópticas. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.]



Figura 55 - Iniciando a simulação Pinças Ópticas. Fonte: (“PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis”, [s.d.]

Caso deseje fazer o download, clique em “download”, aguarde baixar. Ao término, verifique onde o arquivo se encontra em seu computador, o mais provável é que esteja na pasta “Download”.

#### **4. Passo: manuseando a simulação**

Como você poderá observar, na simulação tem a microesfera, a objetiva e um LASER focalizado através da objetiva. Com o mouse, pode aumentar e diminuir a potência do LASER e conforme isto ocorre, observará a microesfera no centro do feixe ou fora. Ao clicar em play, poderá pausar ou não a simulação, para uma melhor observação do fenômeno.

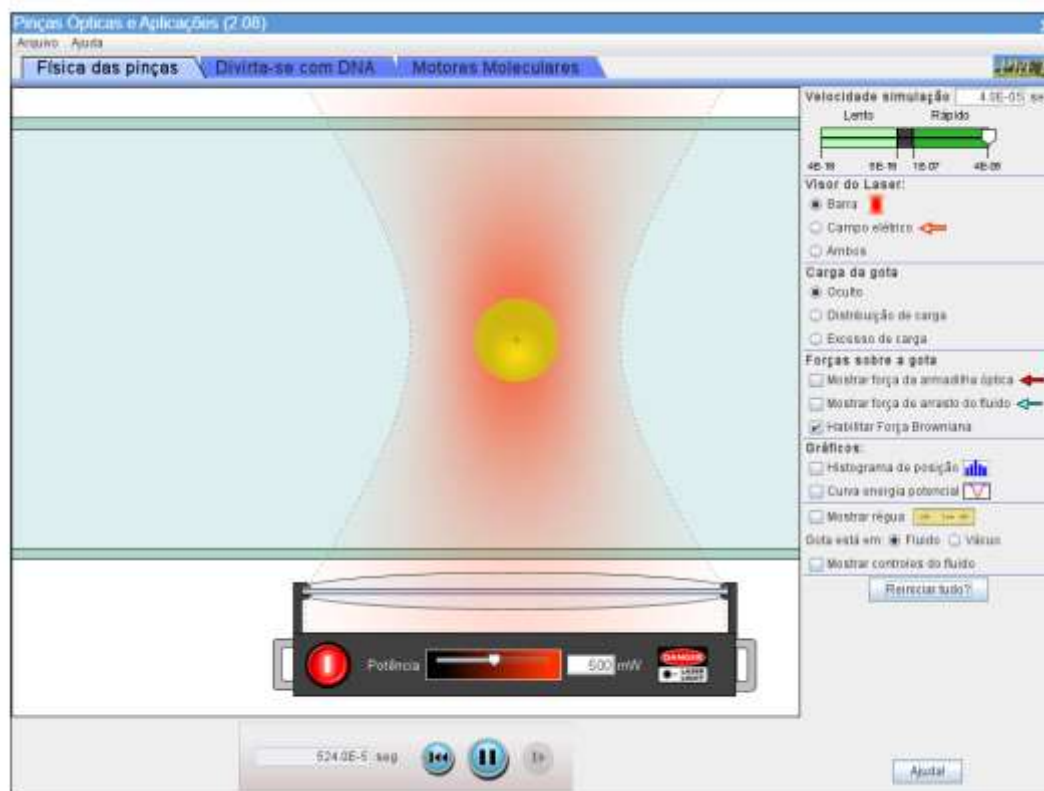


Figura 56 - Simulação já aberta no computador para o manuseio. Fonte: ("PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis", [s.d.]

Com o mouse, você pode também deixar a simulação a seu critério, bem como demonstrar as forças atuando sobre a microesfera, diminuir ou aumentar a velocidade da simulação etc. marcando ou desmarcando a opção desejada, no lado direito da simulação.

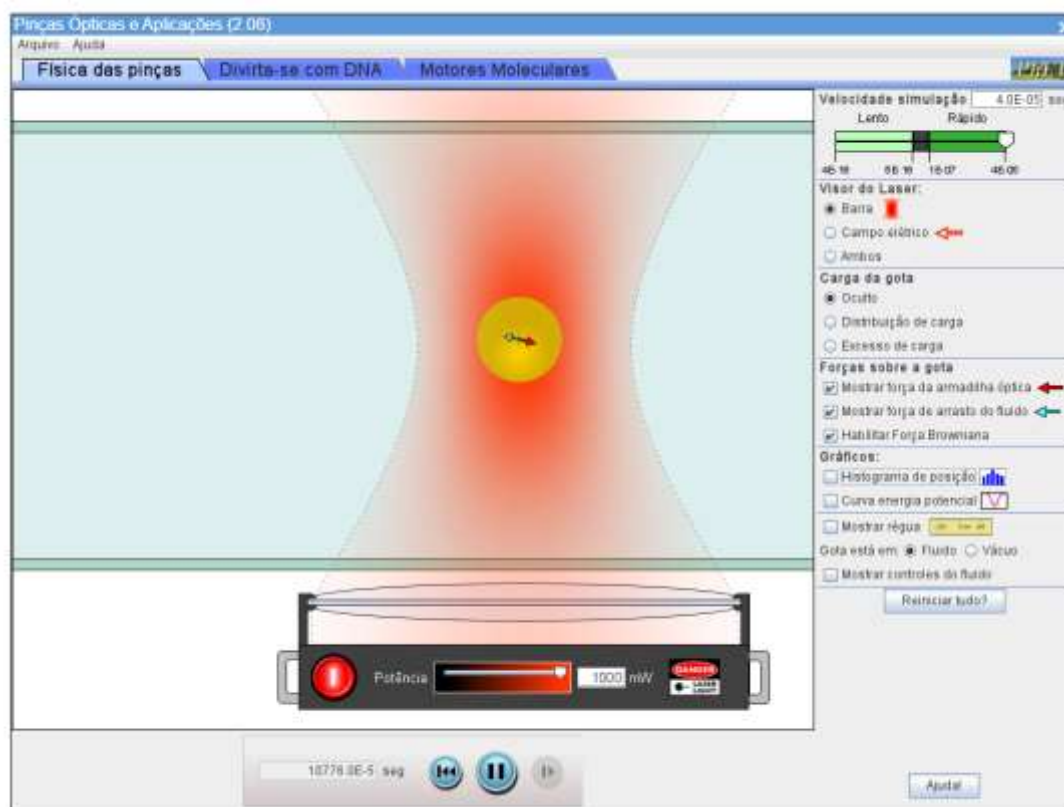


Figura 57 - Demonstração do uso da simulação, bem como a possibilidade de observar as forças que atuam na microesfera. Fonte: ("PhET: Simulações em física, química, biologia, ciências da terra e matemática online e grátis", [s.d.]

## Apêndice C – Formulário para apresentação de mestrandos no local de pesquisa

## Apêndice D - Termo de assentimento do menor

## Apêndice E - Artigos Publicados

Neste apêndice apresentamos os artigos publicados durante o período de mestrado do autor desta dissertação, sob orientação do professor Carlos Henrique Moreira Lima: (março de 2020 a julho de 2023).

### Artigo Publicado com proposta não relacionada com a dissertação

- Artigo Publicado no Caderno de Física UEFS

CADERNO DE FÍSICA DA UEFS 18 (02): 2501.1-7 2020

#### A “VIRALIZAÇÃO” DA VASSOURA EM PÉ NAS REDES SOCIAIS: UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DE EQUILÍBRIO ESTÁTICO E GRAVITAÇÃO

*THE “VIRALIZATION” OF THE BROOM STANDING ON SOCIAL MEDIA: AN ALTERNATIVE FOR TEACHING STATIC EQUILIBRIUM AND GRAVITATION*

<sup>1</sup> Carlos Henrique Moreira Lima, <sup>2</sup> Job Saraiva Furtado Neto, <sup>3</sup> Sabrita Cruz da Silva

<sup>1</sup> Universidade Federal do Acre, Doutor, [chenrique.chml@gmail.com](mailto:chenrique.chml@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Cariri, Doutor, [job.furtado@fis.ufal.br](mailto:job.furtado@fis.ufal.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Acre, Mestranda, [sabrita.silva@gmail.com](mailto:sabrita.silva@gmail.com)

### Artigo Publicado com proposta relacionada com a dissertação

- Artigo Publicado no Caderno de Física UEFS

CADERNO DE FÍSICA DA UEFS 20 (01): 1502.1-14 2022

#### UMA ALTERNATIVA DE EXPERIMENTO VIRTUAL PARA O ENSINO REMOTO UTILIZANDO SIMULAÇÃO PHET DE PINÇAMENTO ÓPTICO

*A VIRTUAL EXPERIMENT ALTERNATIVE FOR REMOTE TEACHING USING OPTICAL PINCHING PHET SIMULATION*

André Flávio Gonçalves Silva<sup>1</sup>, Sabrita Cruz da Silva<sup>2</sup>, Carlos Henrique Moreira Lima<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão – Centro de Ciências, Educação e Linguagens, e-mail: [andre.flavio@ufma.br](mailto:andre.flavio@ufma.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Acre – Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, e-mail: [sabrita.silva@sou.ufac.br](mailto:sabrita.silva@sou.ufac.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Acre – Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, e-mail: [carlos.lima@ufac.br](mailto:carlos.lima@ufac.br)