



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM**  
**INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS – IFAM**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL**  
**EM ENSINO DE FÍSICA**

**PRODUTO EDUCACIONAL**

**FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM DO EFEITO**  
**FOTOELÉTRICO COM A METODOLOGIA SIMULADA EM PLATAFORMA**  
**DIGITAL**

José Estanislau Sant’Anna de Souza  
Dra. Rita de Cassia Mota Teixeira de Oliveira

Manaus  
2022

## FICHA TÉCNICA

### AUTORES

JOSÉ ESTANISLAU SANT'ANNA DE SOUZA – [estanys17@gmail.com](mailto:estanys17@gmail.com)

### ORIENTADORA

Dr(a). RITA DE CÁSSIA MOTA T. DE OLIVEIRA- [rcmota@ufam.edu.br](mailto:rcmota@ufam.edu.br)

### TÍTULO

Produto Educacional que acompanha a Dissertação: Física Moderna para o Ensino Médio: Uma Abordagem do Efeito Fotoelétrico com a Metodologia Simulada em Plataforma Digital. Apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Física do INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS – IFAM e da UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física, tendo como linha de pesquisa: Física Moderna, presente no Ensino Médio sob a orientação da Profa. Dra. Rita de Cássia Mota Teixeira de Oliveira.

### Colaboradores

Dra. Rita de Oliveira - Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Instituto Federal do Amazonas - IFAM

Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – POLO 04

Sociedade Brasileira de Física (SBF)

## **SOBRE OS AUTORES**



### **JOSÉ ESTANISLAU SANT'ANNA DE SOUZA**

Mestrando pelo Programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, do Instituto Federal do Amazonas e Universidade Federal do Amazonas MNPEF- IFAM/UFAM, com pesquisa em Física Moderna, presente no Ensino Médio. Possui Licenciatura Plena em Física pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Especialista em Nanotecnologia Digital pela Universidade Federal do Amazonas. Docente do quadro permanente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro – Departamento de Física.



### **RITA DE CÁSSIA MOTA T. DE OLIVEIRA**

Bacharelado em Física pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Mestrado em Física pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Doutorado em Física pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Atua como vice coordenadora do MNPEF - UFAM/IFAM e como professora permanente na Universidade Federal Do Amazonas (UFAM) e tem experiência na área de Física, com ênfase em Simulação Computacional.

Figura 1 - Desenvolvimento do pensamento construtivo para o contemporâneo do ensino, evoluindo com sua fundamentação - Jerome Brune .....	15
Figura 2 - Simbologia do Diodo de luz. ....	16
Figura 3 - Material a ser utilizado neste processo. ....	18
Figura 4 - Posicionamento dos led's na placa.....	18
Figura 5 - Led's montados na placa. ....	18
Figura 6 - Tipos de LED's que existe para uso.....	19
Figura 7 - Posicionamento do led na placa.....	19
Figura 8 - Esquema de montagem para calcular a constante de Planck. ....	25
Figura 9 – Visão frontal do PLX-DAQ. ....	27
Figura 10 - Janela do PLX-DAQ.....	27
Figura 11 - Dados apresentados pelo PLX-DAQ. ....	28
Figura 12 - Posicionamento do LDR e o LED, sendo medido com a régua. ....	31
Figura A1 William Herschel ao lado do seu Experimento. ....	40
Figura A2 Representação de um CN onde a radiação externa à cavidade e que penetra pelo Orifício é absorvido nas paredes internas (M.M.M, C.S., D. G. M., & V. C. , 2014).....	41
Figura A3 A largura da seta são proporcionais às quantidades envolvidas. parcela refletida pelo corpo quente é maior que refletida pelo corpo frio - compensação.....	42
Figura B1 - Placa de Arduino Uno. ....	68
Figura B2 - Página oficial do Arduino.....	70
Figura B3 - Neste você deve instalar o ide do Arduino. ....	70
Figura A4 - Instale o IDE do Arduino.....	70
Figura A5 - a instalação de IDE do Arduino. ....	71
Figura B6 - Sequência para instalação do Arduino.....	71
Figura B7 - Aceitando a Licença de uso. ....	71
Figura B8 - Seleção dos componentes.....	72
Figura B9 – Parte de Instalação do Programa. ....	72
Figura B10 - Liberação de alguns "software". ....	72
Figura B11 - Barra de Instalação Concluída.....	73
Figura B12 - Interface do IDE do Arduino.....	73
Figura B13 - Mostra da declaração de uma variável.....	74
Figura B14 - Atribuindo o valor de uma variável.....	75
Figura B15 - Funções "void setup" e "void loop". ....	76
Figura B16 - Página principal para baixar o arquivo e instala-lo.....	77
Figura B17 - Aplicativo que armazenou o "software". ....	77
Figura B18 - fazendo a instalação do plx daq.....	78
Figura B19 - Selecionando os arquivos desejados. ....	78
Figura B20 - Aplicando o processo de armazenamento dos arquivos.....	79
Figura B21 - Nesta imagem você pode ver o processo de instalação.....	79
Figura B22 - Sequência de instalação. ....	80
Figura B23 - Configuração e preenchimento de dados.....	80
Figura B24 - Escolha da quantidade do software, completa ou não. ....	81
Figura B25 - Processo de Instalação concluída.....	81
Figura B26 - Interface do "PLX-DAQ".....	82

### **Lista de Equações**

Equação 1 - Energia de um Diodo usando a Equação de Planck. ....	17
Equação 2 - Energia Mínima. ....	17
Equação 3 - Equação de Planck do Efeito Fotoelétrico. ....	17
Equação 4 - Energia Cinética igual a Energia Potencial. ....	23
Equação 5 - Equação do Efeito Fotoelétrico. ....	24
Equação 6 Equação do potencial elétrico, extraído da equação do Efeito Fotoelétrico. ....	29

### **Lista de Tabelas**

Tabela 1 Substituição de unidade adimensional para encontrarmos os expoentes referentes. ....	49
Tabela 2 Distribuição dos expoentes que correspondem a cada componente da equação sugerida. ....	49
Tabela 3 Valores de função trabalho para alguns elementos. ....	66

### **Lista de quadro**

Quadro 1 – Procedimentos abordados e quantidades de aulas ministradas. ....	13
Quadro 2 - Procedimentos metodológicos. ....	30
Quadro 3 - Distribuição de material e utilização. ....	30
Quadro 4 - Registro das distâncias entre LDR e LED. ....	32

## Sumário

<b>PROPOSTA DIDÁTICA</b> .....	10
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	11
<b>COMPETÊNCIAS</b> .....	11
<b>HABILIDADES</b> .....	11
<b>CONTEÚDOS</b> .....	12
<b>RECURSOS ESTRUTURAIS</b> .....	13
<b>METODOLOGIA</b> .....	14
<b>CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO</b> .....	16
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35
<b>APÊNDICE A: Apresentação à Física Moderna</b> .....	37
A.1 Inspeção da literatura .....	37
A.2 Contexto histórico.....	37
A.3 A constante de Planck e a origem da Física Moderna.....	38
A.4 O que é radiação térmica?.....	39
A.5 A Lei de Stefan-Boltzmann .....	53
A.6 Radiância Espectral.....	53
A.7 A Lei de deslocamento de Wien.....	54
A.8 Procedimento de Planck.....	55
A.9 Lei de Wien.....	57
A.9 Determinação de Planck .....	58
A.11 Lei de Planck.....	59
A.12 Aplicação: radiação cósmica de fundo .....	60
A.13 Efeito Fotoelétrico .....	60
<b>APÊNDICE B - Arduino</b> .....	68
B.1 Placa Arduino UNO .....	68
B.2 “Softwares” para o desenvolvimento na plataforma do Arduino .....	69
B.3 Ambiente de desenvolvimento (IDE) .....	69
B.4 Compreendendo a programação do Arduino .....	73
B.5 PLX-DAQ Spreadsheet.....	76
B.6 Google Drive.....	82
B.7 Google forms.....	82
B.8 Tinkercad.....	83

## APRESENTAÇÃO

### PREZADO(A) PROFESSOR(A)

Diante das dificuldades apresentadas em período de pandemia do Covid-19, apresentamos um material que pode ser tanto usado tanto no ensino presencial, quanto no ensino remoto. Tal material se baseia nos estudos do teórico Jerome Bruner, que considera que o aluno pode apresentar o desenvolvimento intelectual baseando-se numa interação sistemática e contingente, amplamente equipada com técnicas anteriormente inventadas, ensina ao aluno.

Na sequência de ensino e aprendizagem de Bruner – onde a organização das matérias de ensino, sequenciação de apresentação das matérias e motivação como a predisposição para aprender – o objeto é a evolução no desenvolvimento cognitivo que decorre das informações pertinentes à finalidade de codificar a experiência. Dessa forma, propomos um Produto Educacional destinado à atividade prática, baseado na leitura e pesquisa, com o objetivo de apresentar e compreender os conceitos de Física sobre o Efeito Fotoelétrico.

Este Produto Educacional foi elaborado de forma a tentar compreender, diagnosticar e avaliar de forma organizada o conteúdo abordado, levando em consideração o processo tecnológico atualmente utilizado, devido à pandemia de Covid-19, e fortalecendo o processo de entendimento das transmissões via *internet*, vislumbrando atingir um grande percentual de professores, principalmente do Estado do Amazonas, onde as distâncias são bastante significativas.

A seguir apresentaremos uma proposta de sequência didática, cuja elaboração do material foi feita objetivando o aprendizado significativo do Efeito Fotoelétrico. Esperamos que tal material possa auxiliar de alguma forma os professores no processo de ensino-aprendizagem em sala de aula.

José Estanislau Sant'Anna de Souza  
Rita de Cássia Mota Teixeira de Oliveira

## INTRODUÇÃO

Os conceitos da Física Moderna quando surpreendem e revolucionavam a Ciência, principalmente quando introduzimos seus conceitos no Ensino Médio, os manuais limitavam-se à divisão clássica da Física em Mecânica, Física Térmica, Ondas, Óptica e eletromagnética. Atualmente encontra-se com frequência, tópicos relacionados a física moderna em livros destinados ao ensino da Física.

A consolidação da Física Moderna, final do século XIX, revolucionou a forma de interpretar o mundo físico, formando assim as bases teóricas da Relatividade e da Física Quântica.

Os tópicos de Física Moderna no ensino médio, sugerem conteúdos específicos no currículo do Ensino Médio, as preocupações estavam relacionado à própria agregação destes conteúdos no Ensino e, uma outra, frisava a necessidade destes conteúdos serem “apresentados sob um ponto de vista mais moderno” (TERRAZZAN, 1992).

A construção humana da formação e do ensino, surge reflexões sobre o nível no tratamento matemático na Física Clássica. Conhecer o problema, remete à contribuição que propiciará aos profissionais carentes de formação e informação.

Com base na Lei de Diretrizes e Base da Educação (LDB, 1996) complementa o aprendizado e o desenvolvimento do discente, quando iniciado no ensino fundamental, passa para todos e não apenas para aqueles que continuarão seus estudos nas universidades. Nestes termos, uma proposta para o ensino de Física Moderna com o tema Efeito Fotoelétrico.

A visão que expressam um argumento de participação de um indivíduo, pressupõe-se a compreensão em Ciência, as habilidades de ensino favorecem o ensino que podem contribuir com satisfação na realização de tarefas e a capacidade de aprender a partir de manuais técnicos.

Para que haja um bom desenvolvimento no ensino de Física Moderna aos conhecimentos, habilidades e valores, possam apresentar um potencial que aumente a capacidade dos jovens de interferir na criatividade no mundo.

E neste trabalho, são consideradas alternativas para a realização de nossas atividades, considerando o Ensino híbrido, que é a combinação do aprendizado *on-line* com o *off-line*, essa metodologia apresenta um modelo que mescla momentos, de maneira virtual, ou não.

A parte presencial, necessariamente com uso da tecnologia, o professor ou tutor se torna o responsável por propor atividades que valorizem a interação interpessoais, propondo trabalhos que envolvam toda a turma ou pode dividir em grupos menores para realizarem projetos.

Com relação ao ensino administrado com o auxílio de recursos digitais, permitindo que

o discente tenha controle sobre onde, como, o que é com quem vai estudar, os dispositivos móveis, como *tablets* e celulares facilitam a utilização em diferentes ambientes, criando um leque de possibilidades sobre esse tema, podendo ser desenvolvido em sala de aula, biblioteca, laboratório de informática ou em casa.

Em momentos diferentes, o *on-line* e o presencial, o objetivo de aprendizado híbrido é que esses dois momentos sejam complementares e promovem uma educação mais eficiente, interessada e personalizada. As instituições de ensino podem categorizar as formas como ele vem se manifestando as opções de apresentar essa metodologia do aprendizado.

## **DESENVOLVIMENTO**

As ideias da Física Moderna puderam abrir diversas possibilidades, e agir na maneira de pensar, não apenas na Física, ou em Química, mas também em outros aspectos tecnologia de comunicação. A variedade de dispositivos eletrônicos, hoje sendo indispensáveis pela maioria das pessoas, tendo como base na Física Moderna, mais precisamente na Mecânica quântica.

Por se tratar de fenômenos no dia-a-dia, mas também de princípios que podem não se encaixar em suas ideias sobre física, as transformações pelas quais a humanidade gerou no século XX, dando consequências profundas na sociedade, tornando necessária a adequação do sistema educacional. As novas metodologias de educação devem fazer uma relação entre o que é aprendido em sala de aula com aquilo que o aluno vivencia em seu dia a dia, discutido sobre a relevância do tema de física moderna com a atualidade da sociedade e de como se pode trabalhar (PROGOL, 2012).

É comum encontrar professores de física enfrentando dificuldade em construir conhecimento com seus alunos de maneira prazerosa, seja ela qual for o ensino, (médio ou superior). Considerando que a física é vista pela maioria dos estudantes como uma das disciplinas mais difíceis de ser aprendida, tendo como base, os professores enfrentam dificuldades com o desinteresse de seus alunos em relação a aprendizagem do conteúdo.

Com base neste argumento, as atividades experimentais têm cumprido um inusitado papel no ensino de física, promovendo um intenso debate sobre sua pertinência ou não para aprendizagem de conceitos físicos (COUTO, 2008).

Os estudos, de maneira geral, apresentam possibilidade para um desenvolvimento de uma visão crítica do mundo, podendo analisar, compreender e utilizar este conhecimento no cotidiano, tendo condições de perceber, interferir em situações que contribuem para sua

qualidade de vida.

A proposta deste trabalho tem como a ensinagem, para o ensino médio, de um fenômeno explicado pela Física Moderna – Efeito Fotoelétrico. Aprender conceitos tão distantes do senso comum, pode causar um conflito cognitivo, resultando em mudanças nas crenças epistemológicas dos alunos. Assim, para facilitar o processo de ensinagem utilizamos a Física Moderna para o Ensino Médio: Uma abordagem do efeito fotoelétrico com a metodologia simulada em plataformas digitais.

As atividades foram desenvolvidas durante as aulas de Física Moderna, no período de Pandemia, neste abordamos a importância que as aulas práticas, e a vida do discente do Ensino Médio, oportunizando o conhecimento dos mecanismos educacionais, os objetivos e os seus significados.

## **PROPOSTA DIDÁTICA**

Este trabalho descreve o Produto Educacional, como parte integrante da dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional do Ensino de Física, por MNPEF da Universidade Federal do Amazonas – UFAM e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM.

A proposta educacional vem de encontro aos estudos da Psicologia Cognitiva, onde observava a sensação e a percepção humana como parte do processo na aprendizagem, que valoriza o aprendizado sendo um processo ativo, no qual o aprendiz constrói novas ideias, ou conceitos, baseados em seu conhecimento passados e atuais; toma decisões, constante, com uma estrutura cognitiva.

O papel do professor enquanto agente mediador do conhecimento, fornece significados e organização para a experiência e permite ao indivíduo “ir além da informação dada”. No entanto, nessa teoria, o professor deve valorizar o conhecimento prévio do aluno para que o novo conhecimento seja ancorado na sua estrutura cognitiva e assim ser transformado e ampliado.

Assim, cabe ao professor, diagnosticar e organizar uma sequência lógica de conceitos que leve o aluno a compreensão dos conceitos envolvidos. Sendo relevante para a teoria de Jerome Bruner é que o professor deve, primeiramente, mostrar todos os conceitos envolvidos antes de fragmentá-lo, depois que a proposta didática foi aplicada, o professor pode repetir a metodologia para averiguar quais foram as ligações que os alunos fizeram entre seus conhecimentos prévios e os recém- estudados.

## **OBJETIVO GERAL**

Compreender a linguagem da Física Moderna através do Efeito Fotoelétrico para uma melhor compreensão contextualizada para os alunos dos terceiros anos do Ensino Médio.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Aprender os conceitos básicos e estruturas do conhecimento da Física Moderna pelo Efeito Fotoelétrico;
- Aplicar, corretamente, o método de investigação científica nas atividades experimentais;
- Utilizar experimento de forma virtual, como elemento motivador e facilitador da aprendizagem, por meio da interatividade com o objeto de estudo;
- Conhecer a equação do Efeito fotoelétrico proposto por Einstein;
- Relacionar a energia cinética do elétron emitido à frequência da radiação incidente;
- Compreender o Efeito Fotoelétrico com uso de Simuladores virtuais;
- Estimular por meio de experimentos a construção de placas de energia solar, por meio de LED's.

## **COMPETÊNCIAS**

- Compreender métodos e metodologias próprias da Física Moderna sendo aplicada pelas teorias do Efeito Fotoelétrico;
- Afirmar-se do conhecimento da Física Moderna em situações do cotidiano, tais como problemas, interpretações, avaliações no modelo científico e tecnológico;
- Entender o funcionamento de uma célula fotoelétrica.

## **HABILIDADES**

- Correlacionar informações em diferentes formas de linguagens dos princípios da Física Moderna;

- Definir causas ou efeitos do Efeito Fotoelétrico;
- Utilizar leis da Física Moderna para associar processos tecnológicos inseridos no contexto do Efeito Fotoelétrico;
- Dimensionar sistemas ou dispositivos que envolvam o Efeito Fotoelétrico no cotidiano.

## CONTEÚDOS<sup>1</sup>

- Teoria dos Quanta – Energia radiante é emitida ou absorvida de modo descontínuo, por meio de partículas denominada de fótons;
- Efeito Fotoelétrico – Radiação eletromagnética incidente sobre uma superfície de um metal, elétrons podem ser arrancados dessa superfície.

## DURAÇÃO

Na apresentação da sequência didática, é preciso construir três encontros de duas aulas de cinquenta minutos cada, formando uma composição de três atividades fundamentadas na metodologia de Jerome Bruner, aprendizagem cognitiva, sendo aplicada para alunos do terceiro ano do Ensino Médio, considerando que haja uma compreensão da luz, sendo embasado pelo conteúdo do Efeito Fotoelétrico. O referido conteúdo, observou-se à sua aplicabilidade prática em setores e tecnologias ofertados no mercado, sua importância dimensiona uma nova concepção da Física Moderna – tendo em vista que a proposta é voltada ao Ensino Médio. Construiu-se um Quadro 1, onde apresenta a quantidade de aulas necessárias para a aplicação, os conteúdos abordados.

Atividade	Temática a ser discutida	Nº de aulas
	1. Apresentação da proposta didática com roteiros de experimentos, esclarecimentos sobre a natureza do trabalho para o Mestrado Nacional Profissional Ensino de Física. (10 minutos)	
	2. Mostra do livro didático a ser utilizado para utilização dos capítulos e resoluções de exercícios, principalmente o capítulo que trata de Física Moderna. (10 minutos)	

<sup>1</sup> Referencial Teórico disponível no Apêndice A

Comparação dos Modelos ondulatórios e corpusculares da luz.	3. Revisão dos conceitos básicos do conteúdo Ondas, visto no segundo ano do Ensino Médio. (25 minutos)	2 aulas
	4. Com base no livro: Introdução a Física Quântica – conheceu a hipótese de Max Planck para absorção e emissão da radiação eletromagnética apresentada na superfície de um Corpo Negro, fóton e a Constante de Planck. (50 minutos)	
	5. Encerramento do primeiro encontro: revisão dos principais tópicos deste assunto e exercícios <i>on-line</i> pelo Google Forms referente ao tema desta aula (05 minutos)	
Efeito Fotoelétrico	1. Recapitulação do assunto mencionado em aula anterior, para que haja fundamentação ao Efeito Fotoelétrico. (20 minutos)	2 aulas
	2. Apresentação das principais ferramentas a serem utilizadas virtualmente, tais como Google Drive, Google Forms e Tinkercad. (20 minutos)	
	3. Com base no livro: Introdução ao Efeito Fotoelétrico, compreensão, conhecimento da equação produzida por Einstein, relacionar a energia cinética do elétron emitido à frequência da radiação incidente, conferindo o número de fotoelétrons à intensidade de radiação incidente e por fim, compreender o funcionamento de células fotoelétricas. (50 minutos)	

Quadro 1 – Procedimentos abordados e quantidades de aulas ministradas

## RECURSOS ESTRUTURAIS<sup>2</sup>

A tecnologia disponível para objetivar as ações deste trabalho, sendo que se deve avaliar as que apresentam opções sem custos, utilizar diversos editores de textos, estrutura de armazenamento e que pudessem ser reutilizados ou modificados.

É importante detalhar que nestas plataformas podemos expor um material, para

<sup>2</sup> Apêndice B

objetivar e orientar os professores do Ensino Médio, usufruindo da informática na montagem e execução de experimentos, utilizando a plataforma Arduino UNO, propondo formas de demonstrar o efeito fotoelétrico, o comportamento da luz, propor discussão sobre dispositivos modernos que se utilizam.

Dentre as plataformas existentes, há a plataforma “Google”, que apresenta o armazenamento “Google Drive”, para confecção de pesquisa e questionário temo o “Google Forms”, nestes pode-se realizar a pesquisa e aplicação de questões de avaliações e no armazenamento, considerando haverá diversas respostas. Contudo, a plataforma utilizada é o “Tinkercad”, nele existem diversas ferramentas úteis para a implementação, compilação dos dados na construção dos experimentos que serão apresentados na sequência didática sobre o Efeito Fotoelétrico.

## **METODOLOGIA**

A sequência didática proposta considera as fases deste processo como inativa, icônica e simbólica. Quando se pretende observar o modo de ensinar, alavancamos processos de ensino e aprendizagem por vários aspectos abordados. As consequências que levam a um bom entendimento da observação no caso do discente, ao que se refere em uma apresentação por gráficos, figuras e desenhos sobre o tema, sendo elas bem apresentadas, por simbologia de palavras, que busque um bom entendimento do assunto, neste esperamos o *feedback* do aprendiz, contudo admitamos que o aluno não seja um ser totalmente dependente do professor, para que nas explicações do mesmo o aluno possa assumir funções autocorretiva.

Nas observações de Bruner aos educadores de diversas áreas:

*Para compreender em que consiste a aprendizagem por descoberta, vejamos a distinção que Bruner faz entre a maneira expositiva e a maneira hipotética de se conduzir uma aula.*

*Na expositiva, o professor já traz o conteúdo pronto e o aluno limita-se passivamente a escutá-lo. Na abordagem hipotética, a professor traz o assunto sob forma de problema ou questão a ser resolvida, e ajuda o aluno a resolvê-lo, discutindo com ele as alternativas apresentadas. (GIACAGLIA, 1986)*

Conquistando a viabilidade e empregabilidade por meio de descobertas, tais assuntos como a matemática, linguística, história, psicologia, literatura e até na geografia. A flexibilização e o conhecimento da matéria farão com que o professor tenha um bom desempenho, assim a estrutura de forma representativas, tornam-se importantes, pois a sequência deve ser representativa para a icônica, e depois para a simbólica, por mais que o aluno apresente o seu próprio simbolismo.

Considerando que a instrução é a oportunidade de corrigir o conhecimento ou informação, onde resultados podem apresentar certa utilidade ou não, mediante o aprendizado, à medida que é apresentado o desenvolvimento, tanto simbolicamente, como representar as transformações ambientais, aumentando assim as motivações de competências, pois o aluno mostra controle sobre o seu comportamento.

Na teoria da aprendizagem do teórico Jerome Bruner, adequa o desenvolvimento do aluno em poder criar simbolicamente seu conhecimento fundamentado, neste pode-se ser representada na figura a seguir:

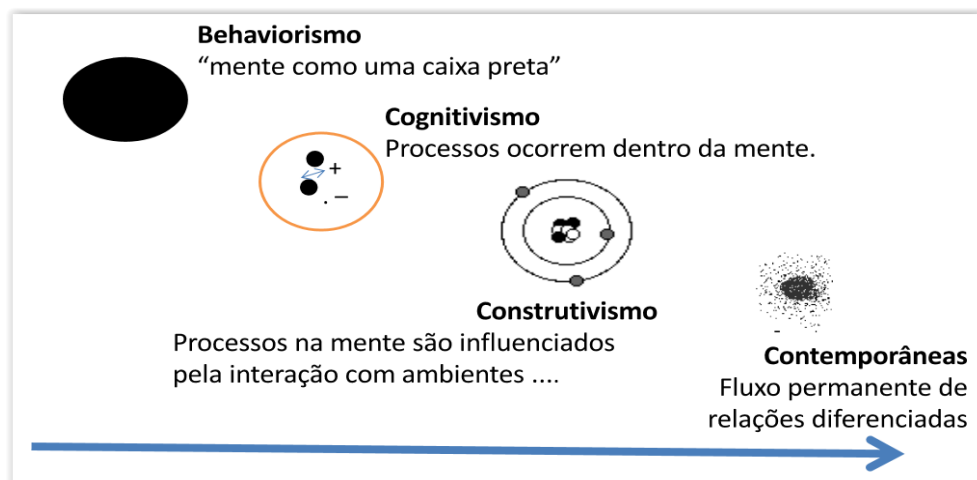


Figura 1 - Desenvolvimento do pensamento construtivo para o contemporâneo do ensino, evoluindo com sua fundamentação  
- Jerome Bruner

Fonte: [https://www.nelsonreyes.com.br/Teorias\\_Psicopedagogicas\\_Evandro\\_Ghedin.pdf](https://www.nelsonreyes.com.br/Teorias_Psicopedagogicas_Evandro_Ghedin.pdf)

Com utilização de experimentos simples e de baixo custos, apresentaremos três tipos que envolva a luz solar e que possamos usar as equações assim mencionadas para comprovar a teoria da Física Moderna no contexto de Efeito Fotoelétrico.

## CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

### Experimento 01: construção de uma placa de energia solar com LEDs

#### Objetivo

Transformar energia luminosa em energia elétrica com o uso de LED (Diodo de Emissor de Luz).

#### Objetivo específico

- Comprovar pelo Efeito Fotoelétrico produzido pelo LED;
- Apresentar de forma lúdica como produzir energia;
- Visar uma maneira mais limpa de captar energia limpa, proveniente do Sol.

Sol.

#### Diodo emissor de luz (LED)

O LED ou Diodo de Luz, dispositivo que é constituído de dois semicondutores, com uma alta dopagem, sendo a formação em uma junção p-n, este é representado em circuitos com o símbolo na figura a seguir.

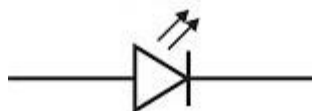


Figura 2 - Simbologia do Diodo de luz.

Fonte: <http://parquedaciencia.blogspot.com.br/2013/06/semicondutores-da-descoberta-as.html>

Ao aplicar um campo elétrico externo na junção p-n, ou seja, criando uma polarização direta, aplicando aos elétrons do lado n absorvem energia suficiente, principalmente para vencer a diferença de potencial que está próxima, o deslocamento que chega a fronteira, pois é apresentado lacunas (buracos) no lado p, os elétrons irão se recombinar nos buracos existentes, logo então emitirá radiação de energia, conhecida como “gap” de energia ou largura da banda proibida. Uma outra forma de pensar, é que o elétron sairá da extremidade inferior na banda de condução que preencherá o buraco da extremidade superior para a banda de valência, fazendo uma recombinação do processo. Considerando que nessa mudança de posição do elétron, haverá sempre liberação de energia em forma de radiação, devido a diferença de nível de energia ( $\Delta E_g$ ), para exemplificar, temos o arseneto de gálio, esse é um supercondutor, como é o caso do silício e o germânio, há uma liberação de energia que é sentido como vibração na estrutura cristalina dos materiais (CAVALCANTE, TAVOLARO, & HAAG, 2005).

Quando ocorre a emissão da radiação, apresentam fótons de energia  $h \cdot \nu$ , desta equação de Planck, podemos encontrar o comprimento de onda, a partir da equação a seguir:

$$h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = E_{gap} + \Delta E_F$$

*Equação 1 - Energia de um Diodo usando a Equação de Planck.*

Na equação apresentada, o comprimento de onda emitida pelo Diodo, dependerá da largura da banda do semiconductor, as combinações definirão a intensidade da luz emitida, contudo várias combinações serão necessárias para um grande número de elétrons em diversos buracos existentes, há uma ressalva que isso não poderá acontecer em um semiconductor puro. Contudo, é necessário ter uma grande quantidade de elétrons e buracos disponibilizado para a polarização direta em junção p- n que é dopado. Com o movimento do elétron, onde irá gerar uma corrente elétrica que atravessa a junção, caso a dopagem seja alta ao ponto de gerar uma grande quantidade de elétrons e preencherem os buracos que estão próximos. Essas características dão ocorrência várias combinações e como consequência apresentará uma grande intensidade luminosa emitida. Os comprimentos de ondas emitidos da banda proibida do semiconductor, apresentam proporções diferentes no semiconductor e sua impureza dopada, que emitem luz desde do infravermelho, passando por todas as cores possíveis e visíveis (HALLIDAY & RESNICK, 2009).

A tensão mínima para a polarização mencionada anteriormente, corresponde a energia mínima para expressar assim:

$$eV = E_{gap} + \Delta E_F$$

*Equação 2 - Energia Mínima.*

De maneira observada a energia  $\Delta E_F = 0$ , poderá ser desprezada com aproximação, temos que  $h \cdot \nu = eV = E_{gap}$ , desta forma poderemos reescrever a nova relação que envolve a frequência ( $\nu$ ) emitida, para uma intensidade em função do potencial de corte  $V_0$ , isso se refere a tensão do LED que conduz:

$$h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = eV_0$$

*Equação 3 - Equação de Planck do Efeito Fotoelétrico.*

#### Materiais

- 01 Capacitor de 10 V 220  $\mu$ F
- 25 LED de alto brilho
- 01 Placa de componentes eletrônicos 5 cm x 5 cm
- 01 metro de solda estanhada;
- 01 Ferro de solda de 40 W
- 01 Multiteste

Os procedimentos para a montagem da placa com LED's segue como sugestão, os seguintes materiais como base para a construção deste produto, uma grande maioria pode ser adquirida em lojas de venda de componentes eletrônicos.

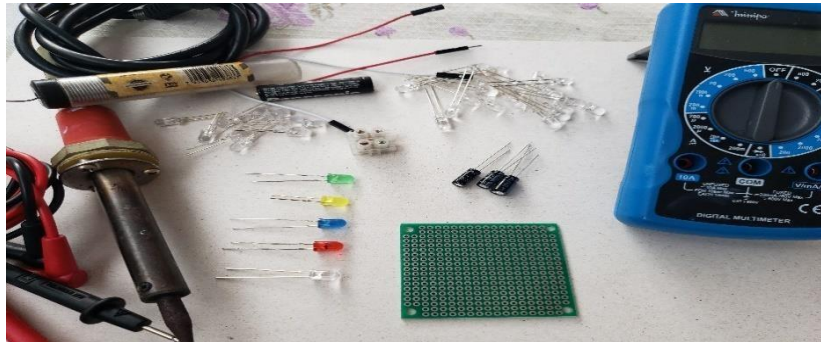


Figura 3 - Material a ser utilizado neste processo.

## Montagem

Este experimento é de simples processo de construção, onde os LED ficarão em organizados conforme a fig. 4, essa montagem será abordada neste parágrafo, sendo que haja uma organização na montagem, para tanto, é importante que o aluno tenha conhecimento prévio sobre corrente, resistores em série e paralelo e capacitores, pois nestes assuntos poderemos organizar o produto.

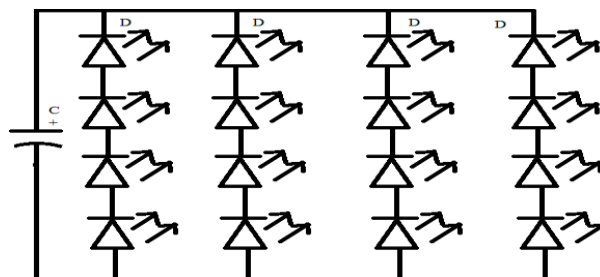


Figura 4 - Posicionamento dos led's na placa.

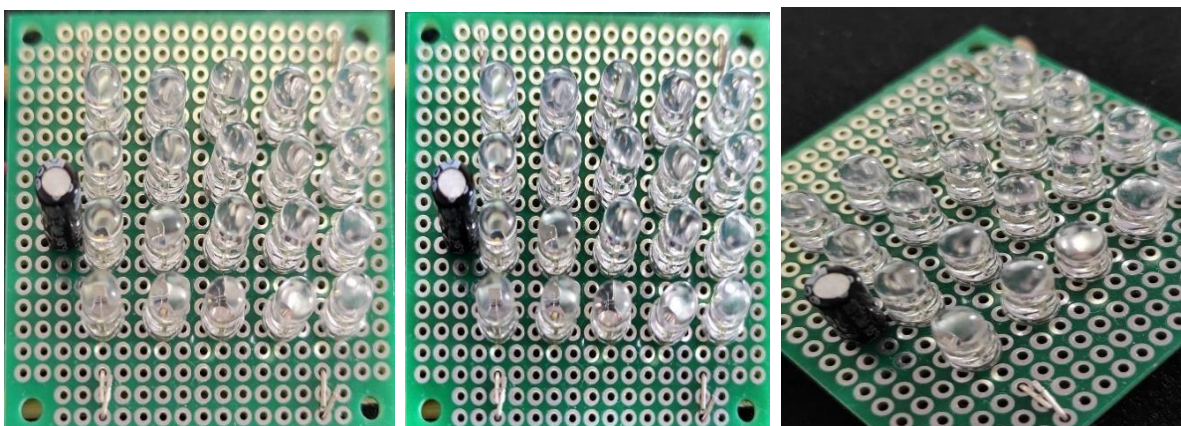


Figura 5 - Led's montados na placa.

De acordo com os materiais visto na figura 04, pode-se então começar a montagem de nossa placa de energia solar com LED. A primeira etapa, quando for escolher o LED, temos

que escolher aquele que é transparente e que tenham pernas longas, pois este é o de alto brilho, na sequência temos que testar todos, pois se houver um danificado, não passará corrente produzida, como devermos fazerisso, considerando que os LED's suportam até 3 V, caso passe deste valor pode queimar, então, pega-se uma bateria de 3 V ou duas pilhas 1,5 V, no caso das duas pilhas devemos coloca-las em série, para que haja o devido valor dos 3 V, para testar o LED, observa-se as pernas, nela existe uma longa e uma curta, observe a figura 07, nesta imagem, o que está sendo utilizado é o terceiro de cima para baixo, contudo, observe as pernas que possuem comprimentos diferenciado, a escolha deste tipo é devido ele ser transparente e o Sol emite várias cores.



Figura 6 - Tipos de LED's que existe para uso.

Na sequência, pega-se a placa 5 cm x 5 cm, esta placa já vem toda vazada, conforme figura abaixo, nestes furos introduza as pernas dos LED's, sendo posicionados de forma organizada, dispostos da perna positivo com a perna negativa do subsequente.

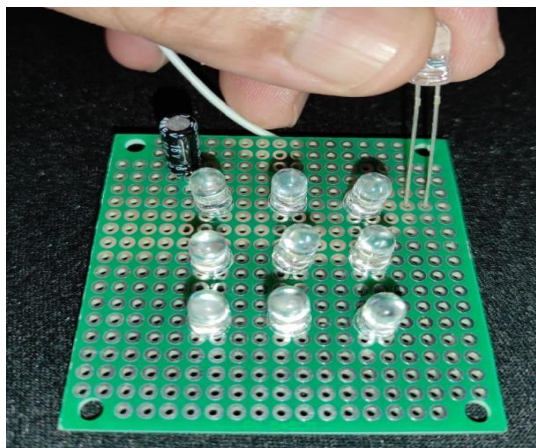


Figura 7 - Posicionamento do led na placa.

Dando sequência a montagem, deve-se dispor na placa o capacitor e ligá-lo aos fios, seguindo o mesmo princípio, fio negativo com terminal negativo do capacitor e fio positivo para o terminal positivo do capacitor. É bom provável que tenham excesso, retire-os com cuidado. Pronto, neste momento pode-se utilizado a sua placa de energia solar com LEDs colocando direcionado ao Sol e seria bom usar o multitest para medir o valor, colocar  $\checkmark$  na faixa

de 1:20.

Neste experimento, quando colocamos diante do Sol, sendo que emite radiação luminosa, incidindo pelos LEDs, poderão apresentar uma variação da corrente, conforme verificado no instrumento de leitura da voltagem. Esse é uma maneira de entendermos a Física Moderna pelo Efeito Fotoelétrico de forma prática, experimentando com poucos componentes.

## **Experimento 02: Efeito Fotoelétrico e a constante de Planck**

### Objetivo

Determinar com uso da equação do Efeito Fotoelétrico a constante de Planck e a função trabalho do material que integra uma célula fotoelétrica.

### Objetivo Específico

Considerando que se deseja alcançar o objetivo geral, em conformidade com a atividade em questão, encontrar a constante de Planck, levando em conta que as ações serão voltadas a uma sequência didática, podemos visualizar a compreensão dos estudantes, tanto na motivação quanto na criação:

- Diagnosticar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema;
- Propor ao discente que construa no “Tinkercad” o modelo para calcular a constante;
- Averiguar os problemas encontrados pelos alunos na hora da construção virtual;
- Empregar questionamentos para posterior análises das ações executadas dos alunos frente as dificuldades encontradas.

### Histórico

Em 1900, século das descobertas na Física Moderna, desta forma que houvera controversas e esclarecimentos. Partindo do princípio que James Clark Maxwell (1831 – 1879), apresentando uma resolução matemática que relacionava os campos elétricos e magnéticos, nesta relação que envolvia a velocidade da luz e estabelecendo um novo conceito de ondas eletromagnéticas. A unificação do eletromagnetismo com a Ótica, duas áreas consideradas da Física.

Em 1887, Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), de posse de experimentos que geram ondas eletromagnéticas, causando assim o nascimento de novas tecnologias, como é o caso do telegrafo sem fio e o rádio, em um dos experimentos abordados, quando aplicava a diferença de potencial, quando oscilava em um sistema com uma pequena abertura, sendo ligado a um fio terra, percebeu centelhas em intervalos de tempos iguais, buscou entender a relação do campo elétrico existente na região da pequena abertura, onde caía rapidamente, chegando a zero, mas crescia rapidamente até o ponto do centelhamento. Em sua observação percebeu que a onda eletromagnética proveniente do centelhamento da abertura do orifício, fazendo diversas leituras com placas metálicas, observou que apresentava um comprimento de onda da radiação eletromagnética que por sua vez utilizava a velocidade da luz.

Em suas anotações foi percebido que apresentava um efeito, que era uma centelha secundária, sendo ela mais intensa que a outra apresentada pela pequena abertura, aproveitando esse fenômeno e publicando os resultados em 1887 em um artigo intitulado de “On the Effect of Ultraviolet Light upon the Electric Discharge” (sobre um efeito da Luz Ultravioleta há uma descarga elétrica).

Para a época, foi um significativamente importante para ondas de hertz, ou ondas hertzianas, mostrando assim uma relação direta com o trabalho de Maxwell. Percebendo que a luz ultravioleta desencadeava descargas elétricas, porém não foi possível há explicação deste efeito. Historicamente, em 1889, Wilhem Hallwachs demonstra que há partículas negativas saindo da superfície mencionada por Hertz, principalmente em elementos químicos como o zinco, potássio e sódio. Em 1902, Philipp Eduard Anton von Lenard (1862 – 1947), fez as devidas medições que relacionava a carga/massa das referidas partículas, podendo comprovar que no momento do centelhamento, eram emitidos elétrons, considerando-o assim como fotoelétrons.

Para Maxwell a matéria era uma distribuição contínua, equilibrando assim os campos elétrico e magnéticos, considerados também contínuos, para entendimentos dos pesquisadores no século XIX, seria algo complexo, então Thompson, argumentou que neste processo seria granular, justificando assim as devidas dificuldades para o espalhamento da luz por átomos.

Poynting argumenta que no transporte desta energia ocasionado por ondas eletromagnéticas, é descrito por um produto vetorial dos campos elétricos e magnéticos, ocupando assim os espaços ali existentes. Com a explicação apresentada, funcionava para as ondas no vácuo, podendo ser determinadas a radiação solar, porém, a interação com a matéria, fracassava. Rayleigh apresenta um questionamento: “*como descrever o espalhamento de radiação por um alvo cuja dimensão é muito menor do que o comprimento da radiação incidente?*”, sobre esse questionamento apresentado, pode-se então entender o comprimento de

ondas, que são da ordem de  $10^{-6}$  ou  $10^{-7}$  m, e para o raio do átomo encontrado por Thompson era da ordem de  $10^{-10}$  m. Utilizando-se de conceitos clássicos sobre colisões, os átomos tornam-se dependentes da radiação incidente, formalizando assim  $\lambda^2$ . Contudo, não apresentando as devidas explicações de interação da radiação com a matéria.

Albert Einstein (1879 – 1955) propõe uma solução em 1905, para este problema mencionado por Rayleigh, onde considerou a quantização da radiação, deixando a comunidade científica incomodada com seus argumentos, para tanto, levaram dez anos para reconhecer o seu argumento. Em 1916, Robert Andrews Millikan (1868 – 1953), publicou um trabalho sobre o Efeito Fotoelétrico, usando os argumentos de Einstein, sendo reconhecido por sua proeza teórica e comprovado no experimento de Millikan, em que não viola o processo de interferência da luz.

Basicamente o resumo se dá que Hertz confirma o modelo teórico de Maxwell, e pode constatar os modelos que limitariam o processo, contudo no modelo de onda-partícula que seria outro tema, não sendo abordado neste.

## Efeito Fotoelétrico

Para a realização deste trabalho com o Efeito Fotoelétrico, devemos seguir os seguintes conceitos do que foi apresentado anteriormente, precisamos entender que há uma emissão de elétrons de forma induzida pela radiação da luz sobre determinadas substâncias químicas, mencionadas, ou placas metálicas.

Porém, quando usamos uma radiação luminosa com frequência de onda para a cor vermelha, exemplificando, não obteremos o mesmo resultado quando for ultravioleta, mesmo que sejam independentes as suas intensidades, com tudo, neste processo a dependência da frequência torna-se, por mais que seja simples o processo, justifica-se que ondas de luz com pequenas frequências não excitam os elétrons, por mais que sua amplitude seja grande.

Lenard ao demonstrar no seu experimento, onde o número de elétrons ao atingir uma placa A, irá diminuir à medida que o potencial  $V$  entre as placas cresce, dando uma ideia de movimento dos elétrons e podem gerar energia, pensado na Energia Cinética ( $\frac{1}{2}mv^2$ ) que esses atingirão a placa A. Para tanto, há um potencial de frenagem  $V_0$ , fazendo que o elétron não consiga chegar na referida placa.

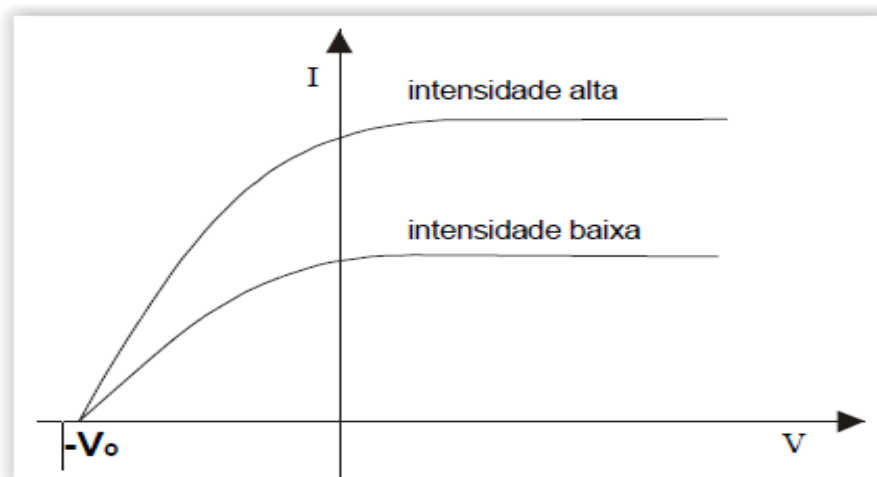
Temos então a possibilidade de comparar equações, justamente para encontrar esse potencial, da seguinte maneira:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV_0$$

*Equação 4 - Energia Cinética igual a Energia Potencial.*

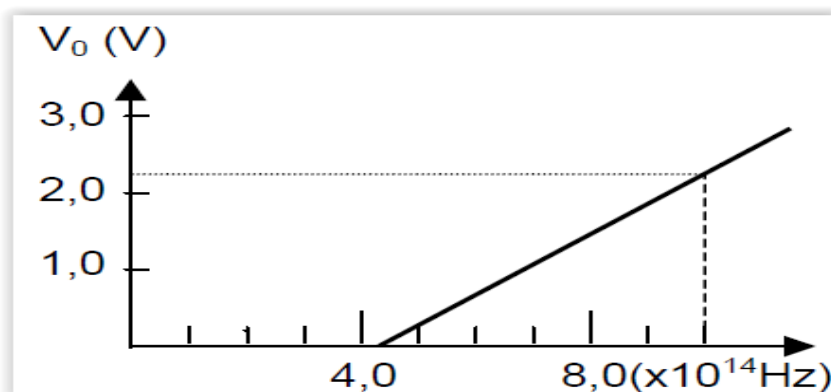
Contudo, podemos fazer uma inversão do potencial nas placas, fazendo com que os elétrons possam transitar aceleradamente, sendo eles desprendidos da placa inicial, indo ao oposto, deste modo, gerará uma corrente  $I$  não dependente do potencial  $V$  de elevação gerado pelas placas.

Na figura ao lado, vemos que o potencial de frenagem  $V_0$  é totalmente dependente da frequência, porém não depende da intensidade da luz que está incidindo, a corrente  $I$  que mede o número de elétrons, é proporcional a sua intensidade de incidência.



*Gráfico 1 - I X V - Corrente versus Potencial.*

Fonte: <http://www.ensinoadistancia.pro.br/ead/qg/aula-4/aula-4.html>



*Gráfico 2 - Potencial de frenagem x frequência.*

Fonte: <http://www.ensinoadistancia.pro.br/ead/qg/aula-4/aula-4.html>

Com esses resultados, mesmo que experimentalmente, acabando por revelar a dependência do potencial  $V_0$ , em relação da intensidade da luz, faz com que o modelo ondulatório seja surpreendente. Considerando uma visão ondulatória clássica, percebe-se que a medida que a taxa luminosa incide sobre a placa, não de aumentar a energia absorvida pelos

elétrons, contudo aumentaria a energia cinética, conforme figura ao lado, porém não acontecia isso que se esperava, pela teoria clássica.

De acordo com o gráfico 2, a leitura do material que no caso é o sódio, temos o potencial de frenagem para uma função de frequência, apresentando uma frequência no valor de  $10^{15}$  Hz, para este obtêm-se o valor no potencial de  $V_0 = 2,2$  V. Neste pode-se considerar que a energia seria necessária para desprender da superfície o elétron, cedendo assim uma energia de  $2,2$  eV. Classicamente, pelo modelo ondulatório a intensidade do feixe é igual a  $10^{-10}$  W/m<sup>2</sup>, para a frequência de  $10^{15}$  Hz, atingindo o átomo de sódio para um raio de  $10^{-10}$  m, em 1 segundo, teríamos uma energia de:

$$\pi(10^{-10}m)^2 \times (10^{-10} W/m^2) \approx \pi \times 10^{-30} \text{joules} \approx 2,0 \times 10^{-11} eV,$$

completando assim a energia cinética para os elétrons com um tempo de  $10^{11}$  s, ou 4.000 anos. Proposta feita por Rayleigh, que esse tempo reduziria para 5 horas, ao verificar experimentalmente, nas condições mencionadas, o tempo tornava-se pequeno, fazendo assim a emissão logo após a incidência da radiação, causando uma improbidade teórica ondulatória para explicar esse fenômeno.

Na abordagem por Einstein, considerando um elétron que está dentro do metal, ficando sujeito a uma energia potencial da própria superfície, que foi chamada de  $\phi$ , seria necessária para romper e emitir os elétrons, comparando a energia cinética com o argumento de Einstein, temos matematicamente assim,  $\frac{mv^2}{2} = h\nu - \phi$ , substituindo para elétron-Volts, temos:

$$eV_0 = \left( \frac{mv^2}{2} \right)_{\text{máxima}} = h\nu - \phi$$

*Equação 5 - Equação do Efeito Fotoelétrico.*

onde  $\phi_0$  ficou sendo chamada de função trabalho, onde representará o trabalho para a retirar o elétron da superfície. Dando assim uma solução, simples, proposta por Einstein.

### **Material utilizado**

- 01 Placa Arduino UNO;
- LEDs, de alto brilho, preferencialmente transparente;
- 1 Potenciômetro de 10k  $\Omega$ ;
- 01 Resistor 220  $\Omega$ ;
- Fios jumper;

- 1 Protoboard.

### Montagem do circuito e a programação do Arduino

Observe o processo da figura a seguir e reproduza-o no Tinkercad. De posse da placa Uno e protoboard, use fios de cores diferentes, em nossa figura, foi usado fios de cor preta, vermelha, azul e amarelo, para tanto, ligamos o fio vermelho na placa Uno para 5 V e a outra extremidade conecte na extremidade do protoboard, conforme figura, dando sequência pegue um fio preto, conecte-o na placa onde está escrito “GND” o que está perto do 5 V, na outra extremidade do fio preto conecte no outro lado do protoboard, porém uma linha para dentro, por sua vez ligue um fio azul a uma parte mais interna, veja a figura, disponha um led de auto brilho de forma que seus terminais fiquem em paralelo as conectados para alimentação do protoboard, para o led ser posicionado, observe que ele possui duas pernas, sendo que uma delas é maior que a outra, ou seja, a maior é positiva e a menor é negativa, observando que o fio preto está ligado ao “GND”, logo é o lado negativo, para a perna que tem o lado positivo, conecte o Resistor 220  $\Omega$ , veja que também é disposto a ligação na perna que é positiva um fio amarelo, ele deve ser ligado na placa Uno para “A0”, e na outra extremidade o resistor deve-se ligar ao potenciômetro, esse fio azul, deve ser conectado ao terminal do meio do potenciômetro juntamente deve ser conectado ao “A1” da placa Uno, enquanto que no terminal que fica a direita do potenciômetro deve conectado ao 5 V.

Todo esse processo pode ser construído virtualmente no Tinkercad.

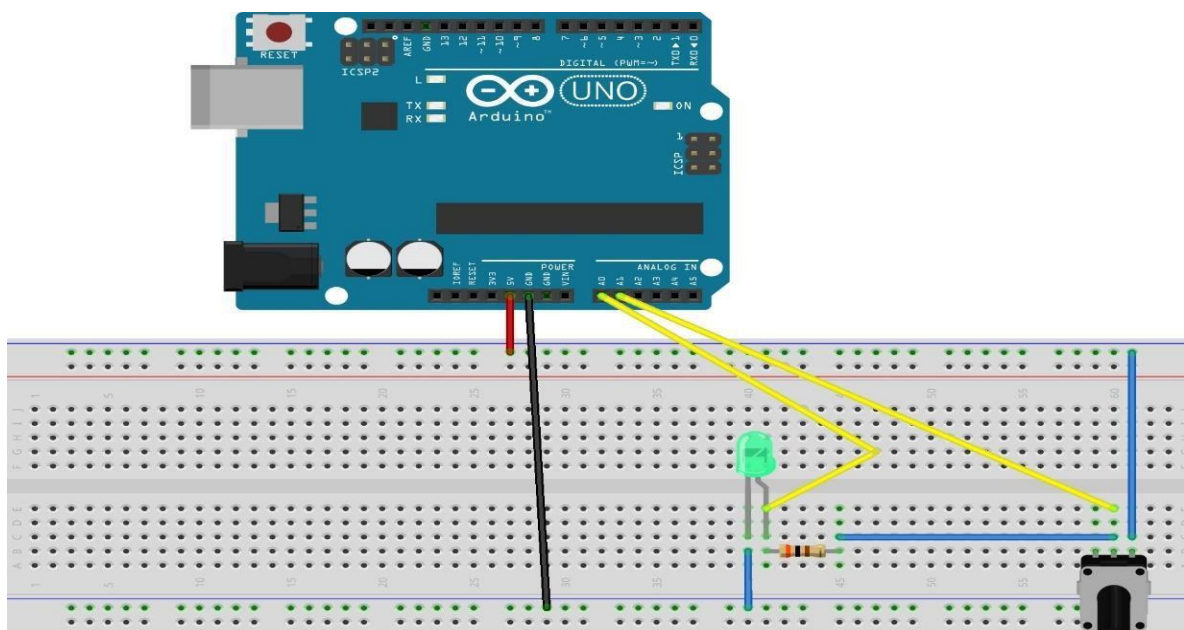


Figura 8 - Esquema de montagem para calcular a constante de Planck.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Feito todas as conexões, teremos que programa-lo, caso queira fazê-lo fisicamente, caso contrário o próprio Tinkercad constrói o código, mas apresentaremos neste trabalho o código de programação.

## A Programação

Para um bom entendimento do processo e o que está sendo procurado, no caso a constante de Planck, digitaremos o código logo abaixo, para você que é iniciante, acreditamos que o Arduino possa captar a corrente e a ddp do led, onde ocorrerá uma variação pelo potenciômetro, para visualizarmos essa variação teremos o auxílio do PLX-DAQ “Spreadsheet”, quando for feita a exportação para os dados no Excel, o mesmo irá plotar um gráfico em função da corrente que passa pelo led, desta forma pode-se encontrar a constante de Planck.

### Código fonte

#### **//declaração da localização dos pinos e algumas variáveis utilizadas no código.**

```
int pinoLed = A0; //pino que está ligado ao led (porta analógica 0)
int pinoPoten = A1; // pino que está ligado ao potenciômetro
int valorLido = 0; //valor lido na entrada analógica
float tensaoLed = 0; //tensão valor convertido para volts
float valorI = 0; // corrente I valor em mA
float tensaoPoten = 0;
float valorPoten = 0;
#define valorresistor 0.3; // valor do resistor em Kohms
int contador = 0;
int linha = 0;
int LABEL = 1;

void setup() {
Serial.begin(9600); //inicializa comunicação Serial numa taxa de 9600 bps
Serial.println("CLEARDATA"); // Reset da comunicação serial
Serial.println("LABEL, Horas, Tensão, Corrente"); // nomeia as colunas
}
void loop() {

if (contador <= 14) {
valorPoten = analogRead(pinoPoten);
valorLido = analogRead(pinoLed);
tensaoPoten = (valorPoten * 0.0048876); // leitura da porta analógica em que o potenciômetro está conectado
tensaoLed = (valorLido * 0.0048876); // 5V / 1023 = 0.0048876 (precisão do A/D)
valorI = (tensaoPoten - tensaoLed) / valorresistor;
// calcula a corrente elétrica no circuito em mA
Serial.print("Tensao no Led: ");
Serial.println(tensaoLed);
Serial.print("Corrente:");
Serial.println(valorI);
delay(500); //espera 1s
```

```

contador ++;
if (linha <= 14) //laço para limitar a quantidade de dados {
Serial.print("DATA, TIME,"); //inicia a impressão de dados, sempre iniciando
Serial.print(tensaoLed);
Serial.print(","); Serial.println(valorI);
linha ++; //incrementa a linha do Excel para que a leitura pule de linha em linha
}
delay(500); //espera 1 segundos para fazer nova leitura
}

```

Observe que o contador de número 14 possui uma função “if(contador<= 14)” e “if(linha<=14)”, os mesmo mostram que os dados dependera da quantidade obtido, claro que o programa irá colher as devidas informações com o PLX-DAQ.

De posse do código no IDE, carregue-o para execução, abrindo o PLX-DAQ, direcione-o para uma página do seu Excel, observe a figura a seguir.

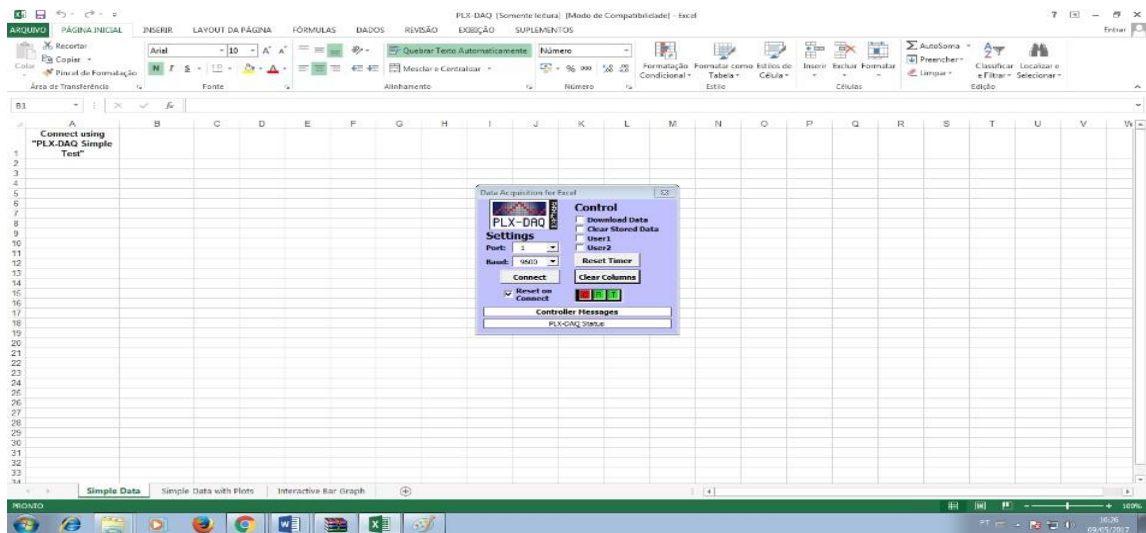


Figura 9 – Visão frontal do PLX-DAQ.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Porventura, o Excel apresentará uma permissão ao ativar o macro, onde no decorrer da execução serão utilizados, vá em “Habilitar Conteúdo”, observe na janela que aparece ao centro, vejaos detalhes.

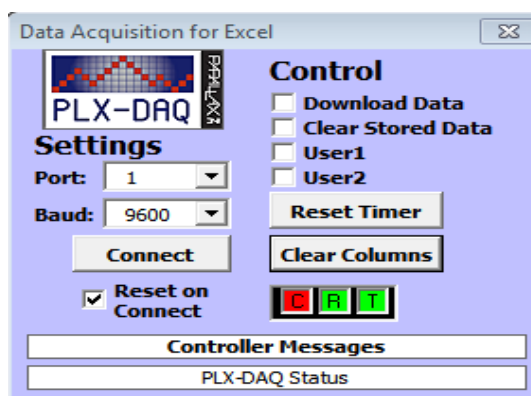


Figura 10 - Janela do PLX-DAQ.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Visualize a palavra “Settings”, escolha em “Port:”, que neste caso é a porta de entrada de dados, esse valor é o que é usado no Arduino (IDE), onde haverá a conexão, na sequência, procure a palavra “Baud:” deixe no valor de 9600, pois esse é o tempo que há de conexão, fazendo a própria verificação do código no Arduino IDE, conforme no código aparece o “Serial.Begin(9600):”, neste diz respeito a transferência de dados na programação que foi desenvolvida no “void setup ()”, lembre-se que deve estar de acordo com a escrita.

Onde se lê “Control”, há quatro opções disponíveis, caso o usuário queira realizar um “download” dos dados, também pode “resetar” os dados, mas tudo isso é opcional.

Depois de iniciar o código no IDE do Arduino, procure o botão “Connect”, logo abaixo dele há um marcador com o nome de “Reset on Connect”, esse serve para limpar os dados, que outrora foram armazenados, a limpeza de dados se faz importante devido ao conflito de informação na hora da conexão.

Uma vez funcionando a placa de Arduino e o PLX-DAQ, haverá uma extração de dados, nesses será apresentado em uma planilha de Excel, como veremos a seguir em uma figura.

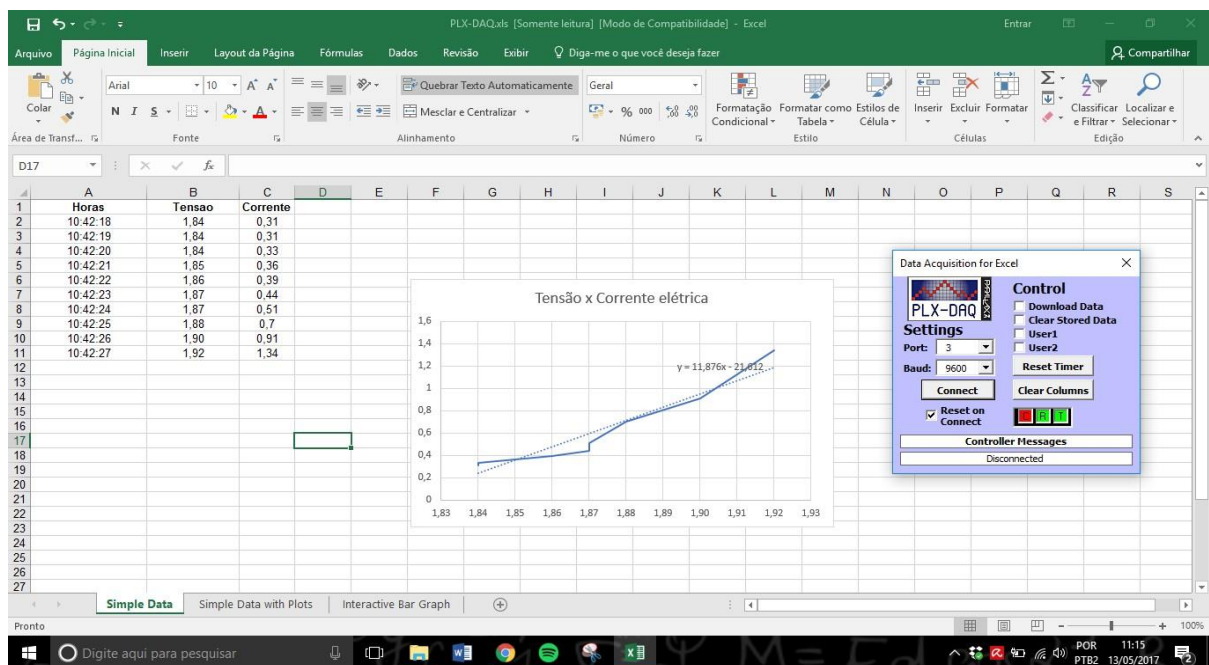


Figura 11 - Dados apresentados pelo PLX-DAQ.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Sugerimos que possa selecionar quatorze linhas, merque e vá para construção de gráfico, nomeie a tensão em função da corrente em tempo real, descobrindo o valor da tensão de corte  $V_0$  (essa é a tensão muito baixa, não há corrente), conforme equação descrita abaixo, pode-se calcular a constante de Planck.

$$h\nu = \frac{h \times c}{\lambda} = eV_0$$

Caso queira utilizar do comprimento de ondas, pode-se encontrar na “internet” esses valores que é fornecido pelos fabricantes de Led’s.

Neste trabalho, sugerimos que caso queira diferenciar com a cor dos led’s , é uma alternativa encontrar o valor da constante por led’s de cores diferentes, pois no gráfico da frequência em função do potencial de corte, chegaremos a constante desejada, sendo tudo em elétron-volts. Sendo aplicado desta forma, os alunos podem até se questionarem sobre essa constante de Planck, é fundamental para o Efeito Fotoelétrico, por certo que haverá de ser um motivo para que o aluno possa buscar mais compreensão a respeito do assunto abordado.

### **Experimento 03: o resistor dependente de luz (LDR)**

Esta atividade faremos com que funcione um tipo de fotorresistor com a intensidade da luz, que no caso estamos falando do LDR, ele é aplicado em componentes de sensoriamento. Considerando que é um tipo de resistor elétrico, apresentar-se-á suas informações específicas sobre ele, mas fazendo a menção ao Efeito fotoelétrico.

#### **Análise e Explicação**

O experimento tem como pano de fundo o efeito fotoelétrico e a dualidade onda. Outros dispositivos construídos a partir das propriedades dos semicondutores são os LDRs (resistores dependentes da luz), em um LDR o processo é oposto ao de um LED, quando luz de frequência apropriada incide neste dispositivo o material de que é feito, absorve fótons e a energia recebida é usada pelos elétrons para transitarem da banda de valência para a banda de condução criando assim pares elétron-buracos possibilitando uma diminuição significativa na resistência do material que na ausência de luz volta a apresentar alta resistência (YOUNG EFREEDMAN 2009).

Valadares e Moreira (1998) ao apresentar um trabalho em que usa o LDR como forma de explicar e demonstrar o efeito fotoelétrico relatam que o material base mais comum em um LDR é o sulfeto de cádmio (CdS) e razão é que este material é sensível a luz na faixa do visível. Quanto se pretende utilizar outras faixas de frequências como por exemplo em controle remoto de televisão, no qual se utiliza radiação na faixa do infravermelho deve-se usar outros

materiais como, por exemplo, o arseneto de gálio que é sensível nesta faixa de radiação. O LDR será usado junto com o Arduino em dois projetos de automação como proposta de inserção do efeito fotoelétrico no Ensino Médio.

Objetivo	Fundamentação teórica
<ul style="list-style-type: none"> <li>Averiguar a propriedade esfotorresistiva de semicondutor;</li> </ul>	<p>O LDR, termo original do inglês <i>Light Dependent Resistor</i>, considerado como um resistor que obrigatoriamente depende de luz, é constituído basicamente de um material semicondutor, sua resistência é determinada pela intensidade da luz incidente. O LDR em sua constituição apresenta uma resistência elétrica mínima quando exposto a uma alta intensidade luminosa e uma resistência elétrica máxima na ausência de luz, sua resistência é alterada em função da variação da resistividade do material semicondutor, essa alteração é o efeito fotoelétrico, apresentando emissão de elétrons em um metal, quando exposto a certas frequências de luz, e não chegam a ser emitidos do material, mas a energia dos fótons de luz, serão suficiente para que os elétrons, sejam arrancados da banda de valência até a banda de condução, implicando a diminuição da resistência elétrica do material; em outras palavras, dado a maior quantidade de luz, menor será a resistência elétrica do material.</p>

Quadro 2 - Procedimentos metodológicos.

Sequencialmente, os componentes serão descritos a posterior e sua montagem, bem como a interligação entre a placa Uno com o protoboard, considerando que se utilize de fios de 200 cm, para as ligações entre o led e LDR. Segue a lista do material para poder construir o experimento.

Materiais e Componentes	Descrição
<ul style="list-style-type: none"> <li>LDR;</li> <li>LED;</li> <li>Resistor de 10 k<math>\Omega</math>;</li> <li>Resistor de 330 <math>\Omega</math>;</li> <li>Placa de Uno Arduino;</li> <li>02 Protoboard</li> <li>Jumpers</li> <li>Régua ou trena</li> </ul>	<p>O processo de construção necessita obrigatoriamente de duas protoboard, justamente para que possamos movimentar, alterar o distanciamento entre elas, pois em uma ficará o LDR e a outra ficará o LED, e como medidor de distância temos a Régua ou trena para certificarmos a distância entre elas.</p>

Quadro 3 - Distribuição de material e utilização.

## Montagem e Procedimentos

Conforme descreveremos o posicionamento do LDR e o resistor que estão em série e sua divisão da tensão, ficará interligada aos terminais do LDR, inserindo-se um condutor, no

caso o fio branco, ele deve ser conectado à porta “A0” da placa do Arduino, pois essa receberá valores bem diferenciados, com relação a tensão elétrica, valendo-se entre os terminais do LDR. Tais valores indicarão a medida da intensidade luminosa que está sendo incidida sobre o LDR.

Conforme figura, o fio preto deve ser conectado ao “GND” e a uma linha mais externa do protoboard, onde irá energizar toda a linha com carga negativa, enquanto que o fio vermelho irá alimentar a linha paralela logo abaixo da energização do fio preto, sequenciando ligamos no protoboard outro fio preto até o resistor de valor de 10 k $\Omega$ , por outro lado devemos usar um fio vermelho para conectar o LDR, ficando assim, de um lado fio vermelho de 5 V e do outro o fio branco que é referente a porta A0, quanto ao outro protoboard, devemos alimentar com energia dos fios preto e vermelho para suprir energia elétrica para o LED, ficando posicionado assim, fio vermelho que temo valor de 5 V, deve ter um resistor entre ele e o LED, pois sua capacidade em volts é de 3,0 V, caso desse valor pode queima-lo, então o resistor é da ordem de 330  $\Omega$ , e pelo outro lado do LED, deve-se conectar o “GND”, representado pelo fio preto.

A régua é somente para medir a distância de intensidade luminosa.

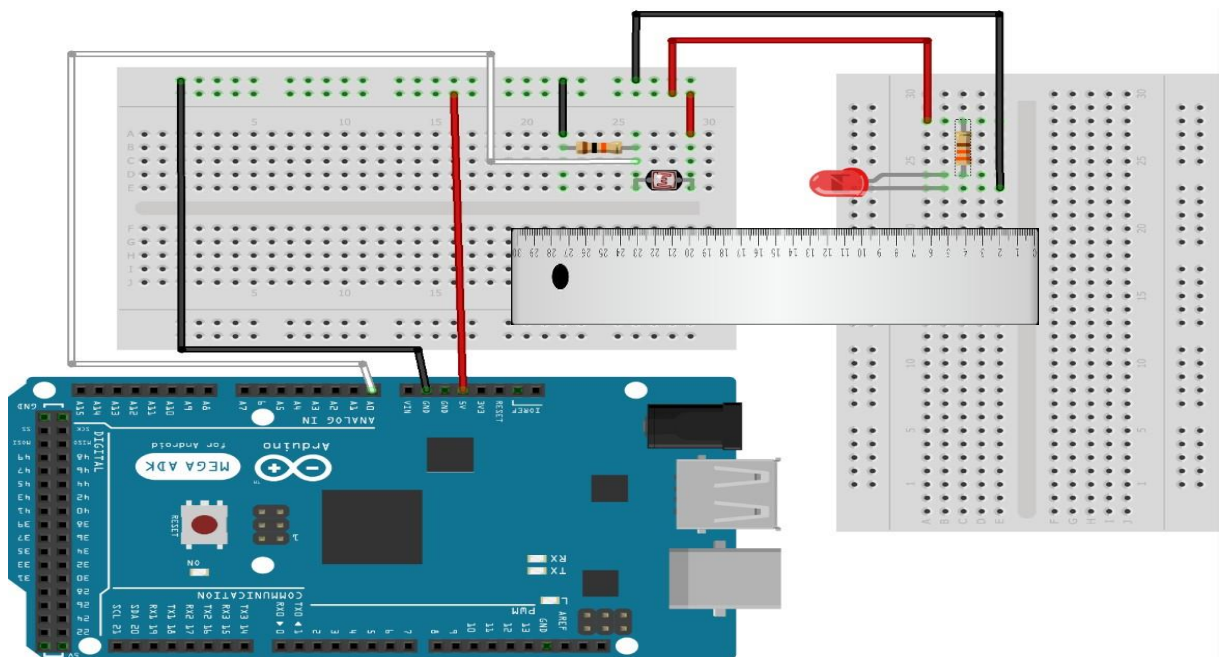


Figura 12 - Posicionamento do LDR e o LED, sendo medido com a régua.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Para podermos otimizar o processo de leitura, temos que aplicar o comando na placa Arduino, alertamos aqui que na plataforma do Tinkercad, basta posicionar as figuras e fornecer as conexões, pois ele gerará o código, mas apresentaremos assim o código:

```
int ldrPin = 0; // indica que o LDR deve estar no pino analógico 0
int ldrValor = 0; // armazena medidas do LDR
void setup() {
```

```

Serial.begin(9600);
}

void loop() {
ldrValor = analogRead(ldrPin); // lê o valor do LDR
delay(1000); // tempo de espera de 1 segundo
Serial.println(ldrValor);
}

```

Observando os valores atribuindo no código, quando se refere a variável “ldrValor”, neste será armazenado à medida que está sendo vinculada na própria resistência, esse processo é devido a não leitura da medida da resistência, mas o valor na porta analógica que por sua vez expressará a tensão elétrica que fica entre o LDR representado por 0 a 1023 (0 a 5 volts). Quanto ao comando que envolve “Serial.println”, nesse será imprimido o valor do LDR no Monitor Serial, apresentando uma proporcionalidade à resistência elétrica.

Após realizado todos os procedimentos de montagem, será conectado a placa Arduino ao computador, “upload” do código e o Monitor Serial, inicializará, podemos apresentar tecla de atalho (ctrl+shift+m), nele apresentará os valores que serão verificados. Caso não tenha nenhum erro, a cada 1 segundo aparecerá o valor do LDR, sendo atualizado sempre uma outra linha.

Pede-se que sejam posicionados os protoboards de forma que LDR e LED possam estar frente a frente, desta maneira poderá inclusive anotar os valores fornecidos no monitor para cada distância. Como forma de otimizar siga a tabela para preenchimento abaixo.

Registro	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Distância entre o LED e LDR										
Valores do LDR (Valor monitor serial)										
Média										

Quadro 4 - Registro das distâncias entre LDR e LED.

Obviamente o primeiro registro devesse a 0 cm, depois 45 cm e concomitantemente até poder chegar em dois metros, ou poder ser feito dez anotações. Neste trabalho fica como uma sugestão para as devidas medições.

Também apresentaremos como sugestão, algumas atividades que podem ser feitas aos alunos quando estiverem realizando esse experimento:

1. Elabore um gráfico com os dados que foram coletados pela distância entre o LDR e o LED;
2. Verifique a resistência do LDR, observando a variação pela intensidade de luz quando ao mover o LED. Qual a relação de proporcionalidade entre a intensidade de luz e a

resistência do LDR?

3. Para refletir, quais aplicações no dia a dia, quando utilizamos esse recurso que apresenta a variação luminosa com a resistência do LDR. Crie hipóteses.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Feito todas as apresentações sobre o produto e conteúdo, pode-se executar um Exercício Avaliativos sobre Efeito Fotoelétrico, considerando o desempenho dos alunos em quererem aprender e resolver questões como essa, sendo que foram apresentadas na pesquisa de satisfação sobre o produto, os mesmo puderam compreender que podem aproveitar com instrumentos simples construir a partir de sua própria imaginação segundo Brune, que acredita no próprio desenvolvimento da curiosidade atribuída ao jovem e descobrir caminhos que podem facilitar a vida. Em volta ao espiral do conhecimento assim mencionado por Jerome Brune, se justifica que somos seres que podemos analisar, resolver e construir, mediante as ferramentas utilizadas.

Observando as atividades desenvolvidas, pode-se perceber que a proposta contempla o trabalho, que procuramos desenvolver e ampliar as diversas formas do aluno conhecer e expressar o que o mundo apresenta ao educando, relacionando com outras situações de aprendizagem planejada e organizada.

Destacamos um componente efetivo do ato de conhecer, incluindo a curiosidade, o desenvolvimento da autoconfiança, a interação e o prazer da descoberta, a expectativa pelo novo, o que está para ser experimentado. Nessa interação cognitiva e afetiva, observamos o quanto pode ser desenvolvido o aprendizado nos diversos campos do conhecimento, assim como muitas habilidades foram desenvolvidas.

## REFERÊNCIAS

- BAKER, J. (2015). *50 ideias da física quântica que você precisa conhecer*. São Paulo: Planeta.
- BELICH JUNIOR, H. (2012). *Física Moderna*. Vitória: Núcleo de Educação Aberta e a Distância.
- BOHM, D. (2015). *A teoria da Relatividade Restrita*. São Paulo: UNESP.
- BOHN, D. (2015). *As teorias da relatividade restrita*. São Paulo: Editora Unesp.
- BOTTENTUIT JUNIOR, J. B. (2011). *Google Educacional: utilizando ferramentas Web 2.0 em sala de aula*. Rio de Janeiro: EducaOnline.
- BOYLESTAD, R. e. (1994). *Dipositivo Eletrônico e Teoria de Circuitos*. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil.
- CABRAL, J. C. (2015). *Efeito Fotoelétrico: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos*. Lavras: UFLA.
- CARRON, W., & GUIMARÃES, O. (2003). *As faces da Física*. São Paulo: Moderna.
- CAVALCANTE, M. A. (2002). *Física na Escola* 3, 24.
- CAVALCANTE, M. A. (2005). *Revista Brasileira de Ensino de Física* 27, 343.
- CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R., & HAAG, R. (2005). *Experiência em Física Moderna*. São Paulo: Fisicana Escola.
- DELIZOICOV, D., A. J. (2002). *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez.
- EISBERG, R. (1979). *Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. São Paulo: LTC.
- EISBERG, R. (1994). *FÍSICA QUÂNTICA*. Rio de Janeiro: Campus.
- GIACAGLIA, L. R. (1986). *Teoria da instrução e ensino por descobertas: contribuições de Jerome Bruner, In: Pentead, W. M. ET alii. Psicologia e Ensino*. São Paulo: Papelivros.
- GONTIJO, L. M. (2020). *Estudo sobre a Radiação Térmica*. Goiânia: PUC-GOIÁS.
- GOOGLE. (2017). *Clear Google Drive space & increase storage*.
- HALLIDAY, D., & RESNICK, R. (2009). *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: Livro Técnico e Científico.
- HEIDEMANN, L. A., OLIVEIRA, Â. M., & VEIT, E. A. (2010). *Ferramentas online no ensino de ciências: uma proposta com o Google Docs*. São Paulo: Física na escola.
- ISSACSON, W. (2007). *EINSTEIN: sua vida, seu universo*. São Paulo: Campanha das Letras.
- LDB. (1996). *4. BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei nº 9.394*. Brasília: Brasília.
- LIMA, A. F. (2018). *PROPOSTA DE UMA UEPS PARA ENSINAR O EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO*. Brasília: MNPEF.
- M.M.M, N., C.S., B., D. G. M., S., & V. C. , P. (2014). Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade. (*Fundamentals on emissivity and its correlation with the refractory materials, energy saving and the environment*, pp. 22-33.
- MONK, S. (2013). *Programação com Arduino*. São Paulo: Bookman.

- NIEVES, L. S. (1997). *The physics teacher* 35 .
- PRESTES, M. B., & SILVA, C. C. (2013). *Aprendendo Ciências e sobre a sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*. São Carlos: Tipografia.
- PROGOL, S. (2012). *A importância da utilização de práticas no processo de ensino-aprendizagem de ciências naturais*. Uniãoeste: PR.
- SANTIAGO, M. E., & DOS SANTOS, R. (2014). *Google Drive como ferramenta de produção de textos em aulas de inglês instrumental*. São Paulo: Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem.
- SILVA, R. C. (2004). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 379.
- TERRAZZAN, E. A. (1992). *A inserção da física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau*. Florianópolis: Caderno Catarinense de Ensino de Física.
- TIPLER, P. A. (2006). *FÍSICA MODERNA*. Rio de Janeiro: LTC.
- VALADARES, E. d. (2005). *Aplicações da Física Quântica: Do Transistor à Nanotecnologia*. São Paulo: Livraria da Física.

# APÊNDICE A: Apresentação à Física Moderna

## A.1 Inspeção da literatura

Um das formas de confrontarmos os alunos com os conhecimentos da Física que será contextualizada em sala de aula, considerando que pretendemos ter um avanço no Ensino e Aprendizado para o Ensino Médio, para que sejam mais eficazes, temos que fazer alusão aos tópicos de Física Moderna apresentado nos livros didáticos, umas das maneiras necessárias é uma boa revisão do Ensino de Física. Temas que possam abordar para subsidiar: Mecânica, Ondas, Termodinâmica, Óptica e Eletromagnetismo, respaldando assim tópicos da Física Moderna (LIMA, 2018).

## A.2 Contexto histórico

Considerando que a Física houve uma transformação significativa após a época de Newton, sendo um marco com a teoria da relatividade, em seu apogeu da física clássica com e a física Quântica, iniciada por Max Planck, no ano de 1900, argumenta que a energia troca-se, na radiação emitida por corpos aquecidos e os átomos da parte sólida estariam quantizados, a descrição matemática do efeito fotoelétrico, estava suposta que a luz torna-se absorvida e emitida em quanta discretos e relacionanda com a frequência da luz (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

A natureza quântica da radiação em seu estudo da radiação térmica emitida por corpos considerados negros, conforme descrição, temos que quando a radiação incide sobre um corpo considerado opaco, é visto que parte é refletida e o restante é absorvido. A parte de absorção pode ser descrita da seguinte forma: A radiação absorvida com o aumento da energia cinética dos átomos existentes no processo, equilibrando-o. Na translação dos átomos, a energia cinética média determina a temperatura do corpo, e a energia absorvida, causando a subida da temperatura. Conseqüentemente, os átomos emitem radiação eletromagnética, reduzindo assim a energia cinética das oscilações, e reduzir a temperatura por conseqüente (BELICH JUNIOR, 2012).

Historicamente no final do século XIX, acreditava-se que as Leis da Física já estavam todas desvendadas e que a Mecânica Clássica (Newtoniana) e a Termodinâmica, juntamente com o Eletromagnetismo, podiam explicar tudo. No entanto, foi justamente o Eletromagnetismo que trouxe dúvidas sobre o que se conhecia até então. Entre os questionamentos estava a necessidade de um meio (chamado de éter) para as ondas

eletromagnéticas se propagam, o que foi refutado por experimentos mais sensíveis Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923) em 1887 (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994). O problema do éter foi resolvido por Einstein em 1905 quando ele publicou sua Teoria da Relatividade Especial, que é parcialmente baseada no postulado (e nas evidências do experimento de Michelson-Morley) de que a velocidade da luz é independente da velocidade da fonte que a emite (BAKER, 2015).

No eletromagnetismo, as equações de Maxwell não eram invariantes, este problema logo solucionado pela Teoria da Relatividade Especial de Einstein de 1905, mostrou as transformações galileanas que não definem referenciais inerciais. Em vez disso, a chamada Transformação de Lorentz (BOHM, 2015), propostas independentemente por Lorentz e o físico irlandês George FitzGerald (1851-1901), é a transformação fundamental que desempenha esse papel, essa transformação também reescrita por Einstein em 1905. Presumindo-se que o eletromagnetismo era uma teoria perfeitamente consistente com a relatividade especial e que a Mecânica newtoniana apresentava limitações. Além disso, a incapacidade de explicar a distribuição de energia da radiação do corpo negro, era possível explicar o espectro do corpo negro em frequências baixas e altas, nenhuma teoria poderia explicar a forma de todo o espectro (BOHN, 2015).

### A.3 A constante de Planck e a origem da Física Moderna

É suposto que ao definirmos um Corpo Negro, sendo pelo meio ou por uma substância ao absorver a radiação que está sendo incidente sobre este material, vale uma ressalva que não há dependência do comprimento de onda ou sua própria direção. Portanto, a radiação incidente, sempre será refletida ou transmitida, permitindo assim troca com meio externo, reafirmando conceitos da física da termodinâmica, que diz que corpos ao se encostarem, ocasionarão em um equilíbrio térmico, seguindo critérios a seguir:

1. Quando se tratar da termodinâmica não haverá gradiente para a temperatura, ou seja, será constante e homogênea ao Corpo Negro - CN;
2. Quando se tratar da parte mecânica não haverá forças líquidas ou tensões, ou seja, a pressão será constante para todo o CN;
3. Quando se tratar da radiação, o fluxo será sempre constante, em linhas gerais, o fluxo que entra é o mesmo que sai; e
4. Quando se trata da química, todas as reações são balanceadas por uma reação inversa, ou seja, a composição é a mesma em todo o CN.

Para tanto, nesse processo do CN, imaginemos uma abertura em uma de suas paredes,

que está sendo confinado em um caixa fechada, a incidência da radiação emitida, será absorvida pela abertura, caracterizaremos que essa radiação emitida pela abertura, denominaremos a radiação do CN tem que seguir as seguintes itens:

- Sendo isotrópica;
- Sendo não polarizada;
- Sendo independente da constituição do corpo
- Sendo dependente da temperatura do corpo e do comprimento de onda.

O espectro de radiação térmica da matéria condensada é um desses problemas que mostram, de forma simples, a natureza quântica do mundo subatômico, manifestada numa escala macroscópica. A apresentação de um modelo para a descrição deste tipo de radiação por Planck, em 1900, é considerada o nascimento da Mecânica Quântica, embora ela realmente só tenha se desenvolvido cerca de 30 anos depois. De fato, como veremos a seguir, a introdução de níveis de energia discretos foi essencial para o sucesso do modelo proposto por Planck (EISBERG, 1979).

Por certo que existem vários métodos que possam ser utilizados para que haja uma melhor determinação da constante de Planck ( $h$ ), pois existem vários experimentos que comprovam, muitas delas são elementares e outras mais elaboradas, para tanto, temos o Instituto Nacional de Padrão Tecnológico – NIST (National Institute of Standards and Technology) e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, que determinam um padrão de massa sendo independente do material de estudo.

#### A.4 O que é radiação térmica?

Para que possamos entender sobre energia térmica, temos que lembrarmos de processos de energia mecânica, que foi muito bem configurada em conceitos clássicos da física, porém com o desenvolvimento da teoria eletromagnética de Maxwell, pode-se construir conceitos para que possa ser explicado determinados fenômenos calóricos (GONTIJO, 2020).

Em 1800, o astrônomo alemão Sir William Herschel (1738-1822) apresentou um experimento, em que observava as temperaturas das cores, no seu espectro solar conforme figura a seguir, um detalhe que aumentava à medida que estava próximo do espectro vermelho, onde foi determinado a temperatura mais alta para o vermelho, fato que se deu hipótese dos raios infravermelhos, logo em 1801, o físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) esclarece os raios invisíveis do espectro violeta, denominando-os de raios ultravioletas (GONTIJO, 2020).



*Figura A13 William Herschel ao lado do seu Experimento.*

Fonte: <https://natalgeo.blogspot.com/2016/11/>

O físico francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832), em seu livro: “Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo e sobre as Máquinas Próprias para desenvolver essa Potência”, publicado em 1824. Carnot apresenta a máquina de calor, sendo uma máquina ideal e sem atrito, que realizava um ciclo completo, usando somente vapor, mais tarde conhecido como ciclo de Carnot (GONTIJO, 2020).

Embora Carnot, com uma série observações escritas em 1832, comparando a “queda” do calórico em máquinas, ou seja, procurou determinar o equivalente mecânico do calor  $J$ , que foi determinado nos experimentos realizadas, no período de 1842 e 1843, pelos ingleses, Julius Robert Mayer (1814-1878) e o físico James Prescott Joule (1818-1889) (GONTIJO, 2020).

A forma inicial da Lei da Conservação da Energia, foi caracterizada pelo físico e fisiologista alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894), em 1847, hoje conhecida como a Primeira Lei da Termodinâmica. A produção de trabalho na máquina de Carnot foi assimilada pela realização do trabalhos do físico alemão Rudolf Julius Clausius (1822-1888), quando foi introduzido em 1865, o conceito de entropia ( $S$ ), e as Leis da Termodinâmica, ficaram compreendidas da seguinte maneira (TIPLER, 2006):

- Primeira lei: A energia do Universo é constante.
- Segunda lei Segunda Lei: A entropia do Universo tende para um máximo.

Ao se afastar do processo de máquinas térmicas, mencionamos à radiação calorífica dos primeiros físicos que preocupados em medir a radiação, o dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), a experiência sobre a absorção e a emissão da radiação calorífica em placas de sal de rocha, o físico escocês Balfour Stewart (1828-1887), dedziu que: “O poder emissor de cada espécie de substância é igual ao seu poder absorsor, para cada espécie de raio (comprimento de onda) do calor radiante” (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

Para que possamos compreender a emissão ( $e$ ) e a absorção ( $a$ ) do calor dos corpos realizadas, em 1859, pelo físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), quando deduziu a relação entre a função do comprimento de onda ( $\lambda$ ) da radiação emitida ou absorvida, para o corpo que tinha uma temperatura  $T$ , escrevendo matematicamente, temos:  $(e/a)_\lambda = I(\lambda, T)$ , na sequência foi inserido o conceito de corpo negro. Salientando-se que Kirchhoff presumia que o resultado de suas pesquisas poderia explicar as raiais de Fraunhofer, analisadas em 1814 (BELICH JUNIOR, 2012).

É a radiação emitida por um corpo em função de sua temperatura. Todos os corpos a nossa volta estão constantemente emitindo e absorvendo radiação térmica; para temperaturas usuais a emissão se dá numa faixa de frequência de infravermelho (10<sup>12</sup> -10<sup>14</sup> Hz), que não é visível (BAKER, 2015).

Se um corpo está mais quente que sua vizinhança a emissão de radiação térmica vai predominar sobre a absorção, e se ele estiver mais frio, a absorção vai predominar. Quando um corpo está em equilíbrio térmico com sua vizinhança a emissão é igual à absorção (lei de Kirchhoff) (EISBERG, 1979).

Nosso senso comum diz que corpo negro é um objeto de cor preta que tem como propriedade absorver praticamente toda a luz incidente sobre ele. Esta definição está perto da definição correta, vamos apenas estendê-la e considerar todo tipo de radiação. Um corpo negro é então, um corpo que absorve toda a radiação incidente sobre ele, ou seja, ele não é capaz de refletir a radiação incidente (CARRON W. G., 2003).

A Radiação do Corpo Negro, também denominada Radiação Térmica, é a radiação emitida por um corpo por causa de sua temperatura, mesmo no escuro, como, por exemplo, a fogueira e filamento de lâmpada incandescente. A radiação do corpo negro é um dos assuntos de Física Moderna que pode ser considerado como uma das descobertas não explicadas pela teoria clássica. O tema corpo-negro refere-se não ao brilho, mas à ausência de refletividade (CARRON W. G., 2003). O Sol e outras estrelas são alguns dos corpos muito utilizados experimentalmente, quando se analisa a radiação do corpo negro. Conforme a figura abaixo, apresenta um esquema da radiação de um corpo-negro (EISBERG, 1979).

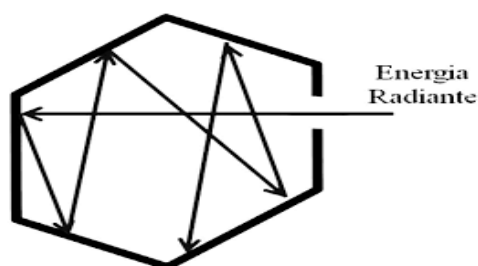


Figura A14 Representação de um CN onde a radiação externa à cavidade e que penetra pelo Orifício é absorvido nas paredes internas (M.M.M, C.S., D. G. M., & V. C. , 2014).

A definição do corpo negro é entendida através da energia radiante que são ondas eletromagnéticas produzidas por meio da aceleração das cargas elétricas. Na organização molecular da matéria, quando ocorre uma “agitação” acompanhada de uma oscilação de cargas elétricas, há a emissão de ondas eletromagnéticas. Isto é, o que se refere como emissão de radiação (BELICH JUNIOR, 2012).

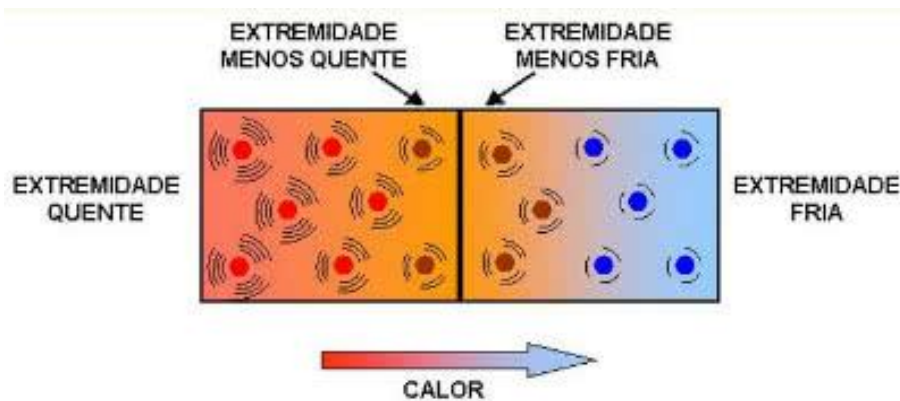


Figura A15 A largura da seta são proporcionais às quantidades envolvidas. parcela refletida pelo corpo quente é maior que refletida pelo corpo frio - compensação.

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/equilibrio-termico/>

Caso está agitação atômica seja decorrente de uma agitação térmica, a radiação é denominada radiação térmica. Um outro aspecto importante é que os corpos, em geral, absorvem a energia radiante, a qual provoca-lhe aumento na “agitação” molecular e consequentemente acréscimo de temperatura (PRESTES & SILVA, 2013). Diz-se que o corpo está em equilíbrio térmico com o ambiente ao seu redor, quando a sua taxa de emissão de energia radiante é igual à sua taxa de absorção; caso contrário, haveria variação em sua temperatura, violando a hipótese térmica. Então, um bom absorvedor de energia radiante é também um bom emissor. O absorvedor ideal em equilíbrio térmico com o meio ambiente é chamado corpo negro. A figura abaixo representa dois corpos em equilíbrio térmico (EISBERG, 1979).

A quantidade de energia irradiada por unidade de tempo e por unidade de área é chamada de poder emissivo, designado pela letra  $R(\lambda)$  – Radiância espectral. Em 1879, Josef Stefan (1835 – 1893) determinou uma relação empírica, demonstrada pouco mais tarde por Ludwig Eduard Boltzmann (1844 – 1893), segundo a qual se verifica que o poder emissivo do corpo negro é proporcional à temperatura absoluta (T) elevada à quarta potência  $R(\lambda) = \sigma T^4$ . A constante  $\sigma$ , conhecida como constante de Stefan-Boltzmann, vale, no S. I.  $\sigma = 5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ . A energia irradiada por um corpo não é uniforme quanto ao

comprimento de onda. Havendo comprimento de ondas da ordem de aproximadamente  $2 \times 10^{-4} \text{cm}$  a irradiação é máxima (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

No final do Século XIX, alguns físicos se destacaram, Maxwell, Boltzmann, Kirchhoff, Stefan, Jeans, Rayleigh, Einstein e muitos outros, que contribuirão para a criação da Física Quântica. Em destaque foi Planck, que idealizou do eletromagnetismo, pacotes de ondas, em que pode unificar as equações de Wein e Rayleigh-Jeans (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Para que possamos compreender matematicamente, deve-se seguir o princípio eletromagnético, temos que a densidade de energia utilizado é representada por:

$$u = \frac{1}{8\pi} (E^2 + B^2)$$

Figura A 1 Densidade Eletromagnética

Considerando que para definirmos uma nova densidade de energia, se faz necessário que atribuamos uma média da equação 1:

$$\bar{u} = \frac{\text{densidade de energia}}{\text{unidade de frequência}} \left( \frac{\text{erg/seg}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\bar{u} dv = \text{densidade de energia } v + dv$$

Tomando a menor porção para que possa ser identificado integralmente em todos os eixos tomados, temos então:

$$\int_0^{\infty} \bar{u} dv = u \left( \frac{\text{erg/seg}}{\text{cm}^3} \right)$$

Figura A 2 Densidade de Energia.

Para que entendamos bem esse processo, temos que voltar no tempo, no ano de 1895, quando então Kirchhoff em suas anotações percebeu que uma fornalha ao qual havia madeira e ferro, percebendo que sua variação de cor era proeminente, mas a questão era, quais componenete mudavam de cor? Então propos um experimento desta forma, um forma com uma abertura, sendo que haviam dois e que os orifícios estavam de frente um para o outro, emitindo calor, conforme a ceta vermelha apresentado na figura abaixo.

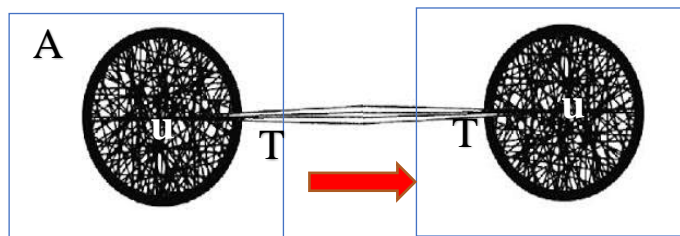


Figura A4 Fornalha A com orifício voltado para o orfício da fornalha B, depois que se igualam.

Fonte: [https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Ffisicanodiaadia.blogspot.com%2F2012%2F02%2Fo-corporo-negro.html&psig=AOvVaw3iuSjN98DOJVmljBrT1uaG&ust=1645631213069000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCMiu7oTUK\\_YCFQAAAAAdAAAAABAS](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Ffisicanodiaadia.blogspot.com%2F2012%2F02%2Fo-corporo-negro.html&psig=AOvVaw3iuSjN98DOJVmljBrT1uaG&ust=1645631213069000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCMiu7oTUK_YCFQAAAAAdAAAAABAS)

Contudo, kirchhoff, tomou as devidas precauções e anotações, ficando desta forma para a densidade, que envolve tanto temperatura quanto frequência:

$$\bar{u}_A(\nu, T) = \bar{u}_B(\nu, T)$$

Figura A 3 Densidades de energia sendo igualadas matematicamente.

Partindo deste presuposto que a energia migraria de A para B, então a fornalha B ficaria com maior temperatura que a inicial, definida desta forma  $T_A > T$ . Contudo, percebe-se que isso violaria a segunda lei da Termodinâmica, utilizando a equação 4, para compreendê-la:

$$\bar{u}_A(\nu, T) = \bar{u}_B(\nu, T)$$

$$\bar{u}_A = \bar{u}_B$$

$$T_A = T_B$$

Chegando a essa dedução, parte para outra observação, considerando que a função universal de densidade de energia para  $\bar{u}$  e  $u$ , apresenta uma hipótese inicial, que não dependeria do corpo, mas apresentando em si, quantidade de movimento, densidade área de contato e incidência da radiação, bem como a inclinação. Temos que o fluxo se dar por  $\Phi = \frac{c}{4\pi} u(T)$ , o momento relativístico que dado por  $p = \frac{E}{c}$  e gerando a diferença entre os momentos de incidência com o momento refletido  $\Delta p = \vec{p} - \vec{p}'$ .

Partimos que a força que age no processo é dada

$$\text{por } \bar{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t}.$$

$$\bar{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \Rightarrow \bar{F} = \frac{\vec{p} - \vec{p}'}{\Delta t} \text{ (i)}$$

Temos para incidência e par refletida

$$\vec{p} = \frac{u\Delta v}{c} \vec{n} \text{ (ii)}$$

$$\vec{p}' = \frac{u'\Delta v}{c} \vec{n}' \text{ (iii)}$$

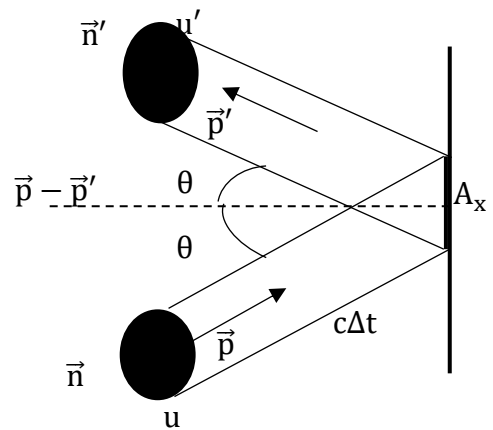
Para a velocidade incidência da radiação, definimos que  $\Delta v = Ac\Delta t \cos\theta$  (iv)

Ao substituirmos na primeira equação, as (ii) e (iii), teremos:

$$\bar{F} = \frac{\left(\frac{u\Delta v}{c} \vec{n}\right) - \left(\frac{u'\Delta v}{c} \vec{n}'\right)}{\Delta t}$$

$$\bar{F} = \frac{\frac{\Delta v}{c} (u\vec{n}) - (u'\vec{n}')}{\Delta t}$$

$$\bar{F} = \frac{\Delta v (u\vec{n}) - (u'\vec{n}')}{c\Delta t}$$



Substituindo agora a equação (iv) na função, termos:

$$\bar{F} = \frac{Ac\Delta t \cos\theta (u\vec{n}) - (u'\vec{n}')}{c\Delta t}$$

Finalizando assim,

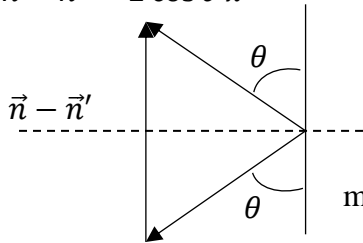
$$\bar{F} = A \cos[(u\vec{n}) - (u'\vec{n}')] ]$$

Para tanto, utilizando uma reflexão total, temos que  $u = u'$ , então a equação:

$$\bar{F} = A u \cos[\vec{n} - \vec{n}'] (v)$$

Melhorando mais a equação anterior, temos que reanjanjar as normais, ficando assim:

$$\vec{n} - \vec{n}' = 2 \cos \theta \hat{x}$$



$$\bar{F} = A u \cos[\vec{n} - \vec{n}']$$

$$\bar{F} = A u \cos[2 \cos \theta \hat{x}]$$

$$\bar{F} = 2 A \cos^2 \theta u$$

Desta forma Kirchoff pode apresentar matematicamente a relação de pressão da reflexão da radiação:

$$P = 2 u \cos^2 \theta$$

Figura A 4 Pressão da reflexão da radiação.

Partindo então desta anotação, na figura 4, quando parte-se de uma casaca esférica, pois há relação com a superfície da Terra, para tanto, observamos por outro ângulo esse processo, que mostraremos utilizando a pressão de reflexão da radiação, demonstrado na equação 5.

Observe a figura A5, temos que  $\omega = \Omega$ , temos que na equação, podemos substituir, ficando assim:

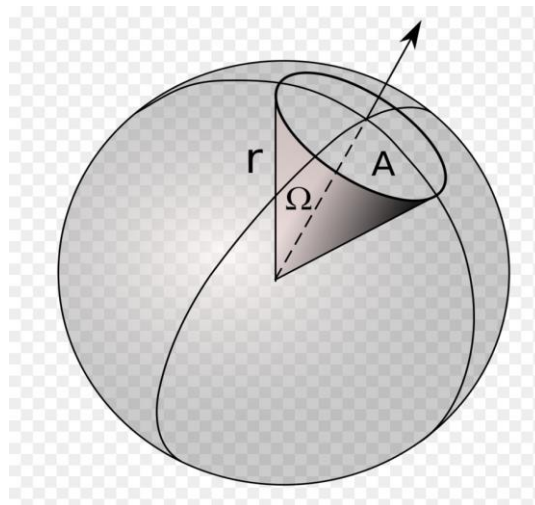


Figura A5 Emissão de radiação na camada de uma esfera.

Fonte: <https://www.gratispng.com/png-j9ycka/>

$$dP = 2 \cos^2 \theta \frac{d\Omega}{4\pi} u$$

Temos que para um hemisfério, podemos então realizar da seguinte maneira o trato matemático:

$$\int dP = \int 2\cos^2\theta \frac{d\Omega}{4\pi} u$$

Para duas direções, temos:

$$P = \int_0^\pi \int_0^\pi u \frac{2\cos^2\theta}{4\pi} \sin\theta d\theta d\varphi$$

Considerando que  $w = \cos\theta$

$$dw = -\sin\theta d\theta \rightarrow -dw = \sin\theta d\theta$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \int_0^\pi w^2 (-dw) d\varphi$$

$$P = -\frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} w^2 dw d\varphi$$

$$P = -\frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{w^3}{3}\right)_0^{2\pi} d\varphi$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{\cos^3\theta}{3}\right)_{2\pi}^0 d\varphi$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \frac{1}{3} \int_0^\pi (\cos^3 0 - \cos^3 \pi) d\varphi$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \frac{1}{3} \int_0^\pi 2 d\varphi$$

$$P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} \int_0^\pi d\varphi$$

$$P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} \varphi_0^\pi$$

$$P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} (\pi - 0) \rightarrow P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} (\pi)$$

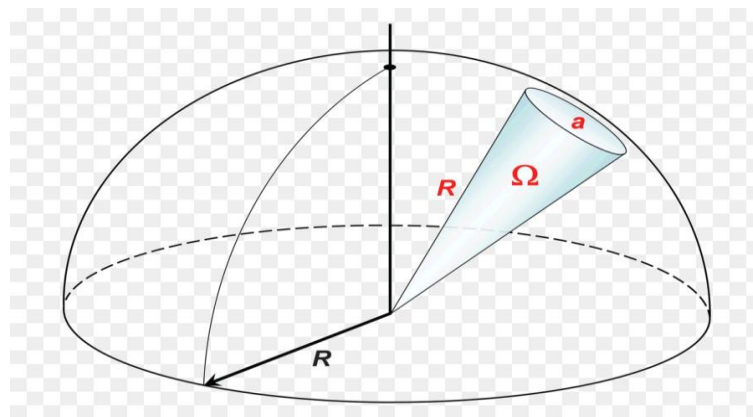


Figura A6 Representação de hemisfério para o calculo de integral.

Fonte: <https://www.freepng.es/png-xvhavu/>

Por fim temos, podemos apresentar a pressão total da absorção da radiação deduzida por Kirchhoff:

$$P = \frac{u(T)}{3}$$

Figura A 5 Pressão da absorção total da Radiação do Corpo Negro.

Desta forma forma podemos para a radiação do CN, contudo usaremos as leis da Termodinâmica, para que os calculos possam ser compreendidos, para tanto temos a equação da energia total:

$$U = Vu(T)$$

Figura A 6 Energia total de um corpo.

Temos que o volume está envolvido pela pressão, por isso temos trabalho, segue a descrição:

$$dV \rightarrow dW = PdV$$

Substituindo na equação do trabalho a equação A5, temos:

$$dW = \frac{u(T)}{3}dV \rightarrow dW = \frac{u}{3}dV$$

Mas para tanto lembrando que o trabalho está relacionado a entropia (S), ficando assim:

$$dW \rightarrow dS = \frac{dU + dW}{T}$$

Por sua vez, ao substituimos os temos, teremos:

$$dS = \frac{u}{T}dV + \frac{V}{T}\frac{du}{dT}dT + \frac{u}{3T}dV$$

Organizando os temos, temos:

$$dS = \frac{4u}{3T}dV + \frac{V}{T}\frac{du}{dT}dT$$

Figura A 7 Distribuição Termodinâmica da Densidad ede energia do CN.

Todavia a variação da entropia, faz com que seja uma diferencial exata, lembramos da seguinte expressão:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x}dx + \frac{\partial f}{\partial y}dy$$

Vimos que pode ser feito um reajunjo, ficando assim:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x}$$

$$dS = \frac{4u}{3T}dV + \frac{V}{T}\frac{du}{dT}dT$$

$$\frac{1}{dT}\left(\frac{4u(T)}{3T}\right) = \frac{1}{T}\frac{du}{dT}$$

Organizando as equações:

$$\frac{4}{3T} \frac{du}{dT} - \frac{4u}{3T^2} = \frac{1}{T} \frac{du}{dT} \rightarrow 4 \frac{u}{T}$$

Para tanto, substituindo na equação, teremos:

$$\frac{du}{u} = 4 \frac{dT}{T} \rightarrow \ln u = \ln T^4 + C$$

Onde historicamente, chega parcialmente a equação da radiação espectral:

$$u = aT^4$$

Figura A 8 Dependência da densidade de energia de CN.

Um resultado sobre a radiação térmica, desenvolvido pelo físico austríaco Josef Stefan (1835-1893), no ano de 1879, realizou experimentos que determinavam a velocidade dos corpos ao esfriarem, medindo também a área sob as curvas do espectro radiante e, chegou empiricamente à seguinte lei:  $R \propto T^4$ , sendo que R é intensidade da radiação (energia por unidade de área e por unidade de tempo) emitida por um corpo para uma temperatura T, conforme demonstrada na equação A8 (GONTIJO, 2020).

A primeira demonstração matemática da lei de Stefan, demonstrada por Boltzmann ao considerando que, em 1884, a radiação eletromagnética dentro de um CN, usando um gás, usando a termodinâmica de Carnot e os princípios eletromagnética de Maxwell. Boltzmann mostrou que  $R(\lambda) = \sigma T^4$ , onde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

Considerando que no fluxo da radiação mencionado anteriormente, mas sendo lembrado a, temos que:

$$\Phi = \frac{c}{4\pi} u$$

Substituindo com a equação 9 no fluxo, teremos:

$$\Phi = \frac{c}{4\pi} aT^4$$

onde foi determinado o título da curva espectral, contudo, faltava a curva propriamente dita:

$$R(\lambda) = \sigma T^4 \left( \frac{\text{quantidade de energia}}{\text{área e tempo}} \right)$$

Encontrando assim o valor da constante:

$$\sigma = 5,7 \times 10^{-5} \text{ erg/cm}^2\text{sK}^4$$

Contudo para o fluxo da energia  $R(\lambda) = \sigma T^4$ , temos a relação da integral de proporcionalidade para a densidade de energia e temperatura.

$$u = \int_0^{\infty} \bar{u}(\nu, T) d\nu \propto T^4$$

Uma outra melhor compreensão deste desenvolvimento que se dá análise espectral pela análise dimensional, assim compreender por um outro processo que envolva as seguintes

unidades, tais como comprimento (L), tempo (t), energia (e) e temperatura ( $\theta$ ), segundo os mesmos parametros da densidade de energia que se segue abaixo:

$$\bar{u}(v, T) = \frac{et}{L^3}$$

Figura A 9 Análise adimensional da densidade de energia do CN.

Elaboradamente, vamos considerar uma constante que possa envolver a densidade de energia, comprimento, tempo, energia e temperatura, então, usaremos a letra “pi” no seu estado maiúscula, tal ação é para representar melhor a equação abaixo, que será distribuída em uma tabela, em que cada célula atribuirá os símbolos conforme mencionada anteriormente. Lembrando que é um processo adimensional.

$$\Pi = \bar{u}v^b T^d c^f k^g$$

Figura A 10 Distribuição por análise adimensional da densidade do corpo negro.

Mostraremos em uma tabela comparativa, distribuindo assim os termos envolvidos:

Tabela 1 Substituição de unidade adimensional para encontrarmos os expoentes referentes.

$\bar{u}$	$v$	$T$	$c$	$k$
$\frac{et}{L^3}$	$t^{-1}$	$\theta$	$\frac{L}{t}$	$e\theta^{-1}$

De acordo com a tabela 01, mostra a distribuição de uma análise adimensional para cada componente da equação A10. Consideramos que cada expoente apresenta uma letra relativa à quantidade de repetições, nesta condições podemos montar um total a seguir, que será representado na tabela 02.

$$\Pi = \frac{et}{L^3} t^{-b} \theta^d \frac{L^f}{t^f} e^g \theta^{-g}$$

Figura A 11 Valores encontrados dos expoentes que correspondem a cada componente da equação provisória.

Tabela 2 Distribuição dos expoentes que correspondem a cada componente da equação sugerida.

$e:$	$1 + g = 0$	$g = 1$
$t:$	$1 - b - f = 0$	$b = -2$
$L:$	$-3 + f = 0$	$f = 3$
$\theta:$	$d - g = 0$	$d - g = -1$

Em conformidade com os valores dos expoentes extraídos na equação 11, podemos substituir respectivamente e atribuí-lo:

$$\Pi = \bar{u}v^{-2}T^{-1}c^3k^{-1}$$

Colocando em função da densidade de energia, temos:

$$\bar{u}(v, T) = \frac{\Pi v^2 k T}{c^3}$$

Conforme a expressão vista por análise adimensional, na forma experimental temos que

$\Pi = 8\pi$ , então a equação ficará em novo formato:

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}$$

Figura A 12 A análise adimensional no formato experimental da densidade de energia do CN.

Mas quando fizer a integral  $u \neq T^4$ , a frequência cresce rapidamente, causando a Catástrofe do Ultravioleta e não podendo ser explicado na natureza da radiação (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994)

Fundamentados na Física Clássica, os físicos James Hopwood Jeans (1877 – 1946) e John William Strutt (1842 – 1919) encontraram uma expressão para descrever a curva de distribuição das radiações. Essa expressão descrevia bem os comprimentos de ondas considerados grandes, porém afastava-se muito dos resultados experimentais a partir da radiação ultravioleta, que representa a diferença estabelecida entre o resultado experimental e a teoria clássica na relação existente entre intensidade da radiação e o comprimento de onda, na figura A6, está representando a relação entre os valores da intensidade de radiação com os valores dos comprimentos de onda (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

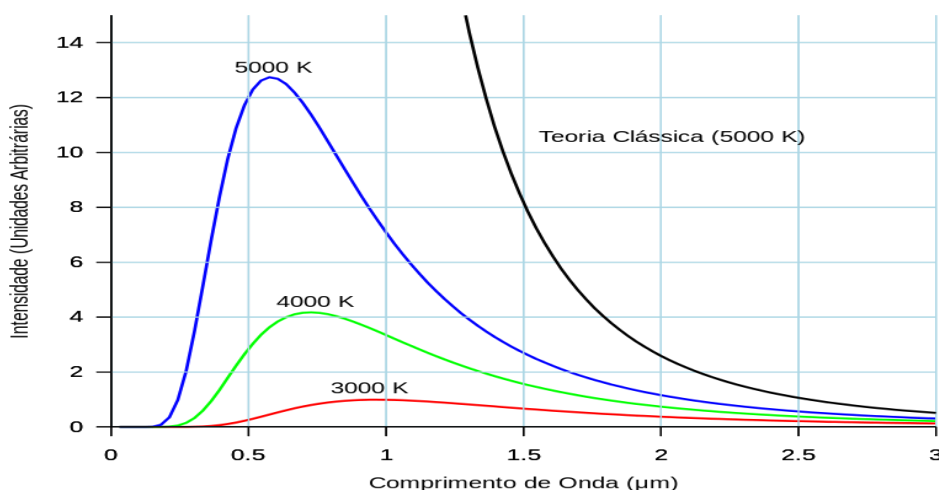


Figura A7 Espectro de emissão de um corpo negro a temperatura de 5000 K.

Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo\\_negro](https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo_negro)

Observando os resultados apresentado por Kirchoff, outro físico teórico, ao medir a intensidade da radiação solar para vários comprimentos de onda em determinada superfície, na região infravermelha, observando esse deslocamento do máximo, a intensidade da radiação proporcional ao aumento de temperatura. Tal experimento foi demonstrada matematicamente pelo físico alemão Wilhelm Wien (1864 - 1938), em 1893, e hoje na maioria dos livros de Física Moderna é conhecido como a lei do deslocamento de Wien (GONTIJO, 2020).

Quando Wien se pos a observar os resultados da equação 13, que trata da densidade de energia, pode apresentar neste formato:

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{\nu^2 kT}{c^3} f(\alpha \nu T^n)$$

Figura A 13 Análise feita por Wien usando a equação da densidade de energia.

Para que conheçamos melhor, apresentaremos seus fundamentos e aplicações matemáticas, atribuindo-se uma função adimensional, partimos deste princípio:

$$x = \alpha \nu T^n \Rightarrow dx = \alpha T^n d\nu$$

vimos que sua frequência é máxima, representada por  $\nu$  máximo, partimos do princípio que usaremos a equação 2,

$$u = \int_0^{\infty} \bar{u} d\nu$$

Substituindo e Integrado equação 14, temos:

$$u = \frac{kT}{c^3} \int_0^{\infty} \nu^2 f(\alpha \nu T^n) d\nu$$

Chegamos então a esta equação:

$$\bar{u} = \frac{kT^{1-3n}}{\alpha^3 c^3} \int_0^{\infty} f(x) x^2 dx = T^4$$

Uma forma de observamos melhor é separar os expoentes e termos para podermos observar seus parâmetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 - 3n = 4 \quad (h = \text{energia tempo} = \text{constante de Planck}) \\ \alpha = \frac{h}{k} \rightarrow \frac{\alpha \nu}{T} = \frac{h\nu}{kT} \quad (\text{dimensão de energia}) \\ \bar{u} = \frac{\nu^2 kT}{c^3} f\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \rightarrow (\text{Lei de Wien}) \end{array} \right.$$

Façamos que  $f$  seja uma constante, assim teremos que obter tudo em função de  $f$ , vejamos:

$$f = f_0 \nu e^{h\nu/kT}$$

Retomaremos a equação, ficando assim:

$$\bar{u} = \frac{kT^{1-3n}}{\alpha^3 c^3} \int_0^{\infty} f(x) x^2 dx = T^4$$

Ficando então desta forma:

$$\bar{u}(\nu, T) = f_0 \frac{kT}{c^3} \nu^3 e^{-h\nu/kT}$$

Figura A 14 Dedução final de Wien para o deslocamento de energia.

Observando também que nos modelos apresentados que foram relacionado por Wien, podemos diferenciar resumidamente as equações obtidas para esclarecer a figura 6, para o lado direito era uma equação e para o lado esquerdo outra equação, que causava a catástrofe do

ultravioleta, em ambas, não se complementavam, vejamos suas principais características (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994):

Rayleigh-Jeans

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}$$

- Baixa Frequência
- Catástrofe do Ultravioleta
- É incapaz de prever uma frequência máxima

Wien

$$\bar{u}(\nu, T) = cte \frac{kT}{c^3} \nu^3 e^{-h\nu/kT}$$

- Alta Frequência
- Consegue prever a frequência máxima.

Obviamente que a intenção era ter uma equação que satisfazia para os dois lado, para alta e baixa frequências, por mais que Rayleigh-Jeans apresenta-se seu modelo, conforme descrito abaixo:

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{\nu^2 kT}{c^2} f\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \Rightarrow \frac{du}{d\nu} = \frac{2\nu kT}{c^3} f + \frac{\nu^2 kT}{c^3} f'\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \frac{h}{kT}$$

Definos que

$$\frac{du}{d\nu} = 0$$

Reduzindo a equação neste formato:

$$\frac{\nu kT}{c^3} \left[ 2f\left(\frac{h\nu}{kT}\right) + \frac{h\nu}{kT} f'\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \right] = 0$$

Chegando então a essa equação:

$$\frac{h\nu_{Máx}}{kT} = C \Rightarrow \frac{\nu_{Máx}}{T} = CTE$$

Figura A 15 Lei de deslocamento de Wien.

Para a época esse experimento concordava até certo momento (PRESTES & SILVA, 2013).

Esse resultado significava que o valor de energia não sendo divisível por  $E = h\nu$ , seguramente a hipótese sobre a energia de oscilações dos átomos nos CN – a energia de oscilação é quantizada, ou seja, não pode existir uma energia qualquer, porém apenas múltiplos de um valor fundamental, outra hipótese é a energia irradiada por um oscilador não é contínua, ela se manifesta em pulsos, que poderiam ser os “quanta” de energia, ou seja, a energia é emitida quando o oscilador passa de um estado quantizado para outro (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

Recorrendo a uma solução para esse impasse, o físico alemão Max Karl Planck (1858-1947) apresentou à Sociedade de Física de Berlim um trabalho, ao qual discutiu as fórmulas empíricas de Wien e de Rayleigh, onde elas tratavam das curva de radiação do corpo negro (GONTIJO, 2020).

A Lei de Planck abriu caminho para uma nova Mecânica Quântica. A maioria dos objetos é visto pela luz que refletem, entretanto, em temperaturas elevadas, os corpos tornam-

se luminosos e podemos vê-los brilhar internamente no escuro. É curioso que a Física Quântica, que governa a concepção moderna do mundo à nossa volta, se origina do estudo – sob condições controladas em laboratórios – das radiações emitidas por objetos aquecidos (ISSACSON, 2007).

É interessante notar que quando aumentamos de forma regular a temperatura de um corpo, é possível observar que:

1. Quanto mais alta a temperatura, mais radiação térmica é emitida – inicialmente o corpo parece obscuro, depois, passa a brilhar intensamente;
2. Quanto mais alta a temperatura, menor é o comprimento de onda no qual o corpo irradia mais intensamente – a cor predominante do corpo aquecido se desvia do vermelho fosco, passando pelo amarelo-alaranjado brilhante até o calor branco azulado. Como as características de seu espectro dependem da temperatura, podemos estimar a temperatura de um corpo aquecido – um lingote de aço incandescente ou uma estrela – a partir da radiação que ele emite.

A radiação emitida por um corpo aquecido depende não somente da temperatura, mas também do material de que ele é feito, de sua forma e da natureza de sua superfície.

A radiação de cavidade nos ajuda a compreender a natureza da radiação térmica, da mesma forma que um gás ideal nos ajudou a compreender a matéria em sua forma gasosa. Existem três tipos de radiação de cavidade, que se correlacionam, todas confirmadas em laboratórios, e que qualquer teoria sobre a radiação de cavidade tem de ser capaz de explicar (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

## A.5 A Lei de Stefan-Boltzmann

A potência total irradiada por unidade de área do orifício da cavidade, somada sobre todos os comprimentos de onda, é chamada de intensidade radiante  $I(T)$  e está relacionada com a temperatura por  $I(T) = \sigma T^4$ , onde  $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é uma constante universal denominada constante de Stefan-Boltzmann. Os objetos usuais aquecidos sempre irradiam menos eficientemente que os radiadores de cavidade. Expressam-se este fato pela equação  $I(T) = \varepsilon \sigma T^4$ , onde  $\varepsilon$ , é uma grandeza adimensional, é chamada emissividade da superfície do material. Para um radiador de cavidade,  $\varepsilon = 1$ , mas para as superfícies de objetos comuns, a emissividade é sempre menor do que a unidade e quase sempre uma função da temperatura (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

## A.6 Radiância Espectral

A dependência da intensidade da radiação da cavidade com o comprimento de onda para uma dada temperatura. Ela é definida de modo que o produto  $R(\lambda)d\lambda$  de potência irradiada por unidade de área no comprimento de onda que varia de  $\lambda$  até  $\lambda + d\lambda$ .  $R(\lambda)$  é uma função de distribuição estatística. Pode-se determinar a intensidade radiante  $I(T)$  para qualquer temperatura, somando-se, integrando-se, a radiância espectral sobre o intervalo completo de comprimento de onda T fixo. Veja na figura a seguir, onde mostra a radiância espectral  $I(T)$  será, então, a área sob a curva de radiância espectral pertinente, com o aumento da temperatura, a área aumenta e, assim, também a radiação conforme prevista pela equação  $I(T) = \sigma T^4$  (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

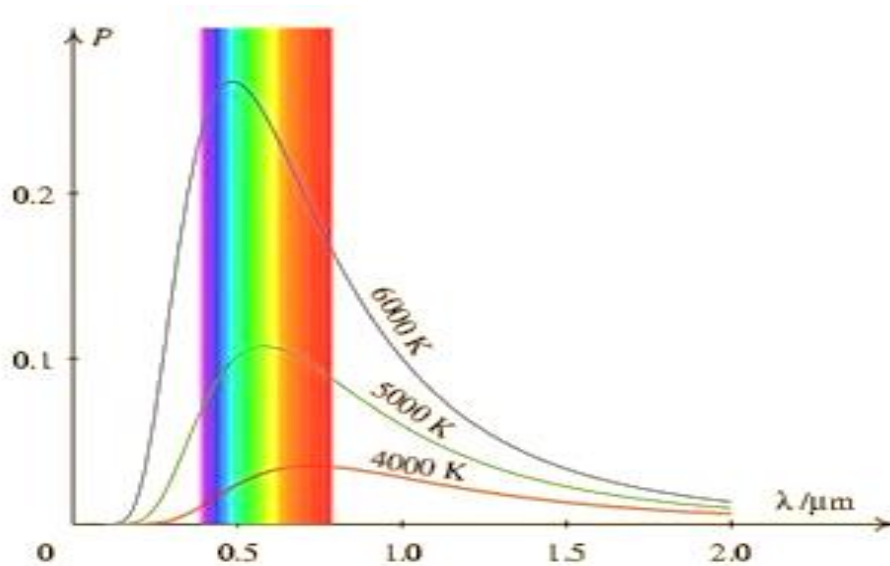


Figura A8 Curva de radiância espectral da radiação de cavidade em 3 temperaturas diferentes, à medida que a temperatura cresce, o comprimento de onda com o máximo comprimento de onda se desloca para valores mais baixos.

Fonte: <https://www.pucsp.br/webduino/experimentos/corpo-negro-com-arduino/teoria.html>

## A.7 A Lei de deslocamento de Wien

Pode-se concluir que as curvas de radiância espectral da figura a cima, onde  $\lambda_{m\acute{a}x}$ , o comprimento de onda em que a radiância espectral é máxima, diminui quando a temperatura aumentada. Wilhelm Wien (alemão, 1864 – 1928) deduziu que  $\lambda_{m\acute{a}x}$  varia com  $1/T$  e que o produto  $\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T$  é uma constante universal. Seu valor médio é  $\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T = 2,898 \mu mK$ . Esta relação é denominada lei do deslocamento de Wien, recebeu o prêmio Nobel em física em 1911 por sua pesquisa em radiação térmica. A radiação de corpo negro é um exemplo de aplicação da indústria siderúrgica na formação deligas metálicas (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Dados apresentados anteriormente, observa-se quando as informações são enunciadas de forma simplificada, quando se trata da Física Moderna absoluta nas bibliografias do ensino

médio. Não há, em muitos livros, informações dirigidas ao aluno para que ele possa reconhecer como certos dados podem ser obtidos somente através de laboratórios.

## A.8 Procedimento de Planck

Hipótese:

Quando foi observado o aquecimento de um pedaço de ferro com um intenso calor, em uma forja, o aumento da temperatura da quantidade de emissão da radiação produzida pelo calor, após tornar-se vermelha, indo para a cor branca ou azulada. Nesta condição a distribuição da radiação apresenta um comprimento de onda, e considerando que apresentam cor, logo terá frequência que apresentam uma pequena faixa de observação (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

Porém a visão corpuscular da matéria, temperatura e uma medida de agitação aleatória das partículas, a matéria possui cargas em movimento acelerado e por sua vez apresentam uma aceleração que emitem radiação, para enfrentar esse problema um dos pontos para se calcular essa emissão na faixa do espectro (GONTIJO, 2020).

A agitação dessas moléculas diz respeito a energia de uma onda eletromagnética, para entender o procedimento entre a partícula ou onda em um sistema equilibrado térmico à temperatura.

Pensando na Energia que está alocado em osciladores, pode-se apresentar de uma forma clássica, apresentando uma equação linear não-homogênea, sendo uma solução particular para podermos desenvolver uma resposta concisa e robusta (BAKER, 2015).

Como estamos argumentando bastante sobre osciladores, vamos partir do pressuposto da equação clássica de osciladores, visto em física Clássica, temos no modelo classico a ineação do átomo com Radiação, a oscição no eixo x, parte desta ideia para que haja a construção:

$$x = x_0 \cos(\omega t + \phi)$$

*Figura A 16 Equação de oscilação no eixo x.*

Usando a energia mecânica da Mecânica Clássica, temos:

$$U = \left\langle \frac{1}{2} m \omega_0^2 x^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \right\rangle$$

Energia pontencial:  $\frac{1}{2} m \omega_0^2 x^2$

Energia cinética:  $\frac{1}{2} m \dot{x}^2$

Reajando a equação, temos:

$$U_\omega = \frac{1}{2} \frac{m e^2}{2} E_{0x}^2 \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2}$$

$$U_\omega d\omega = \frac{e^2}{4m} E_{0x}^2 \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} d\omega$$

$$U = \int U_\omega d\omega = \int \frac{e^2}{4m} E_{0x}^2 \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} d\omega$$

$$U = \frac{e^2}{4m} \int_0^\infty E_{0x}^2(\omega) \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} d\omega$$

$E_{0x}$  ocorre pouca variação, contribuindo com a distribuição do processo:

$$\omega \rightarrow \omega + d\omega$$

$$\omega^2 + \omega_0^2 \cong 2\omega_0^2$$

Para tanto, consideremos que  $\omega \sim \omega_0$ , ocorrendo uma redução em nossa equação:

$$\xi^2 \omega^2 \cong 4(a\omega_0^2) \cdot \omega_0^2$$

$$a = \frac{e^2}{3mc^2}$$

$$(\omega^2 + \omega_0^2)^2 \cong 4\omega_0^2(\omega^2 - \omega_0^2)^2$$

$$U = \frac{e^2 E_{0x}^2(\omega)}{4m} \frac{1}{2} \int_0^\infty \frac{d\omega}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2}$$

$$U = \frac{\pi e^2}{8ma\omega_0^2} E_{0x}^2(\omega)$$

$$E_{0x}^2 = E_0^2 \quad \bar{u} = \frac{1}{8\pi} E_0^2 \quad a = \frac{e^2}{3mc^3}$$

Para a densidade espectral da energia total, assimilamos assim:

$$U(\omega_0) = \frac{\pi^2 c^3}{\omega_0^2} \bar{u}(\omega_0)$$

Figura A 17 Energia Espectral total.

Para desenvolvimento da densidade de Energia da radiação, onde se pode-se envolver com a Termodinâmica, seguimos os seguintes itens:

$$U(\omega) = \frac{\pi^2 c^3}{\omega^2} \bar{u}(\omega)$$

$$\bar{u}(\omega) d\omega = \bar{u}(\nu) d\nu \quad \omega = 2\pi\nu$$

$$\bar{u}(\nu) = \bar{u} \omega \frac{d\omega}{d\nu} = \bar{u}(\omega) 2\pi$$

$$\bar{u}(\omega) = \frac{\bar{u}(\nu)}{2\pi}$$

$$U(\nu) = \frac{\pi^2 c^3}{\omega^2} \frac{\bar{u}(\nu)}{2\pi}$$

$$U(\nu) = \frac{c^3}{8\pi\nu} \bar{u}(\nu)$$

$$U \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}$$

$$\frac{dU}{T} = dS \rightarrow \frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}$$

Figura A 18 Distribuição na Termodinâmica com a Densidade de Energia.

Seguindo as leis de Wien na densidade espectral de energia, deve-se seguir às leis observadas, para Wien e Jeans, temos a densidade de energia,

$$\bar{u}(\nu, T)$$

$$U(\nu) = \frac{c^3}{8\pi\nu} \bar{u}(\nu)$$

Figura A 19 A densidade de energi por Wien e Jeans

Para envolver a temperatura, deve-se seguir os conceitos da teperatura da Termodinâmica, compondo assim a equação a seguir, que envolve a entropia:

$$\frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}$$

## A.9 Lei de Wien

Usando a equação fornecida por Wien, temos:

$$\bar{u}(\nu, T) = C\nu^3 e^{-\alpha\nu/T}$$

Figura A 20 Deslocamento de Wien isolando a temperatura.

Considerando que a equação 20 será a nossa base para podermos organiza-la, temos:

$$U = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} C\nu^3 e^{-\alpha\nu/T} = A\nu e^{-\alpha\nu/T}$$

Partimos do isolamento da *Temperatura*  $\rightarrow \frac{1}{T} = -\frac{1}{\alpha\nu} \ln\left(\frac{U}{A\nu}\right)$ , é a relação da energia com a temperatura.

$$\frac{1}{T} = \frac{dS}{dU} \Rightarrow \frac{dS}{dU} = -\frac{1}{\alpha\nu} \ln\left(\frac{U}{A\nu}\right)$$

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{\alpha\nu U}$$

Figura A 21 Relação Termodinamica para altas frequências.

Quando Wien, demonstra a frequencia alta, pela equação 22.

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}$$

$$U = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT \rightarrow U = kT$$

$$\frac{1}{T} = \frac{k}{U} \rightarrow \frac{dS}{dU} = \frac{k}{U}$$

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{k}{U^2}$$

Figura A 22 Rayligh-Jeans para frequências baixas, visto pela Termodinâmica.

## A.9 Determinação de Planck

Nas observações sobre a intensidade da radiação sendo ela monocromática, em que parte tende a proporcionalmente a uma temperatura absoluta, desta forma Planck atribui (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979):

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{\alpha v U} \quad (\text{i})$$

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{k}{U^2} \quad (\text{ii})$$

em sua conclusão que apresentava baixas frequências, é valido a equação (ii) enquanto que para as frequências altas, vale a equação (i), quando interpolamos as equações (i) e (ii), apresenta uma proposta que segue (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979):

Considerando que  $T$  e  $U \rightarrow \infty$

$$\frac{d^2S}{dU^2} = \frac{d^2S}{dU^2}$$

$$-\frac{1}{\alpha v U} = -\frac{k}{U^2}$$

$$U = \alpha v k$$

Temos,

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{\alpha v U + \frac{U^2}{k}}$$

$$\frac{dS}{dU} = \int \frac{d^2S}{dU^2} dU = \frac{1}{\alpha v} \ln \left( \frac{\frac{U}{\alpha v k}}{1 + \frac{U}{\alpha v k}} \right)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{\alpha v} \ln \left( \frac{\frac{U}{\alpha v k}}{1 + \frac{U}{\alpha v k}} \right)$$

$$U = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Figura A 23 Densidade de energia, a forma como Planck deduziu.

Resolvendo para U, temos  $\alpha = \frac{h}{k}$ , e tendo os dois limites, tanto para Wien e R-J.

Usando

$$U = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \bar{u}(\nu)$$

$$\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \bar{u}(\nu)$$

## A.11 Lei de Planck

Utilizando da equação de densidade de energia para altas e baixas frequências, sendo elas unificadas, temos assim:

$$\bar{u}(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Figura A 24 Densidade de energia para altas e baixas frequências.

Para Planck, utilizando de argumentos matemáticos para este modelo, por manipulação TD, mas queria entender o fenômeno físico (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Para a radiação, supondo pacotes de energia e considerando que este evento é uma P. G. Mas para isso temos que  $\beta = \frac{1}{kT}$

$$E_n = n\varepsilon_0 \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

$$\bar{E} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n\varepsilon_0 e^{-n\varepsilon_0/kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\varepsilon_0/kT}} = U$$

$$U = \frac{d}{d\beta} \left( \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n\varepsilon_0 e^{-n\varepsilon_0/kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\varepsilon_0/kT}} \right)$$

$$U = \frac{\varepsilon_0}{e^{h\nu/kT} - 1} \rightarrow \bar{u}$$

$$\bar{u} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{\varepsilon_0}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$\varepsilon_0 = h\nu$$

Figura A 25 Unificação da equação para alta e baixas frequências, ou seja, essa é a equação de Planck.

A energia deve ser quantizada, desta forma, houve a descoberta do fóton. Nesta situação, se deu início a Mecânica Quântica e Mecânica Estatística (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

Ao ensinar a Física Moderna no ensino médio é uma tendência na educação, faz-se necessário melhorar o conteúdo destas informações. A maneira de explicar os procedimentos adotados nos laboratórios deveriam ser colocados de forma didática, adequando à realidade da

maioria das escolas brasileiras, no qual, os recursos ainda são poucos. Caso possível, este material poderá indicar alguns procedimentos usando materiais de baixo custo. Há planos que propõem reformulações em ensinar a Física Clássica (GONTIJO, 2020). Então, por que não fazer do ensino de Física Moderna, inserido nas novas tendências da educação, importando-se, sobretudo, com o modo de apresentar a física como a mais experimental das ciências? Isso traria simultaneamente inovação e o conhecimento de conteúdo estudados em físico terem sido originados na observação e na experimentação.

## A.12 Aplicação: radiação cósmica de fundo

Uma descoberta importante foi a de que o universo que nos é acessível está repleto com radiação aproximadamente como a de um corpo negro a 2.9 K. A existência dessa radiação é uma evidência importante para a teoria do *big bang* que considera que o universo está expandindo e esfriando com o tempo. Esta radiação é a que restou de um período em que o universo era composto basicamente de elétrons e prótons a uma temperatura de cerca de 4000 K (BOHM, 2015). O plasma de elétrons e prótons interagia fortemente com a radiação eletromagnética em todas as frequências importantes, de tal forma que matéria e radiação estavam em equilíbrio térmico. Quando o universo resfriou para 3000 K, a matéria estava principalmente na forma de hidrogênio atômico, que interage com a radiação eletromagnética apenas nas frequências das linhas espectrais do hidrogênio. A maior parte da radiação de corpo negro se desacoplou da matéria nesta época, e sua evolução temporal foi a de um gás de fótons que esfriou pela expansão, a entropia constante, até uma temperatura de 2.9 K (BOHM, 2015).

Após o desacoplamento a evolução da matéria, que se deu no sentido da formação de átomos mais pesados (que estão organizados em galáxias, estrelas, e nuvens de poeira), tornou-se mais complicada. A radiação eletromagnética, tal como a emitida pelas estrelas, irradiada pela matéria desde o desacoplamento aparece superposta à radiação cósmica de corpo negro (BOHM, 2015).

## A.13 Efeito Fotoelétrico

O físico alemão Heinrich Hertz, entre outros cientistas que investigavam centelhas, quando tentavam construir um receptor de rádio primitivo. Ao perceber que as partículas negativas enviadas, passando por um campo magnético, apresentavam uma carga-massa, desencadeando faísca, quer por sua vez gerando um fenômeno chamado de efeito fotoelétrico.

Philipp Leonard, que fora assistente de Hertz, reduzindo o centelhamento do gerador, onde posicionou duas superfícies metálicas, confinado em um tubo de vidro e a vácuo, ambas estavam separadas, nas placas que são conectadas por fios, formando assim o Cátodo e o Ânodo do lado de fora do tubo por um cabo, no fio do ânodo é “janpeado” um amperímetro para comprovar a leitura elétricos (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Nas observações em que Leonard, incidiu luzes com frequências de brilhos variados para a primeira placa, que é a o ânodo, sem iluminar a segunda placa, percebeu que o ponteiro do amperímetro variava e concluiu que havia movimento de elétrons, e considerou que estes eram os elétrons expelidos da placa que estava sendo iluminada, os mesmos saíam de uma placa e seguiam para a outra placa metálica, completando o circuito e fazendo uma pequena corrente. Em sua dedução a luz brilhante, liberaria mais elétrons, enquanto que luz com brilho menos intenso, não acontecia o mesmo, a percepção mostrava que havia uma energia incidente sobre a placa. Contudo a variação da intensidade de luz, não influenciava sobre a velocidade dos elétrons extraído da placa. Quando aplicado fontes com brilhantes menos intendo, elas produziam elétrons com a mesma energia, percebendo isso que havia uma leve voltagem oposta para detê-los, como não era esperado tal ação, pois como era de se espera que com maior energia, liberaria muito mais elétrons e mais rápidos (ISSACSON, 2007).

As observações feitas por Leonard, abriram caminho a outros físicos que buscaram resolver este problema, um deles foi o americano Robert Millikan, que ao testar raios de diferentes cores, em sua análise experimental, percebeu que a luz vermelha não era capaz de arrancar da placa elétron, não importando qual fosse o brilho da fonte. Porém, ao utilizar luzes ultravioleta, ou seja, na faixa azul, havia desprendimento dos elétrons, e também para diferentes metais, apresentavam diferentes “frequências de Corte” (CABRAL, 2015). O limite de emissão com uma determinada frequência de luz, há uma energia que excita os elétrons. Para tanto, tal energia é o gradiente dessa relação, conhecido como constante de Planck.

Tal comportamento era muito diferente para as ideias da época, pois as ondas de luz deveriam funcionar de maneira oposta. Contudo, as ondas eletromagnéticas incidentes na superfície do metal deveriam arrancar aos poucos os elétrons. A frequência também não deveria ter nenhum efeito devido a energia aplicada, estando o elétron estático e não deveriam existir muita diferença entre ondas pequenas ou grandes. Entretanto, ondas com menor frequência e rápidas excita e arrancam os elétrons com muita facilidade, enquanto que ondas com maior frequência são lentas (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

Um material metálico que está sendo irradiado por ondas eletromagnéticas, no caso a luz, independente da sua frequência, apresenta uma cor, e considerando que emitem elétrons

por este material, por estarem sendo excitados por esta onda, apresentarão uma frequência suficientemente alta ou baixa, mas é importante ter uma ressalva, onde dependerá do material exposto a referida, para tanto o elétron excitado possa ser arrancado e em estado de Energia Cinética, entrar em movimento do ânodo para o cátodo, um exemplo típico da radiação ultravioleta, neste a excitação é máxima. Nele é observado que a luz incidente numa placa de metal, arrancando elétrons da placa, elétrons ejetados são denominados fotoelétrons (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Em 1905, Albert Einstein apresentou as explicações apropriadas sobre o Efeito Fotoelétrico, somente em 1921, foi reconhecido e obteve o prêmio Nobel por esse trabalho. Sua argumentação necessitava do conceito dos *quanta* de energia de Max Planck, argumentou que a luz apresentava pequenos pacotes de energia, conhecido como *quanta* de luz e depois chamado de “fótons” (BOHM, 2015).

Seu critério era que ao observar individualmente determinado pacote, nele apresentariam uma força de movimento, imaginando que os fótons fossem balas ou projeteis, e quando atingissem os elétrons, que estaria fixo na placa, este por sua vez excitar-se-ia e entraria em movimentando no sentido para fora do metal. Conceituando que o fóton não tem massa, mas armazenam certa quantidade de energia, para tanto, utilizam-se da frequência de energia apresentado por Planck ( $E = h\nu$ ), ligando energia ( $E$ ) e frequência ( $\nu$ ) como decorrentes da quantização de energia, explicando a frequência de fótons, que representam na faixa da cor azul ao ultravioleta, por apresentam uma frequência muito alta, aplicariam um golpe energético mais forte. Ao alegar essas explicações que a energia dos elétrons desalojados aumenta com a frequência da luz e não com o seu brilho (BELICH JUNIOR, 2012).

Seguindo a mesma analogia do enunciado do parágrafo anterior, a faixa de frequência do fóton para a cor vermelho, acontecendo o contrário, não arrancará elétron, devido a sua energia não ser suficiente. Respeitando esse argumento, pode-se dizer que o fóton na faixa do ultravioleta, apresenta mais energia, uma vez que desassocia sua estrutura molecular com uma energia cinética, reputando que o brilho não fara nenhuma influência para arrancar o elétron (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979). Tendo em consideração ao disparo de certo número de fótons não haverá o devido deslocamento de elétrons.

Quando Einstein apresentar sua ideia dos *quanta* de luz na época, de imediato, não sendo aceito, pois a Física Clássica estava enraizada nos Físicos, por ter pensamentos fixos, por este motivo não gostavam de sua hipótese por ele apresentada, por ir direto no processo de ondas como luz, no qual foi demonstrado nas equações de Maxwell. Por esta razão que foi apresentado uma diversidade de experimentos que comprovaria sua teoria, levando em conta

que as energias dos elétrons libertados, crescem com a frequência da luz rapidamente, apresentando essa ideia como fato (GONTIJO, 2020).

Observando a teoria Eletromagnética Clássica, o Efeito Fotoelétrico concederia à transferência de energia da luz para um elétron. Levando em conta que as alterações da intensidade da luz, produzirá mudanças na energia cinética dos elétrons arrancado do metal. De acordo com a teoria, acredita-se que uma luz suficientemente fraca, apresentaria um intervalo de tempo, atendendo o brilho de inicial da luz e a emissão subsequente de um elétron. Respeitando os resultados experimentais não há relação com as previsões da teoria clássica (BAKER, 2015).

Para ilustrar temos um esquema do equipamento usado por Lenard. Quando a luz incide em uma superfície metálica, elétrons são emitidos.

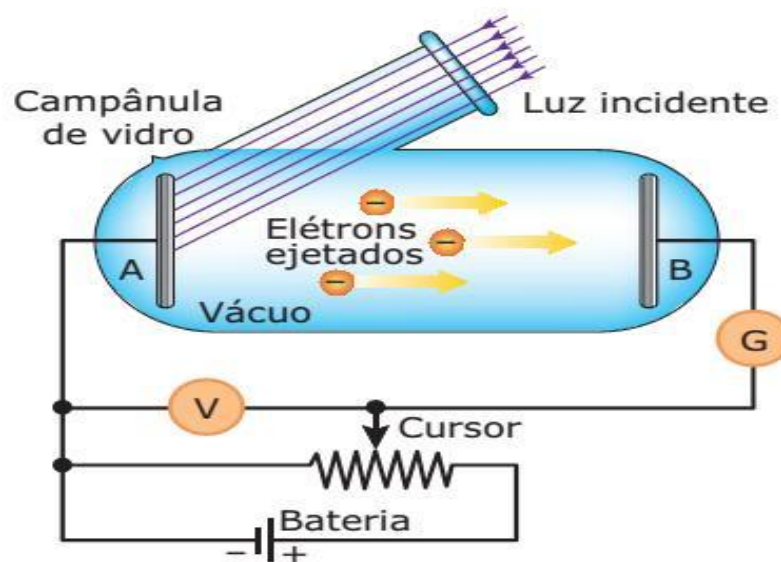


Figura A9 Diagrama usado por Lenard para observar o Efeito Fotoelétrico e provar que as partículas emitidas são os elétrons.

Fonte: [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdocplayer.com.br%2F50761778-Dom-eliseu-licenciatura-em-fisica-fisica-moderna-1-h-c-l-prof-antonio-silas-introducao.html&psig=AOvVaw22neyevHU6XuQLnlo5ut4u&ust=1645654434004000&source=images&cd=vfe&ved=0CA5QjRxqFwoTC OiV\\_8KqIPYCFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdocplayer.com.br%2F50761778-Dom-eliseu-licenciatura-em-fisica-fisica-moderna-1-h-c-l-prof-antonio-silas-introducao.html&psig=AOvVaw22neyevHU6XuQLnlo5ut4u&ust=1645654434004000&source=images&cd=vfe&ved=0CA5QjRxqFwoTC OiV_8KqIPYCFQAAAAAdAAAAABAD)

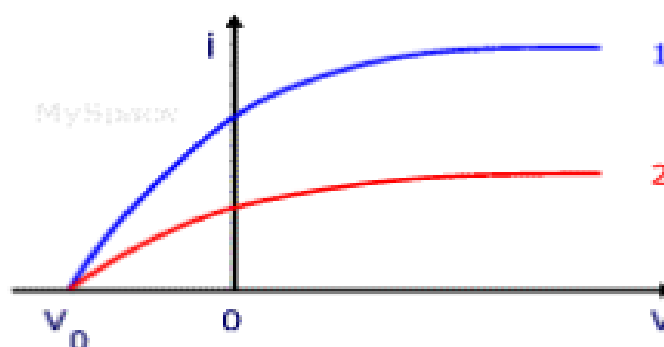


Figura A10 fotocorrente  $I$  em função da tensão do anodo  $V$  para a luz de frequência de duas intensidades  $I_1$  e  $I_2$ , fonte: Paul A. Tipler e Llewlyn.

Fonte: [https://www.mspc.eng.br/dir10/tdiv10\\_10.php](https://www.mspc.eng.br/dir10/tdiv10_10.php).

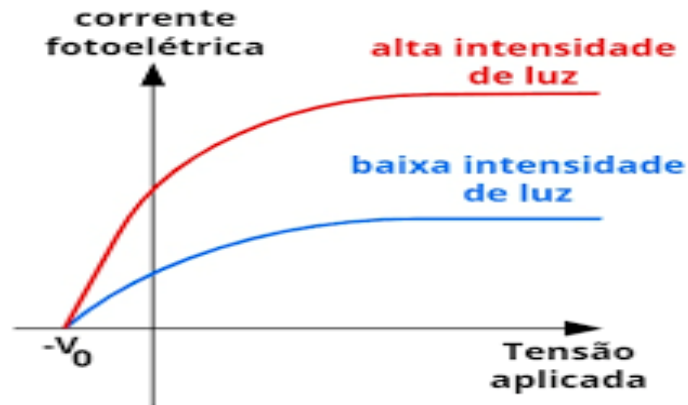


Figura A11 Para  $I$  constante e duas frequências  $f_1$  e  $f_2$ , como  $f_2 > f_1$ , a interpretação do efeito sugere que o valor absoluto da tensão do corte deve ser maior para  $f_2$ , o que é confirmado pelos resultados experimentais, fonte: Paul A. Tipler e Llewellyn.

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/o-efeito-fotoeletrico.htm>.

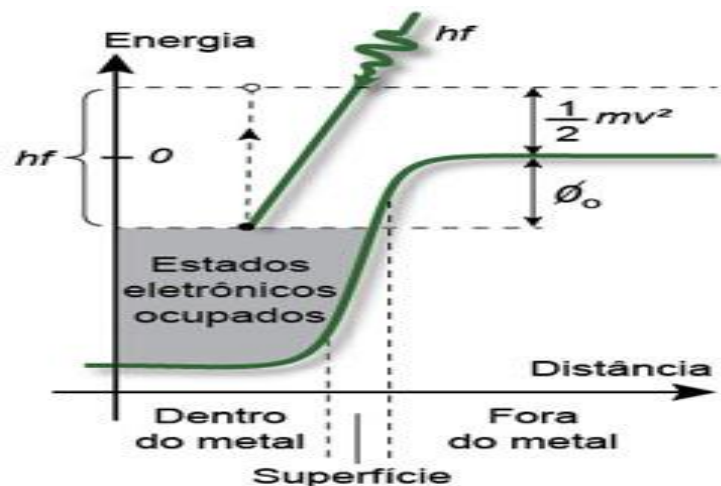


Figura A12 Energia potencial dos elétrons nas proximidades da superfície de um metal.

Fonte: <https://www.ifc.unicamp.br/~fauth/1OrigensMecanicaQuantica/1Oquantumdeluz/Oquantumdeluz.html>.

O resultado experimental, mostrado nas figuras anteriores, mostram que o  $V_0$  não depende da intensidade da luz incidente. Aparentemente, o aumento de energia por unidade de tempo incidente no catodo não resultava em um aumento de energia cinética máxima dos elétrons emitidos, o que estava em total desacordo com a teoria clássica. Quando então, Einstein ofereceu em 1905, uma explicação para esta observação em um artigo que foi publicado no mesmo volume dos *Annalen der Physik* que seus trabalhos a respeito da relatividade restrita e do movimento browniano (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Considerando que a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro seja uma característica universal da luz, ou seja, em vez de estar distribuído uniformemente no espaço no qual se propagava, a luz é constituída por pacotes (quanta) isolados de energia  $h\nu$ . Quando um desses quanta, denominados *fótons*, chega à superfície do

catodo, toda a sua energia é transferida para um elétron. Se  $\phi$  é a energia necessária para remover um elétron da superfície ( $\phi$  recebe o nome de *função trabalho* e tem valor característico para cada metal), a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pelo catodo é dado por  $h\nu - \phi$  em virtude da lei de conservação da energia. Neste caso, o potencial de corte  $V_0$  é dado por:

$$eV_0 = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\text{máx}} = h\nu - \phi$$

Figura A 26 Equação do Efeito Fotoelétrico.

onde:

$e$  carga do elétron ( $1,6 \times 10^{-19}$  *Colomb*);

$V_0$  potencial de corte;

$m$  massa do elétron ( $9,11 \times 10^{-31}$  *Kg*);

$v$  velocidade do elétron;

$h$  é a constante de Plank ( $6,63 \times 10^{-36}$  *J.s*);

$\nu$  frequência do para ocorrer o efeito fotoelétrico;

$\phi$  é a função trabalho, ou energia mínima para remover um elétron de sua ligação atômica (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

De acordo com a equação 1, a inclinação da reta que representa o potencial de corte  $V_0$  em função da frequência  $\nu$  é igual a  $\frac{h}{e}$ . Na época em que Einstein fez esta previsão, não haviam nenhum indício de que a constante de Planck tivesse alguma relação com o efeito fotoelétrico. Também não havia provas de que o potencial de corte fosse função de frequência (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Millikan em seus experimentos em 1914 e 1916, mostrou que a equação 1 estava correta e o valor de  $h$  calculado a partir destes experimentos concordou com o valor obtido por Planck, conforme figura abaixo:

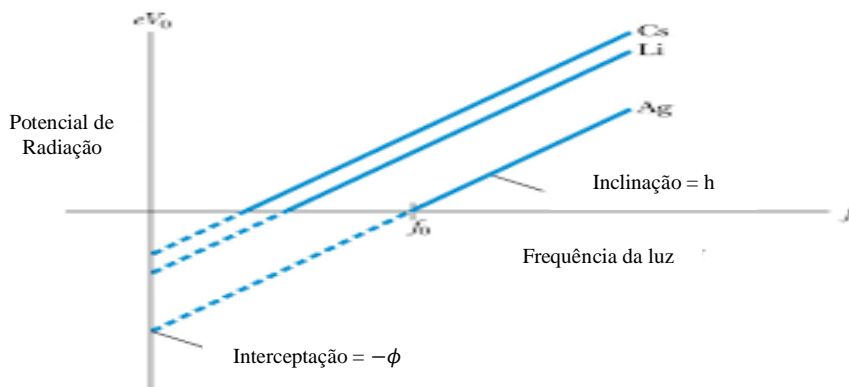


Figura A13 Dados obtidos por Millikan para o potencial de corte em função da frequência, fonte: Paul A. Tipler e Llewellyn.

A frequência mínima para que o efeito fotoelétrico seja observado, denominado  $\nu_t$  nos gráficos 9 e 10, e o comprimento de onda máxima correspondente,  $\lambda_t$ , podem ser obtidos a

partir da função trabalho fazendo  $V_0 = 0$  na equação 1:

$$\phi = h\nu_t = \frac{hc}{\lambda_t}$$

Figura A 27 Frequência mínima.

Os fótons de frequência menor que  $\nu_t$  (e, portanto, de comprimento de onda maior que  $\lambda_t$ ) não tem energia suficiente para ejetar elétrons do metal. Para a maioria dos metais, a função trabalho é da ordem de alguns elétrons-Volts, conforme função trabalho como mostra na tabela abaixo de alguns elementos (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979):

Tabela 3 Valores de função trabalho para alguns elementos.

Elemento	$\phi$ (eV)
Na	2,28
C	4,81
Cd	4,07
Al	4,08
Ag	4,73
Pt	6,35
Mg	3,68
Ni	5,01
Se	5,11
Pb	4,14

FONTE: PAUL A. TIPLER E RALPH A. LLEWELLYN

Outra propriedade importante do efeito fotoelétrico que está em desacordo com a física clássica, mas pode ser facilmente explicada pela hipótese dos fótons é a ausência de um intervalo de tempo mensurável entre o momento em que a fonte luminosa é ligada e o momento em que os elétrons emitidos pelo catodo começa a aparecer. Classicamente, a energia luminosa se distribui de forma homogênea ao longo da superfície do catodo; o tempo necessário para que uma região do tamanho de um átomo adquira energia suficiente para emitir um elétron pode ser calculada a partir da intensidade de tal forma que este tempo teórico seja da ordem de minutos ou mesmo horas. Entretanto, em todos os experimentos, os elétrons começam a ser emitidos no momento em que a fonte é ligada. De acordo com a hipótese dos fótons, a explicação desta observação é que, embora o número de fótons que incidem no metal por unidade de tempo seja pequeno quando a intensidade da luz é pequena, cada fóton em energia suficiente para ejetar um elétron, e existe uma grande probabilidade de que pelos mesmos alguns fótons sejam absorvidos imediatamente. Por outro lado, a teoria clássica permite calcular corretamente o número médio de fótons absorvidos por unidade de tempo (ISSACSON, 2007).

A fotoemissão de elétrons se tornou um método importante para investigar estruturas dos cristais e moléculas. O uso de fontes de raio X e detectores de precisão permitiu determinar as configurações exatas dos elétrons de valência nos compostos químicos, o que levou a uma melhor compreensão das ligações químicas e das diferenças entre as propriedades dos átomos na superfície e no interior dos sólidos (ISSACSON, 2007). Os microscópios baseados no efeito fotoelétrico que hoje estão sendo desenvolvidos poderão revelar a situação química de cada elemento em uma amostra, uma informação extremamente importante para a biologia molecular e para a microeletrônica. Em última análise, tudo isso é consequência de um fenômeno que incomodou Hertz (BAKER, 2015).

Para entendermos o processo matematicamente, temos a seguir:

$$K = eV_0$$

Figura A 28 Energia Potencial.

$$K = h\nu - W$$

Figura A 29 Equação do Efeito fotoelétrico com a função trabalho.

Substituindo, teremos:

$$eV_0 = h\nu - W_0$$

$$V_0 = 0$$

$$0 = h\nu - W_0$$

$$h\nu = W_0$$

$$\nu_0 = \frac{W_0}{h}$$

$\nu_0 \rightarrow$  Frequência de corte

$$eV_0 = h\nu - W_0$$

$$eV_0 = h\nu - h\nu_0$$

$$V_0 = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0)$$

Figura A 30 Potencial de Corte do potencial elétrico.

Com o modelo de pacotes de energia, devido a intensidade de radiação emitida para o efeito fotoelétrico, não aumenta a sua velocidade dos elétrons, mas pode apresentar um número grande de portadores, portanto, apresentara energia mais elevadas, sendo a energia analisada por Einstein e o considerou como fótons (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

## APÊNDICE B - Arduino

A plataforma Arduino é um controle analógico e digital para sensores e processamentos de dados. Sendo que se deve conhecer os elementos que hão de compor a plataforma de funcionamento.

### B.1 Placa Arduino UNO

Esta placa possui 14 pinos (0 a 13), podendo ser usados como entrada e saída digitais, onde os pinos são de 5 V e para cada pino a corrente elétrica é de 40 mA (miliAmpère), cuja saída funciona através de um “Sketch” (Programa do Arduino), para fornecer, quando ligado, 5 V e quando for desligado 0 V.

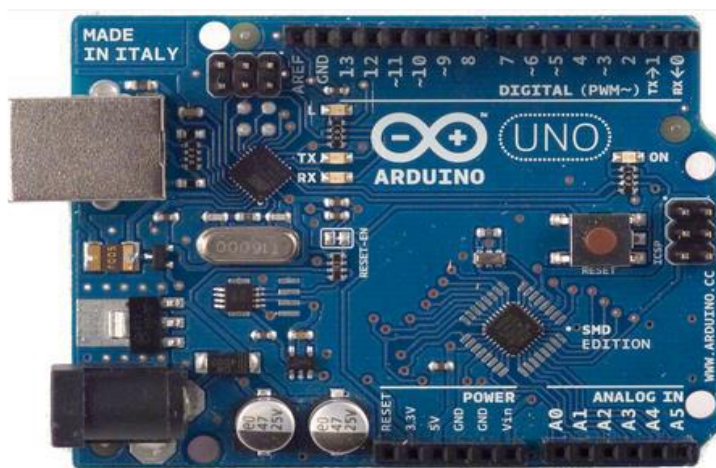


Figura B16 - Placa de Arduino Uno.

Fonte: [forum.arduino.cc/index.php?topic=316649.0](http://forum.arduino.cc/index.php?topic=316649.0).

Considerando que alguns pinos apresentam funções diferenciadas, tais como os pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11, que podem ser utilizados como saídas PWM (Modulação por largura de pulso) sendo de 8 “bits”, contudo os pinos 0 e 1, esses são utilizados para a comunicação serial com o computador, para recepção ou transmissão (RX ou TX). Mas o usuário deve atentar que esses pinos citados, irão controlar a comunicação USB do PC, agora os pinos 2 e 3, poderão ser configurados para uma interrupção externa.

Para uma interface analógica, a placa UNO possui 6 pinos, conhecidos como “analog in” (A0 á A5) esses irão ter a finalidade de medir a tensão em cada um deles, uma vez usando valores no “Sketch”, entretanto, cada um apresenta uma resolução de 10 “bits”, todavia sendo padronizado, temos a referência do conversor AD que deve ser ligado internamente a 5 V, ou seja, na entrada deve-se observar o valor 5 V. da conversão analógica digital, o qual será de 1023, e o valor de referência a ser mudado no pino AREF (MONK, 2013).

A alimentação da placa UNO pode ser realizada através de uma conexão USB ou por tensão externa. Quando alimentada por tensão externa, a variação da voltagem deverá ser entre 6 V e 20 V, recomendáveis tensões externas da ordem de 7 V a 12 V, caso seja abaixo de 7 V, o funcionamento ficará instável, quando for acima de 12 V, corre-se o risco de superaquecimento da placa. A placa possui uma variação de conectores para “Shields” e módulos, o pino IOREF, como exemplo, para tanto, fornecerá tensão de referência para o “shields”, podendo selecionar o tipo de interface desejada, nesta forma “shields” que funcionam com uma alimentadas com 3,3 V na placa, porém se adaptam em 5 V e vice-versa. O “RESET” pino conectado ao microcontrolador, do mesmo modo que ao reiniciarmos um computador é ativado o “Resert” do Arduino, onde começará executar o “Sketch” do início. Os pinos de 3,3 V fornece alimentação de “shield” e os módulos externos com corrente máxima de 50 mA, enquanto o pino que apresenta 5 V, irá fornecer tensão de 5 V, com a mesma finalidade. Os pinos *GNDs* (“ground” ou terra), considerados como pinos de referência, significa zero volt. (MONK, 2013)

## B.2 “Softwares” para o desenvolvimento na plataforma do Arduino

Para que o Arduino funcione corretamente, é necessário instalar o “software” denominado ambiente de desenvolvimento (IDE)<sup>3</sup> o *PLX-DAQ*<sup>4</sup>, um “software” emulador que faz a conexão entre o Arduino e o Excel, este será para coleta e a análise de dados. Entretanto pode-se usar sites emuladores<sup>5</sup>, para aprender, construir ou trabalhar com o Arduino, que apresente componentes eletrônicos sem a necessidade de ter o objeto físico, realizando assim simulações para depois ter certeza do funcionamento simulado do experimento físico.

## B.3 Ambiente de desenvolvimento (IDE)

---

<sup>3</sup> Disponível em: <https://www.arduino.cc>

<sup>4</sup> Disponível em: <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>

<sup>5</sup> Um bom exemplo pode ser visto em: <https://circuits.io/circuits/4917099-the-unnamed-circuit/edit>

No ambiente IDE é possível realizar a programação do Arduino. O programa pode ser “baixado” através da página do Arduino ([www.arduino.cc/](http://www.arduino.cc/)).

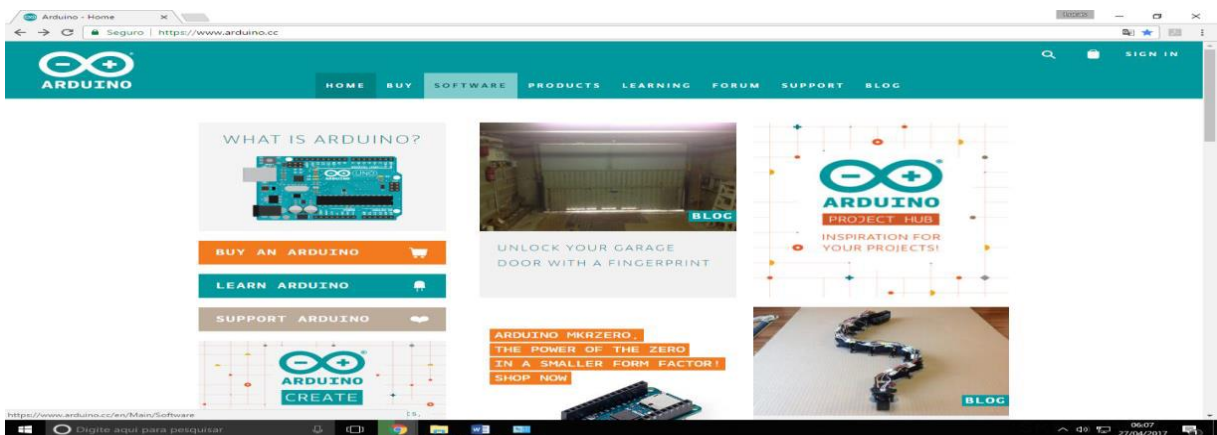


Figura B17 - Página oficial do Arduino.

A instalação pode ser feita seguindo os passos:

1. Procure a aba “Software”

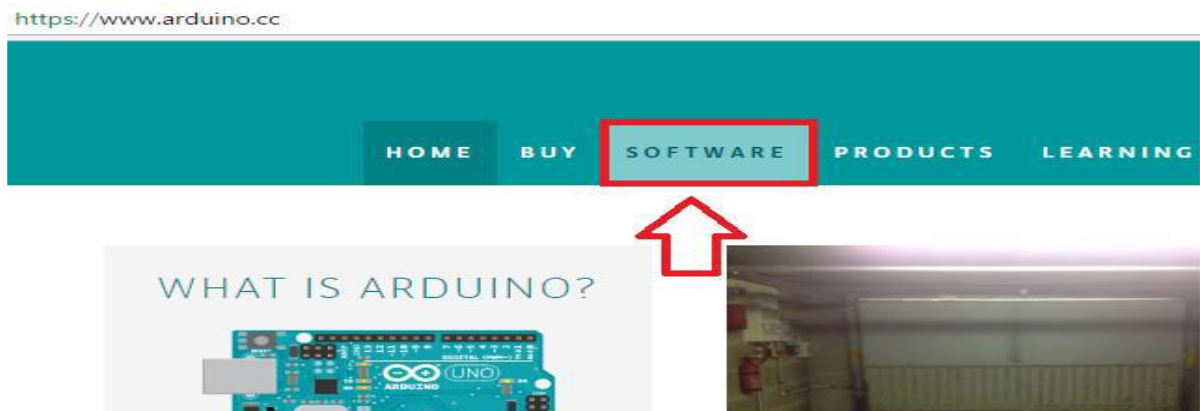


Figura B18 - Neste você deve instalar o ide do Arduino.

2. Você será direcionado para a página, conforma figura abaixo.

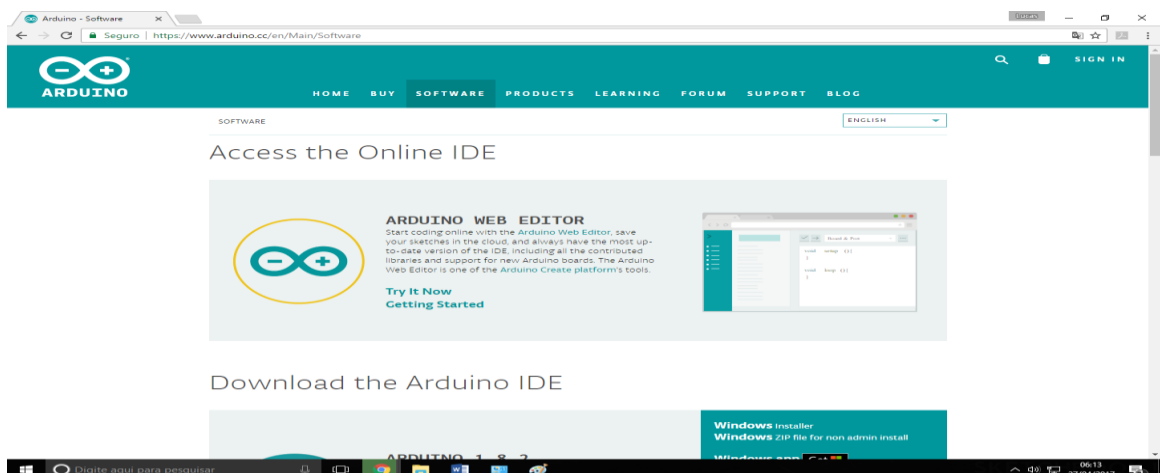


Figura A19 - Instale o IDE do Arduino.

3. Escolha o sistema compatível com o computador

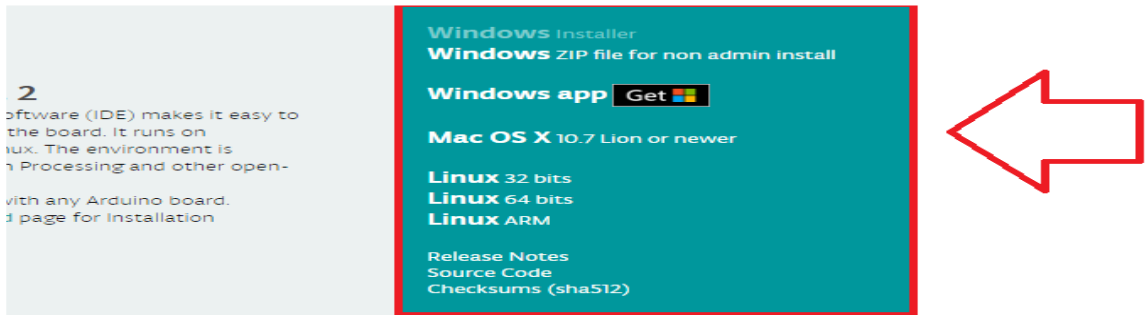


Figura A20 - a instalação de IDE do Arduino.

4. Você será direcionado para a página, conforma figura abaixo, onde poderá fazer uma contribuição opcional, caso não queira, basta clicar na Aba “Just Download”. Caso não queira fazer uma doação, espere a conclusão do arquivo.



Figura B21 - Sequência para instalação do Arduino.

5. Ao término do “download”, clique em “I Agree” (traduzindo: Eu Concordo).
6. Clique em “NEXT” e prossiga com a instalação.
7. Após salvar o arquivo, vá no botão “Browser” (traduzindo: navegador), e aperte o botão “Install” (traduzindo: instalar), para instalar o arquivo.



Figura B22 - Aceitando a Licença de uso.

## Download the Arduino IDE

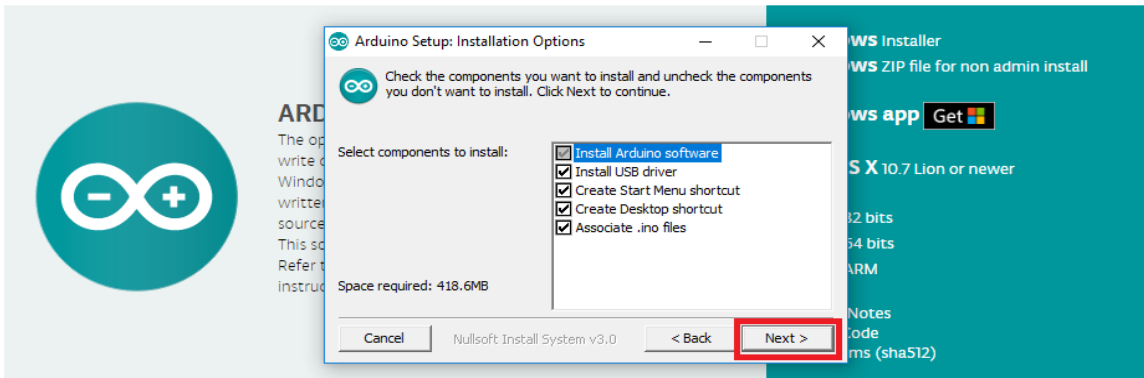


Figura B23 - Seleção dos componentes.

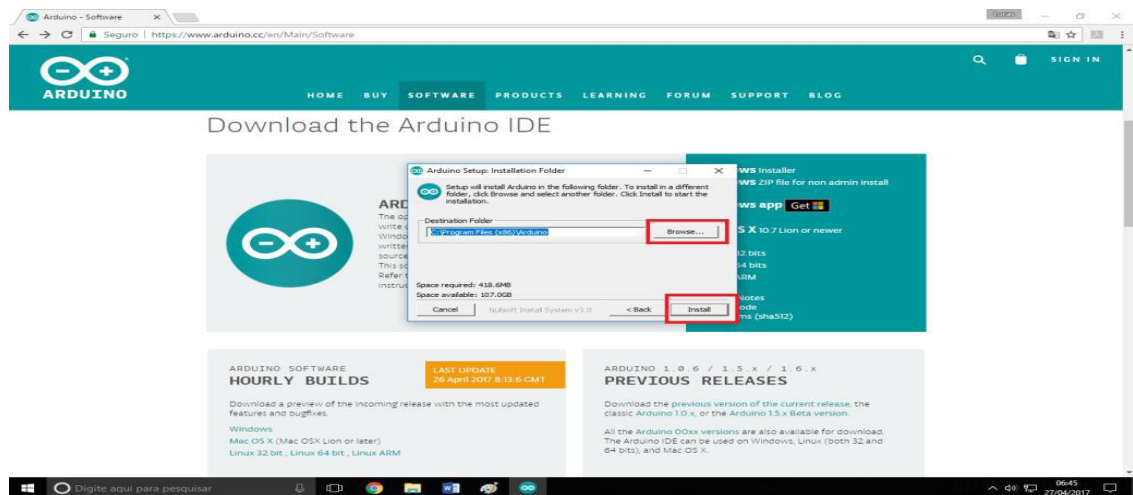


Figura B24 – Parte de Instalação do Programa.

8. Ao concluir o processo de instalação, será necessário ativar alguns componentes para realizar a conexão entre a placa e o “software”, vá no botão “Instalar”, acione-o em todos os componentes, assim dará prosseguimento as próximas etapas.

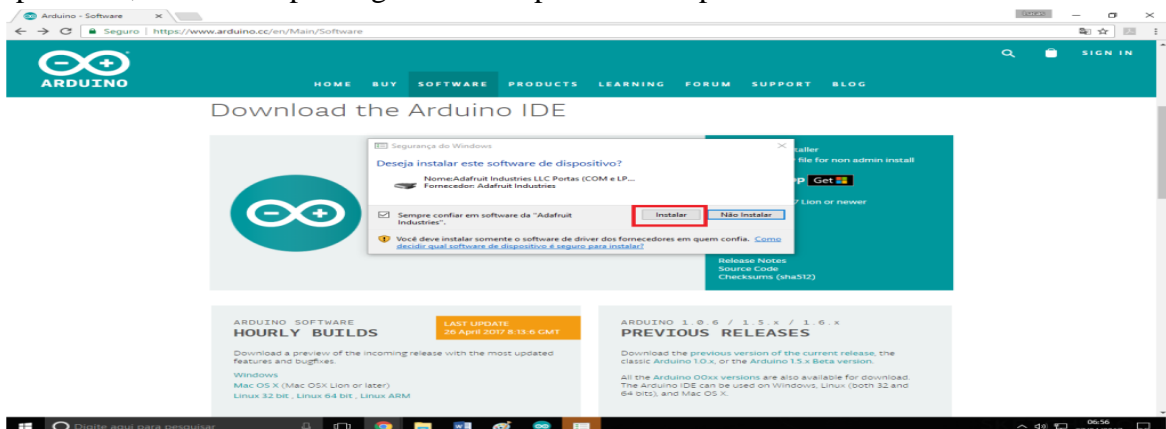


Figura B25 - Liberação de alguns "software".

9. Quando a barra de progresso for concluída, clique no botão “Close”.

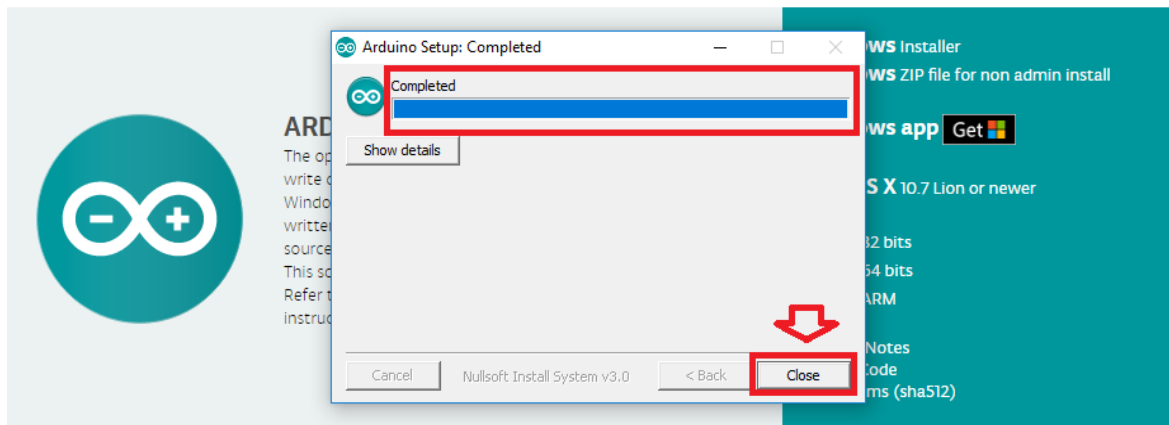


Figura B26 - Barra de Instalação Concluída.

Na página principal do seu computador, irá aparecer um ícone de atalho para poder trabalhar, dê um duplo clique no botão do Arduino. Então, será mostrado uma tela, conforme Figura 12, onde será feita a programação necessária aos experimentos e ativação da placa.

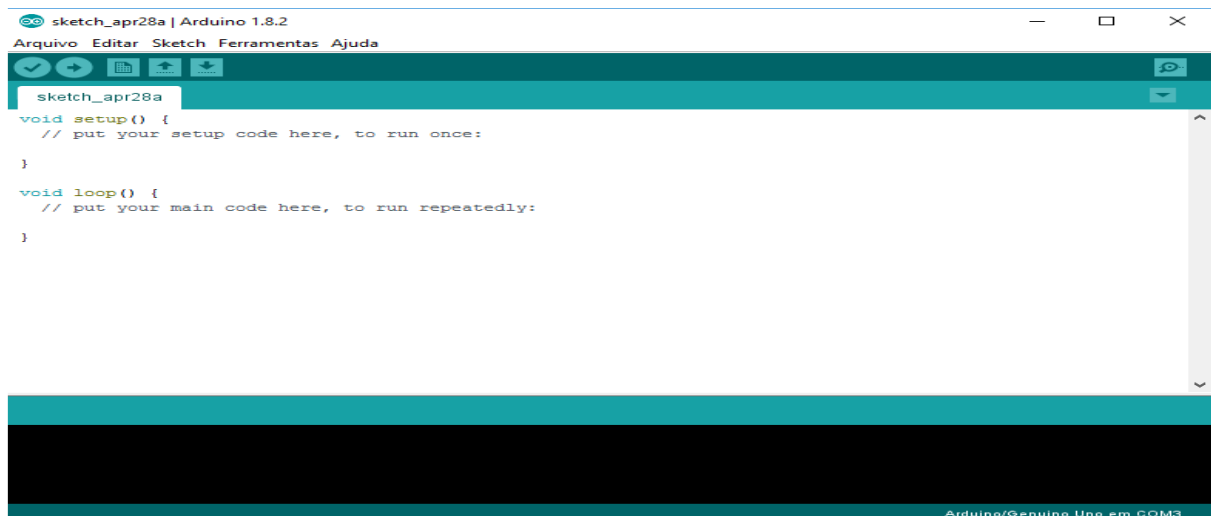


Figura B27 - Interface do IDE do Arduino.

## B.4 Compreendendo a programação do Arduino

De uma forma simples e rápida, apresentaremos o básico desta programação, para que possa utilizar com facilidade o Arduino e atribuir os projetos e melhor compreender o trabalho assim desenvolvido.

### Linguagem de Programação

É um “idioma” onde a máquina interpretará e executará as instruções, para conhecimentos, a linguagem de programação utilizada no Arduino é a linguagem C++, mas apresentando pequenas modificações pertinentes.

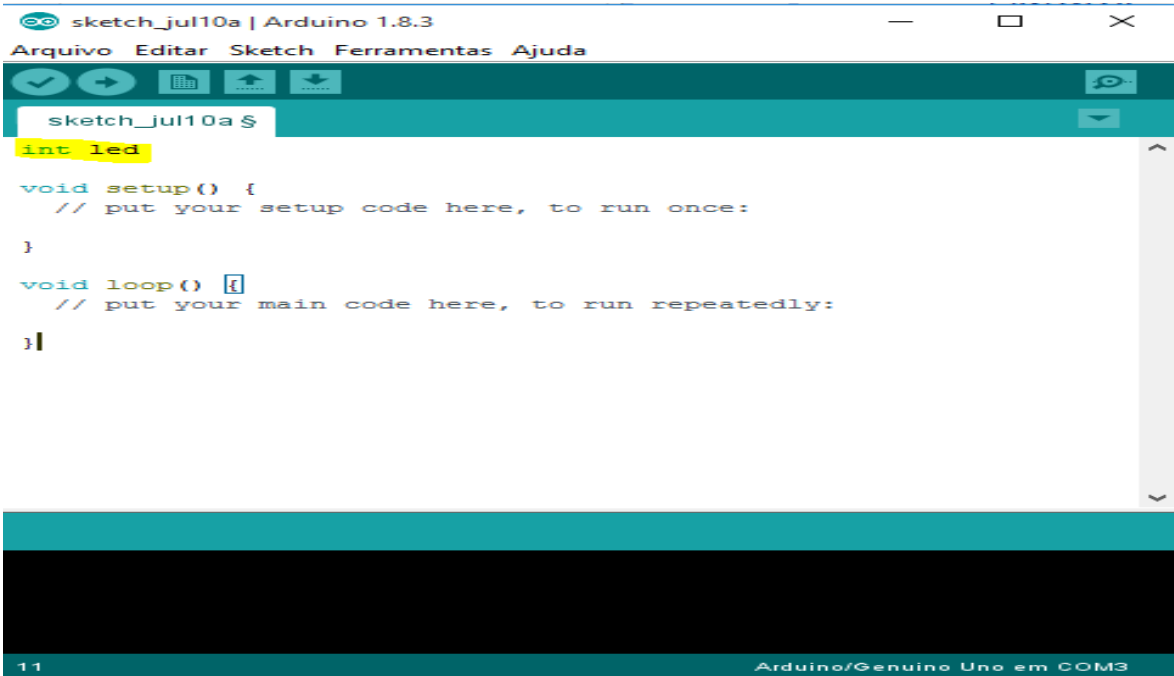
### Algoritmo

Programa ou simplesmente algoritmo, é um processo de comunicação entre homem e máquina, sendo que o homem deve através do algoritmo, deve dizer o que ele deve fazer,

contudo para o Arduíno recebe o nome de “sketch”, neste apresentará uma sequência de comandos, pois os referidos irão fazer o passo a passo do programa.

### Variável

Este recurso se constitui para armazenamento de dados para uma programação do seu computador, contudo, ao usar uma variável será necessário a criação de uma declaração da variável. Mostraremos na figura a seguir, onde apresenta uma declaração de uma variável com o nome “led” e devemos afirmamos o seu tipo “int”.

A screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "sketch\_jul10a | Arduino 1.8.3". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The toolbar contains icons for check, run, upload, and download. The main editor area shows the following code:

```
sketch_jul10a $  
int led  
  
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
}  
  
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
}
```

The text "int led" is highlighted in yellow. The status bar at the bottom shows "11" on the left and "Arduino/Genuino Uno em COM3" on the right.

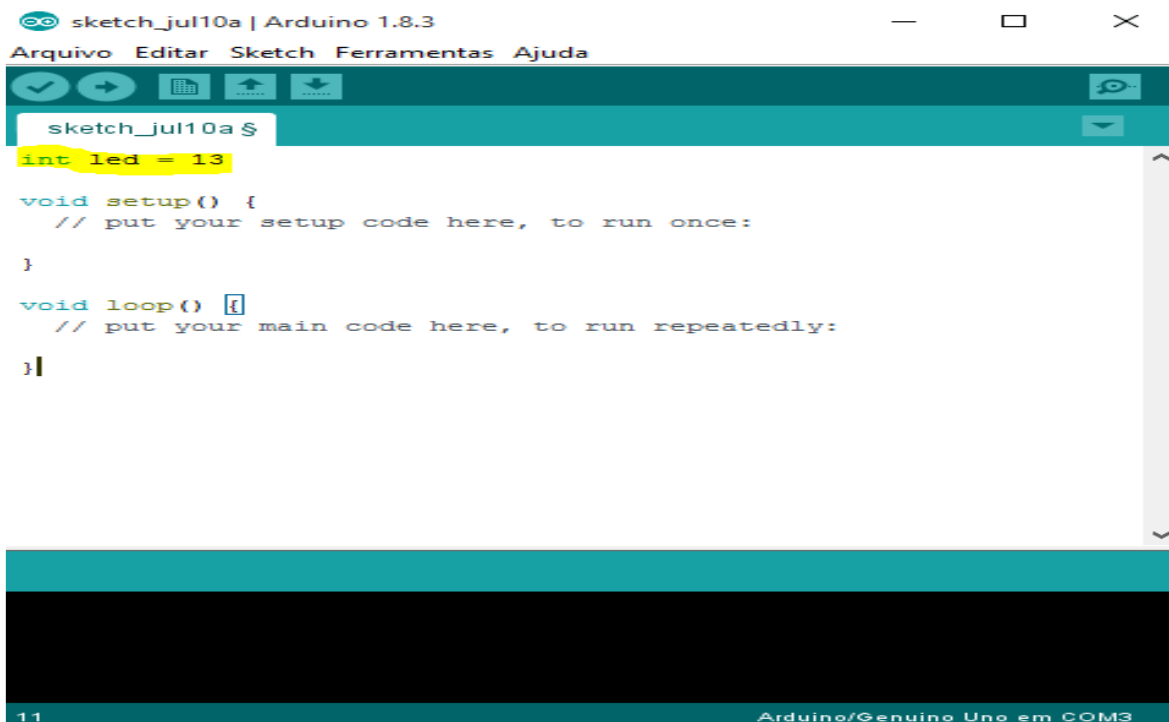
Figura B28 - Mostra da declaração de uma variável.

A tipificação dos dados segue uma variável significativa, como diz o próprio nome é um tipo de informação que armazenará naquela variável. Neste apresentamos os tipos mais comuns de dados utilizados:

- boolean: valor verdadeiro (true) ou falso (false);
- char: um caractere;
- byte: um byte ou sequência de 8 bits;
- int: número inteiro de 16 bits com sinal (-32768 a 32767);
- unsigned int: número de 16 bits sem sinal (0 a 65535);
- long: número inteiro 16 bits com sinal (-2147483648 a 2147483647);
- unsigned long: número inteiro de 16 bits sem sinal (0 a 4294967295);
- float: número real de precisão simples (ponto flutuante);
- double: número real de precisão dupla (ponto flutuante);
- string: sequência de caracteres;
- void: tipo vazio (não tem tipo).

## Atribuição

Nesse podemos atribuir uma variável para valor significativo no armazenamento, assim para ser utilizado posteriormente. Para que possamos atribuir, são feitas em duas partes: 1) definir o tipo de variável e 2) nome e sua respectiva atribuição (valor), observando na figura a seguir, temos:

A screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar shows 'sketch\_jul10a | Arduino 1.8.3'. The menu bar includes 'Arquivo', 'Editar', 'Sketch', 'Ferramentas', and 'Ajuda'. The toolbar contains icons for saving, running, and other functions. The main editor area shows the following code:

```
int led = 13;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

The line 'int led = 13;' is highlighted in yellow. The status bar at the bottom indicates '11' and 'Arduino/Genuino Uno em COM3'.

Figura B29 - Atribuindo o valor de uma variável.

## Operador

É um conjunto de um ou mais caracteres, servindo para operar sobre uma ou mais variáveis ou constante. A programação que apresenta uma linguagem em conjunto de operadores diferentes. A seguir apresentaremos os operadores comuns ao Arduino:

### 1. Operadores aritméticos:

+ :adição;

- :subtração;

\* :multiplicação;

/ :divisão.

### 2. Operadores lógicos:

&& :conjunção (“e”);

|| :disjunção (“ou”);

== :igualdade (“igual a”);

!= :desigualdade (“diferente de”);

! :negação (“não”);

> :“maior que”;

< :“menor que”;

>= :“maior ou igual a”;

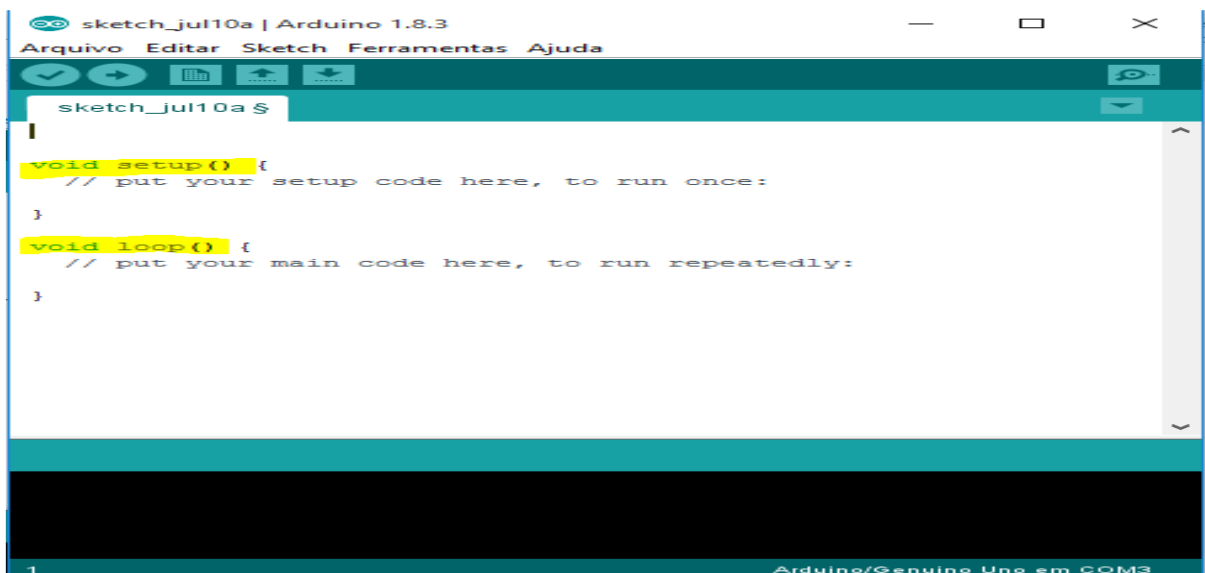
<= :“menor ou igual a”

3. Operadores de atribuição:

= : atribui um valor a uma variável.

## Função

Para definirmos este processo que é uma sequência de comandos, podendo ser utilizados quantas vezes forem necessários em sua programação. Contudo, existe dois processos que são atribuídos a uma espécie de função padrão, que são o “void setup”, para este é declarado que outras funções importantes no programa, sendo que a função será executada somente uma vez. Enquanto que a função “void loop”, neste que fica as linhas de código para serem executadas, ele é o programa em sua essência, isso podemos observar na figura seguinte. Para tanto, podemos considera-las funções principais ao ser inseridas outras atribuições, funções ou variáveis.



```
sketch_jul10a | Arduino 1.8.3
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_jul10a $
|
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
1
Arduino/Genuino Uno em COM3
```

Figura B30 - Funções "void setup" e "void loop".

## B.5 PLX-DAQ Spreadsheet

Para uma boa realização de um trabalho e coleta de dados demonstrativos, será necessário a instalação deste aplicativo, conforme mencionado no subtítulo, esse “software” é um complemento do Arduino, onde a conexão entre eles gera tabelas em Excel. Deixaremos a página para poder baixar o arquivo e na sequência mostraremos como é o processo de instalação, então visite a página <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq> para início ao processo.

Procure o item “PLX-DAQ.zip”, nele você fara o “download, mostraremos na figura a seguir:

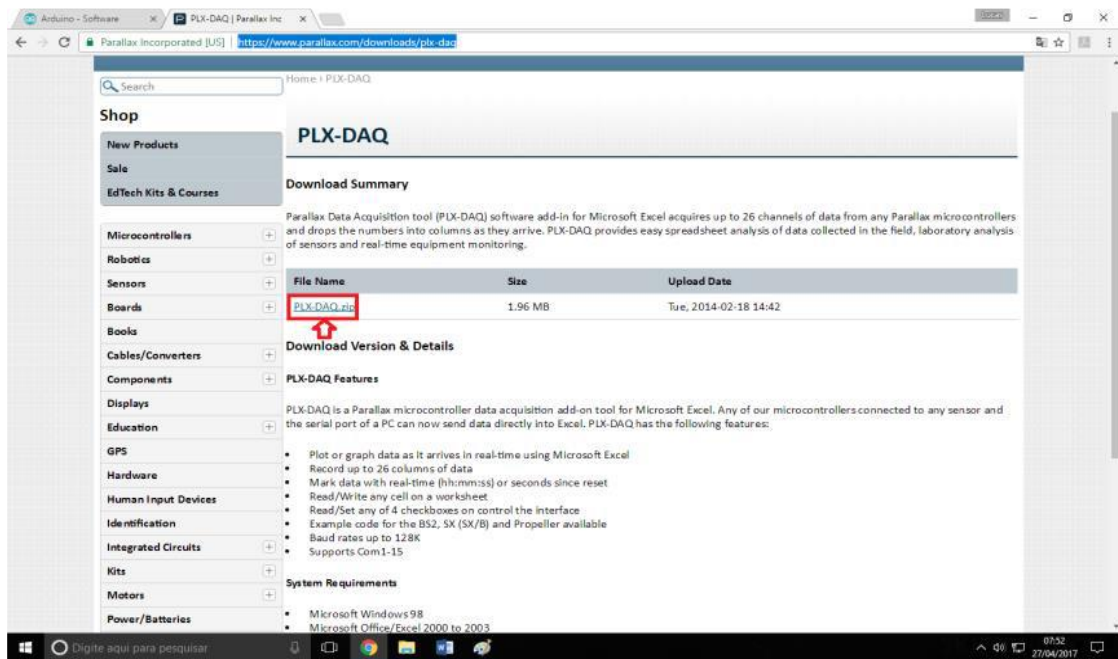


Figura B31 - Página principal para baixar o arquivo e instala-lo.

Ao concluir o processo, abra o arquivo baixado para começar a instalação, veja na figura seguinte:

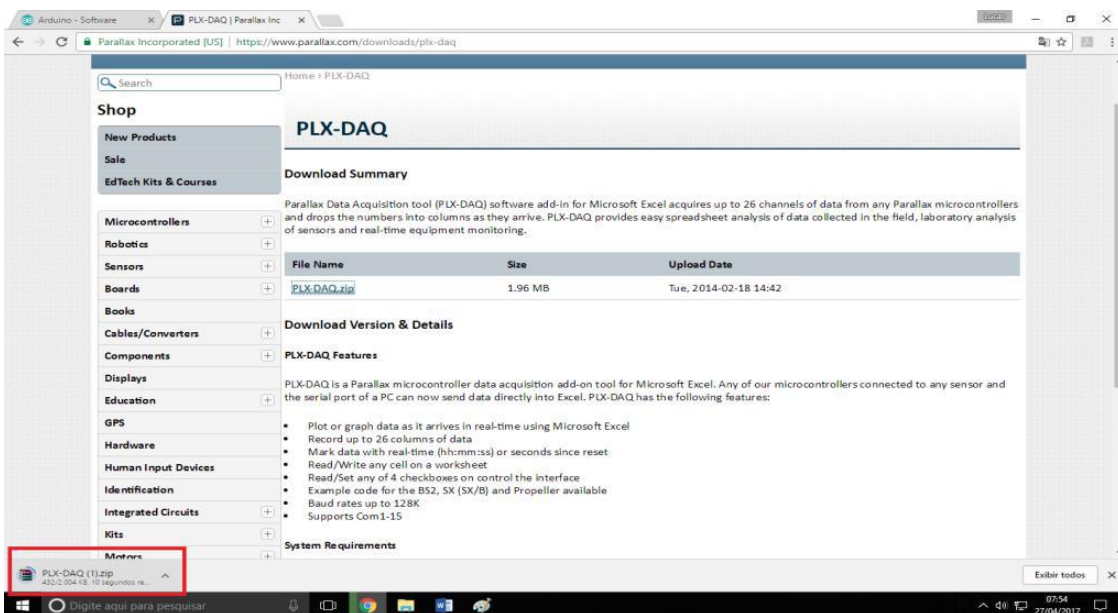


Figura B32 - Aplicativo que armazenou o "software".

Na imagem seguinte, será apresentado na tela o aplicativo “Winrar”, para este será necessário abri-lo e descompacta-lo, pois estará em “.zip”, outra maneira de baixar o aplicativo, pode-se usar no site: <http://www.winrar./start.html?&L=0>

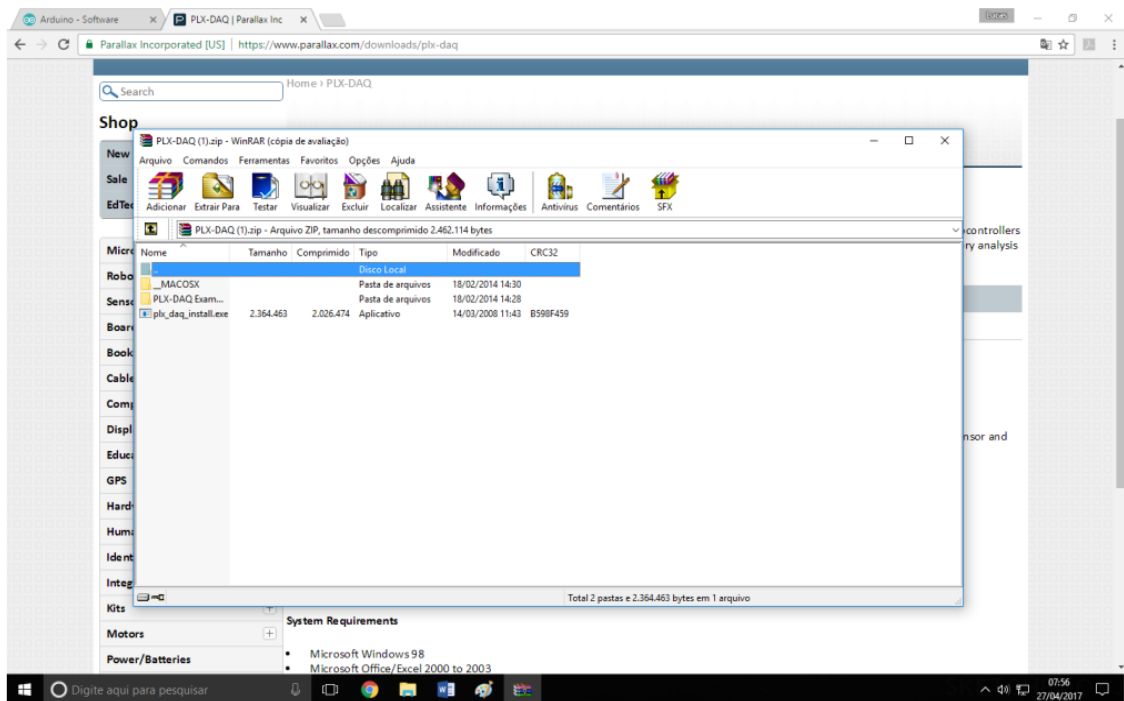


Figura B33 - fazendo a instalação do plx daq.

Aconselhamos que crie uma pasta de trabalho, nesta será feita todos os armazenamentos, será mostrado na figura a seguir, mas deve-se selecionar os arquivos desejado, dando sequência clique na aba “Extrair Para”.

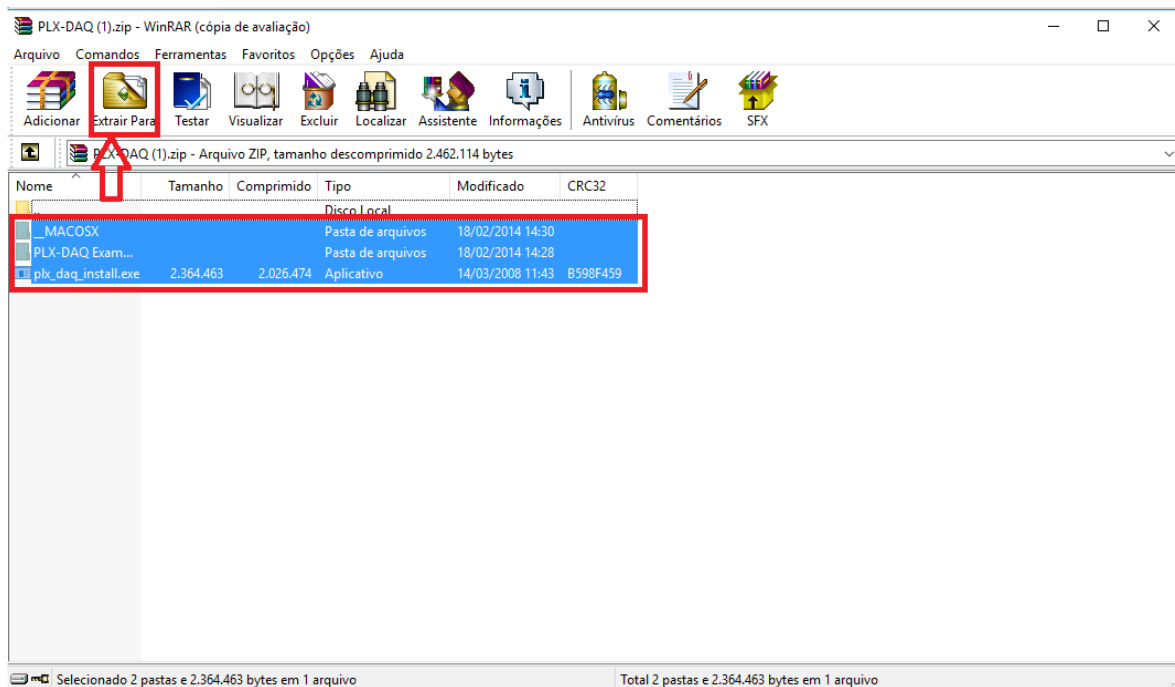


Figura B34 - Selecionando os arquivos desejados.

Após selecionar os arquivos, acione o botão “OK”, de acordo com a figura a seguir.

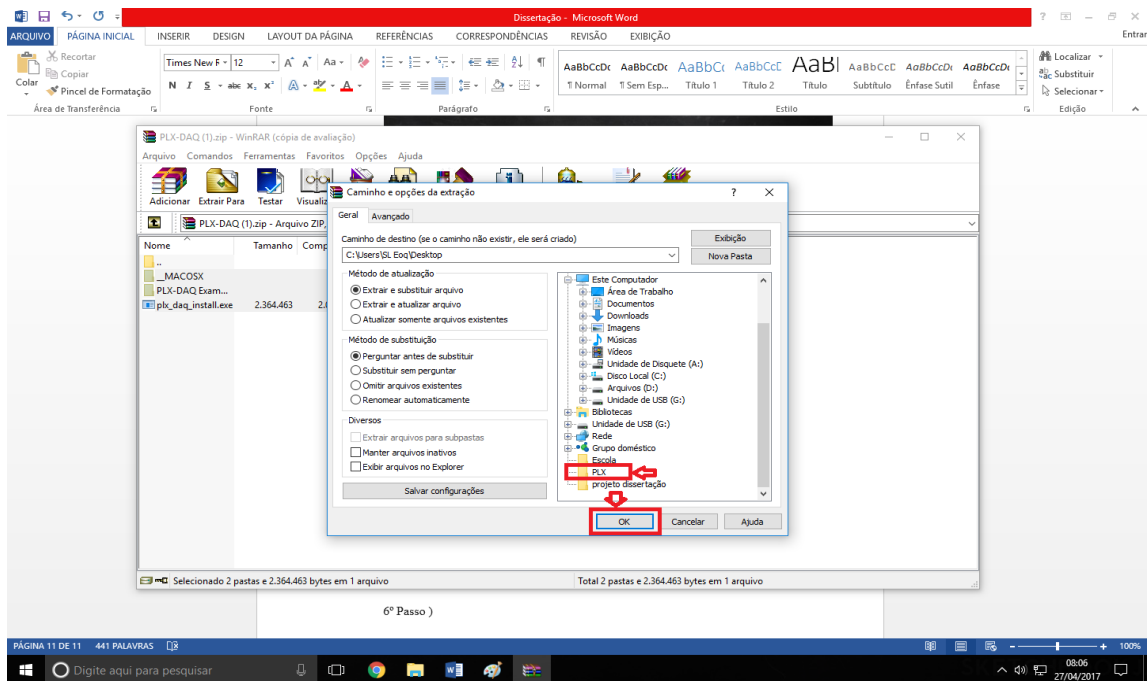


Figura B35 - Aplicando o processo de armazenamento dos arquivos.

Aplique um duplo clique no botão esquerdo do arquivo “plx\_daq\_install”, veja a seguir na imagem.

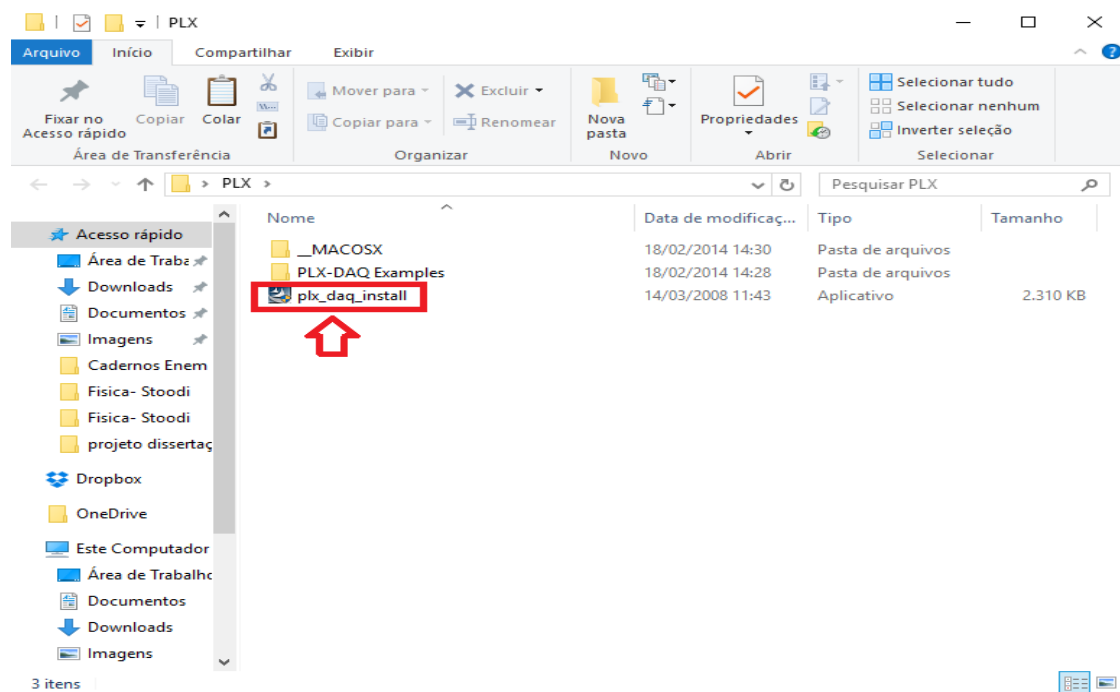


Figura B36 - Nesta imagem você pode ver o processo de instalação.

Agora deverá abrir uma janela de instalação do programa, veja a figura a baixo, então clique no botão “Next”, ele fara o processo de instalação.

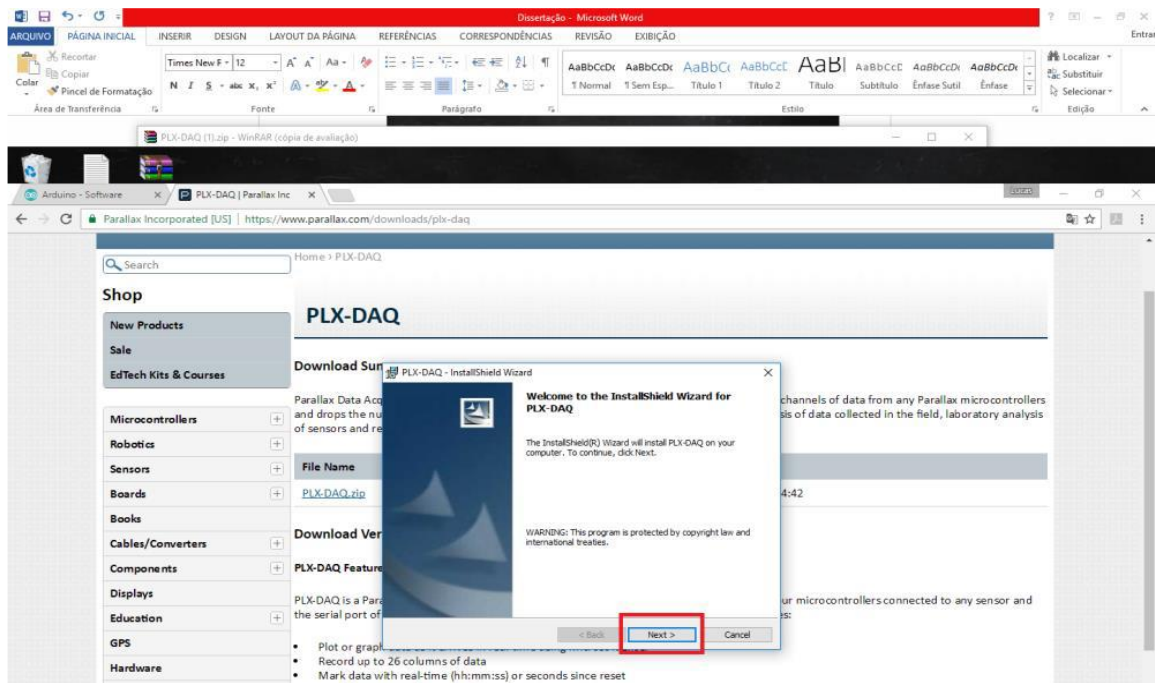


Figura B37 - Sequência de instalação.

Na janela seguinte, deve-se preencher com o seu nome para que a configuração se completa, depois de preencher o que se pede, vá no botão “Next”, observe a figura seguinte:

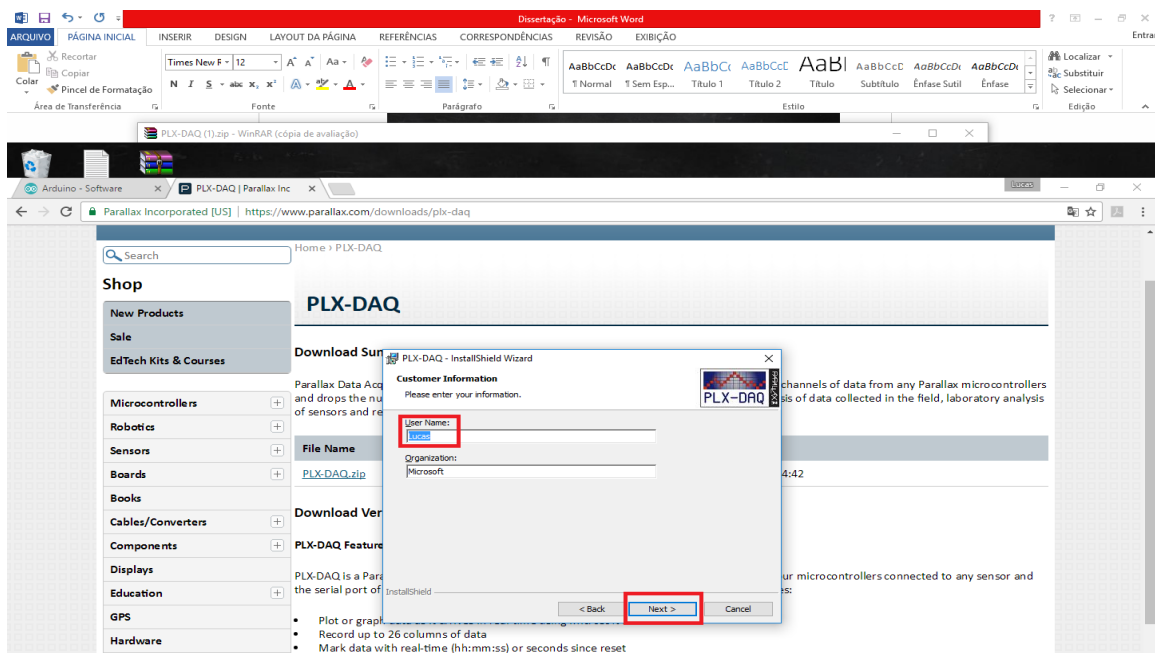


Figura B38 - Configuração e preenchimento de dados.

Depois de apertar botão “Next”, abrirá uma nova janela, nela clique no “Typical”, este é o tipo que você quer a instalação parcial ou completa, neste será completa, depois clique no botão “Next” outra vez.

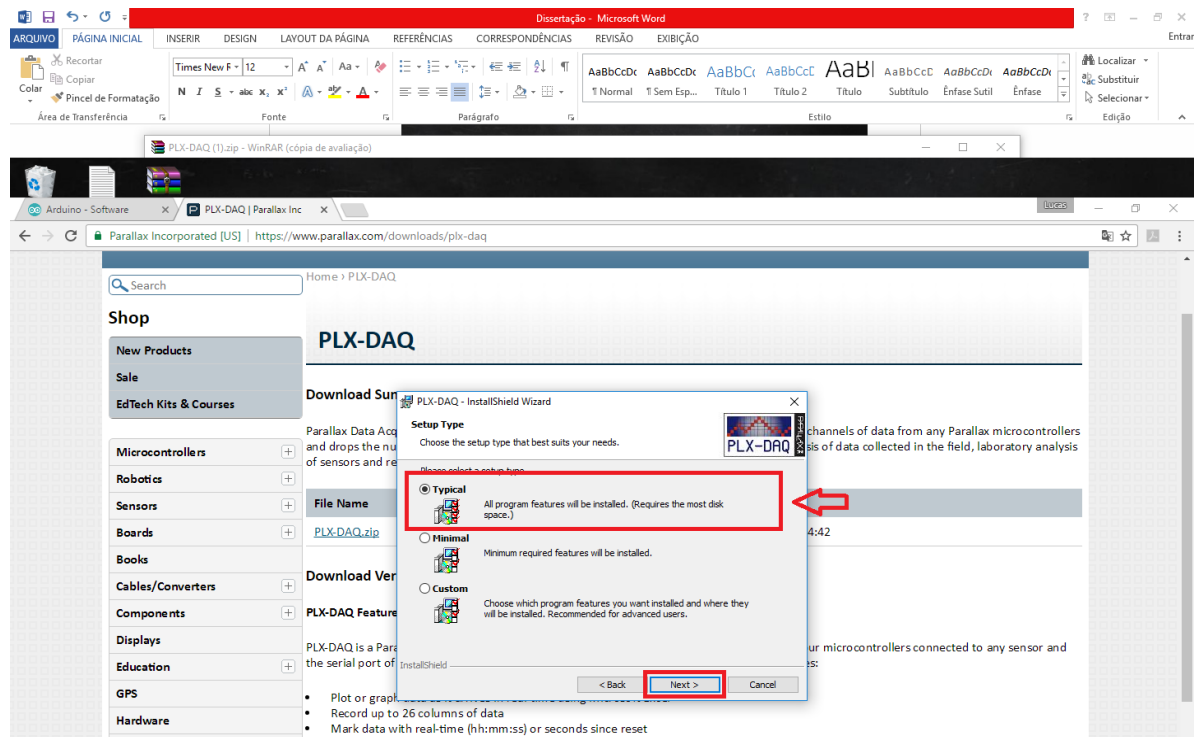


Figura B39 - Escolha da quantidade do software, completa ou não.

Na próxima janela abrirá com um botão “Finish”, é bem provável que leve alguns minutos para a instalação, quando completar aperte o botão mencionando anteriormente para concluir todo o processo.

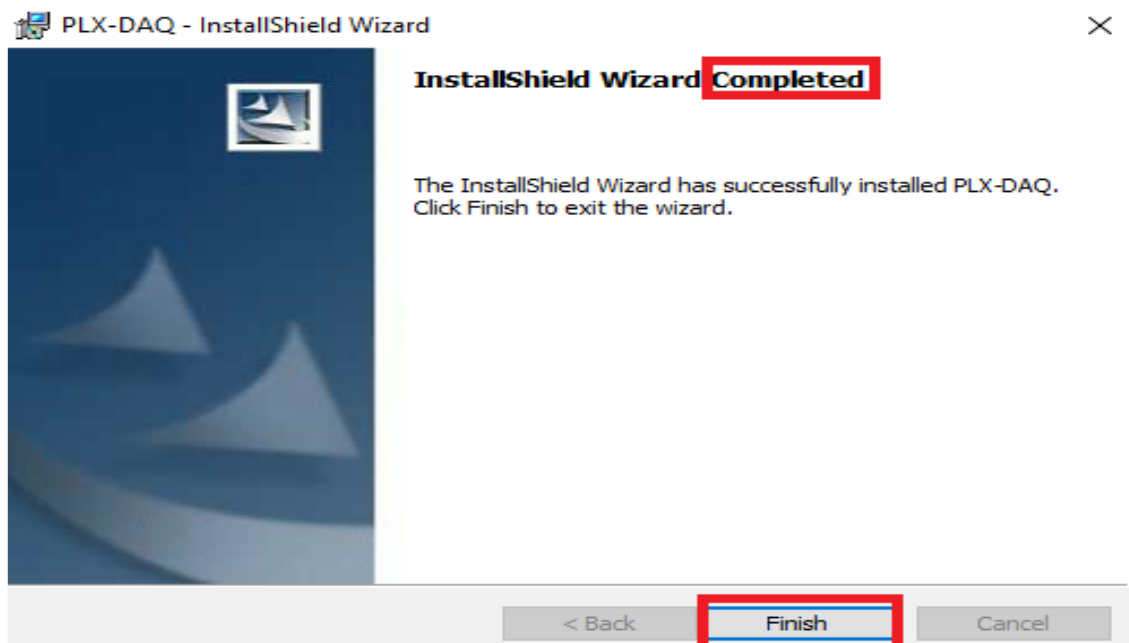


Figura B40 - Processo de Instalação concluída.

Pronto, agora criando em uma pasta com o nome do programa “PLX-DAQ”, nele pode-se armazenar os dados do programa que utilizaremos ao longo da elaboração de projetos. Contudo, quando for abrir o programa, apresentará uma interface do Excel com o “PLX-DAQ”, observe a figura a seguir.

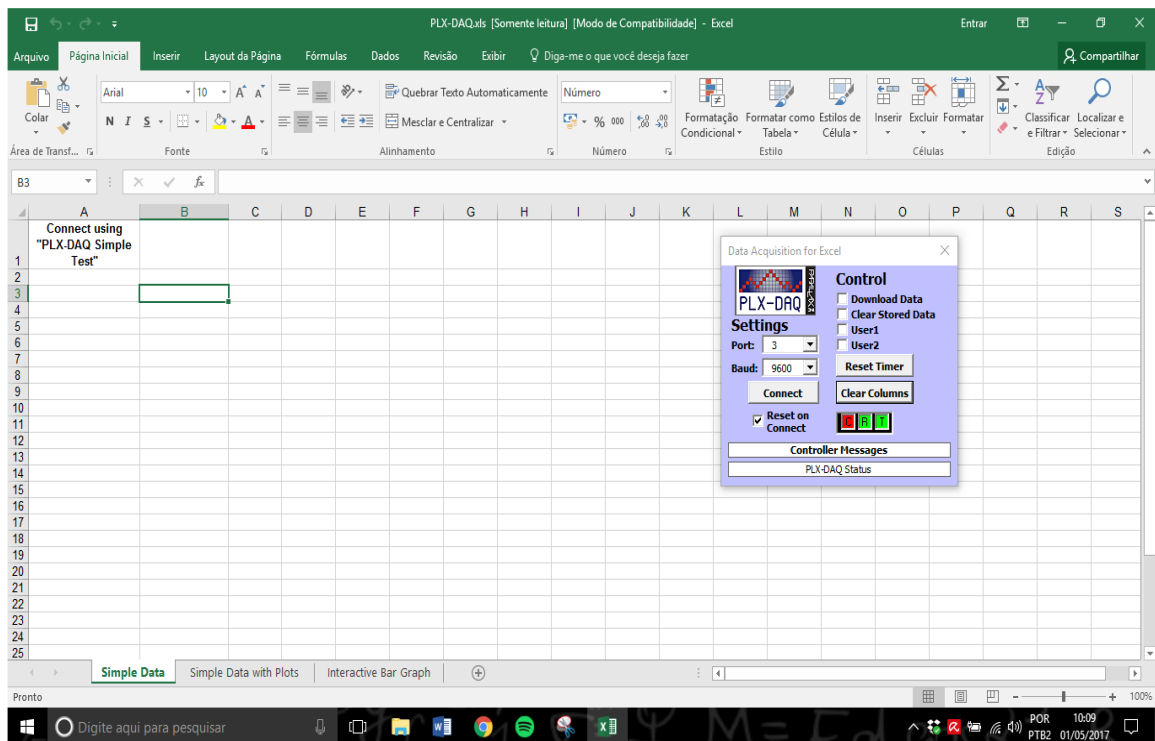


Figura B41 - Interface do "PLX-DAQ"

## B.6 Google Drive

Local onde pode ser armazenado, compartilhado e guardar todas os documentos atribuídos ao desenvolvimento das ações de ensino, pesquisa ou extensão, a plataforma colaborativa de criação e edição de documentos diversos.

Neste é possível o “armazenamento de arquivos em nuvens, utilizando memória de servidores *on-line* e permitindo o acesso remoto pela *Internet* sem a necessidade de instalação de programas ou armazenamento físico de dados” (SANTIAGO & DOS SANTOS, 2014). Considerando que há variações no tamanho disponibilizado em aquisição de planos pagos ou não, contudo há versão padrão para usuários, abrangido em 15 GB.

## B.7 Google forms

Permite ao usuário que “recolha e organize gratuitamente informações grandes e pequenas” (GOOGLE, 2017), podendo ser visualizado gráficos e planilhas, podem ser apresentados uma variação de estilos de perguntas, possibilidade de envio de arquivos, exibição de imagens ou vídeos e outras características (GOOGLE, 2017). (HEIDEMANN, OLIVEIRA, & VEIT, 2010) afirma que “levantamentos de opiniões podem ser facilmente implementados no Google Forms”.

Este pode-se realizar a consulta aos discentes sobre a atividade realizada, questões de pesquisa sobre experimentos ou até mesmo apresentar como *feedback* ao que deseja conhecer, considerando que há possibilidade de ser utilizado virtualmente.

## B.8 Tinkercad

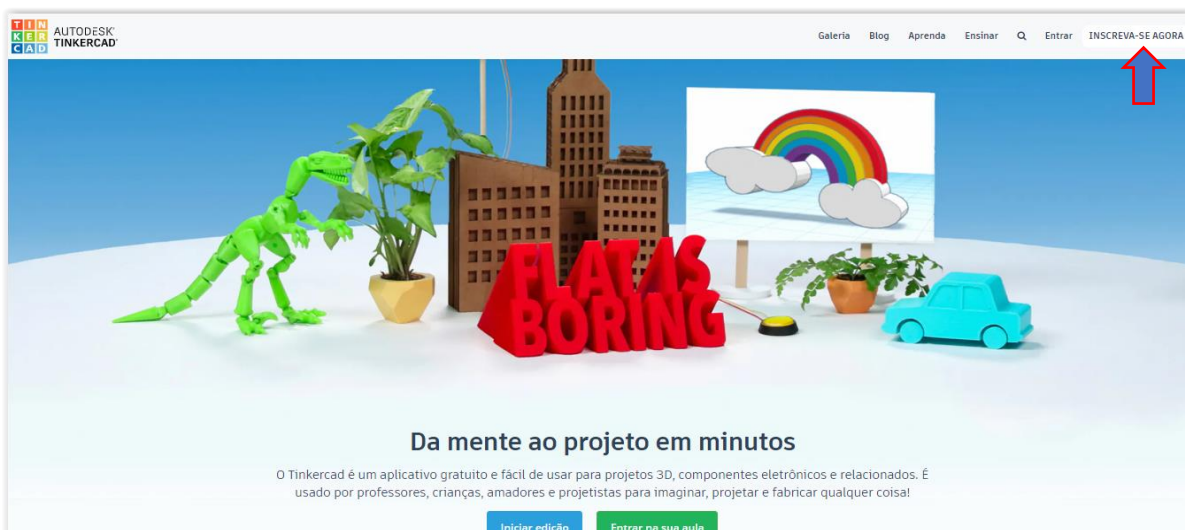
É uma ferramenta que pode auxiliar na construção de protótipos que sejam feitos antecipadamente, antecedendo a construção estrutural de determinados instrumentos que podem ser usualmente aproveitados, tendo como exemplo diversas modelagens abordadas no próprio site: <https://www.tinkercad.com/>. Contudo, entenderemos a sua funcionalidade, onde apresentam intuitivamente o seu mecanismo, para tanto, temos que definir alguns itens do sistema que é apresentado.

*Tinkercad* é uma ferramenta gratuita e on-line, onde podem ser criados modelos em 2D ou 3D, sendo que o usuário pode desenvolver o seu próprio projeto de forma simples, considerando que em minutos o projeto ficará construído; nele também podemos pode-se uma variação geométricas.

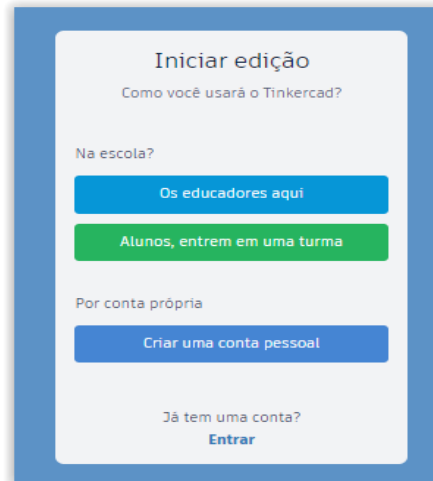
Os recursos apresentados *Tinkercad* são suficientes para modelagem e, inclusive, para impressão em 3D, podendo visualizar os projetos tridimensionalmente, apresentando as formas geométricas, tipo esféricas, caixas, textos, números, conectores, pois todos estão disponíveis nesta plataforma. Um outro ponto interessante é a possibilidade de *baixar* os códigos para acessar a placa Arduino. A seguir, apresentaremos os passos para a utilização do *Tinkercad*.

Ao acessar a página <https://www.tinkercad.com/>, deve-se criar o seu usuário, como mostramos a seguir:

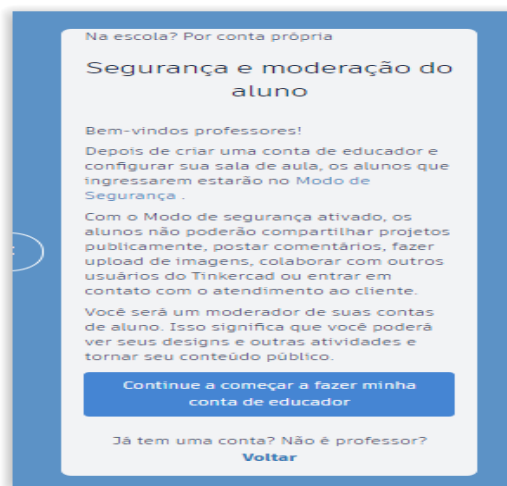
1. Clicar em “Inscreva-se agora”;



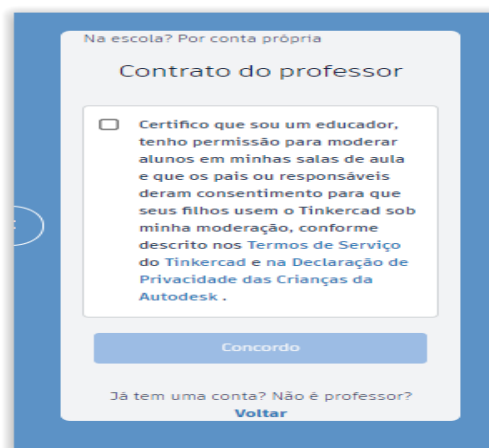
2. Deve-se escolher ao iniciar a edição, podendo ser “Na escola?”, que apresentam dois itens, sendo “Os educadores aqui” ou “Alunos, entrem em uma turma”, contudo, pode ser “por conta própria”, e nele o usuário pode clicar em “Criar uma conta pessoal”;



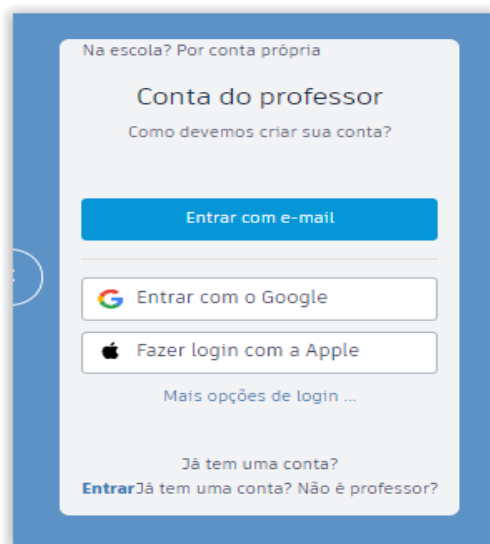
3. Como educador, você pode construir uma sala, neste ponto o usuário, pode clicar em “Continue a começar a fazer minha conta de educador”;



4. Na sequência a janela que virá é só marcar no certificado e concordar;



5. Na janela seguinte, é possível que possa entrar com seu e-mail, conta google ou Apple;



6. Para criar a sua conta usando o e-mail, deve-se preencher o que se pede;
7. Saia e entre novamente, acessando a aba no lado esquerdo, clique em “Circuitos”, depois clique em “Criar novo circuito”;
8. Depois que entrar, tem uma aba do lado direito que estão disposto todos os componentes eletrônicos, nele podem ser arrastados e construído os projetos, logas a cima da aba, tem “código”, “iniciar simulação” e “exportar”;

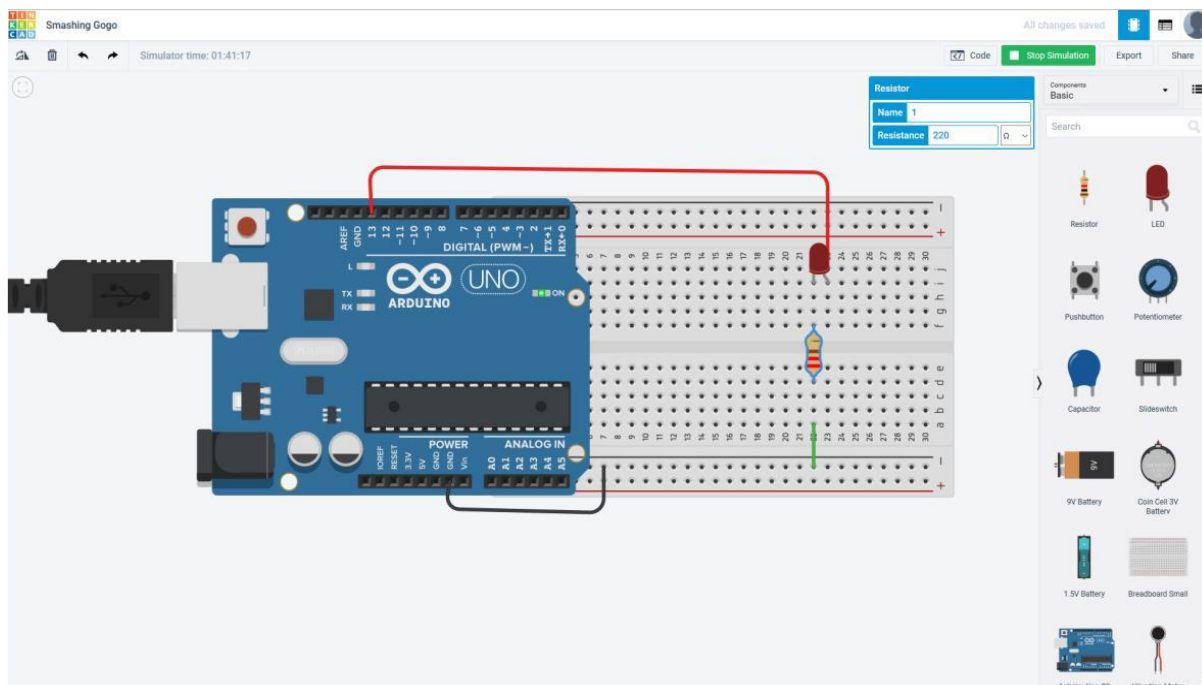


Figura B27 - Os componentes eletrônicos do Tinkercad para serem aplicado na placa Arduino.

O importante desta ferramenta é que possui propriedades pertinentes ao projeto assim correspondido, para exemplificarmos, podemos ver a caixa de propriedade de resistor sendo usado no circuito representado, permitindo assim, alterar nomes dos componentes, valores de resistências e até unidades de medidas.

A disponibilização destes componentes é integrada a placa Arduino (Versão UNO), com

um ambiente de programação (IDE), para blocos e texto. Apresenta também uma depuração aos códigos e traz um monitor serial na versão original, tornando essa ferramenta um excelente estudo, aplicação e simulação para prototipagem de projetos.

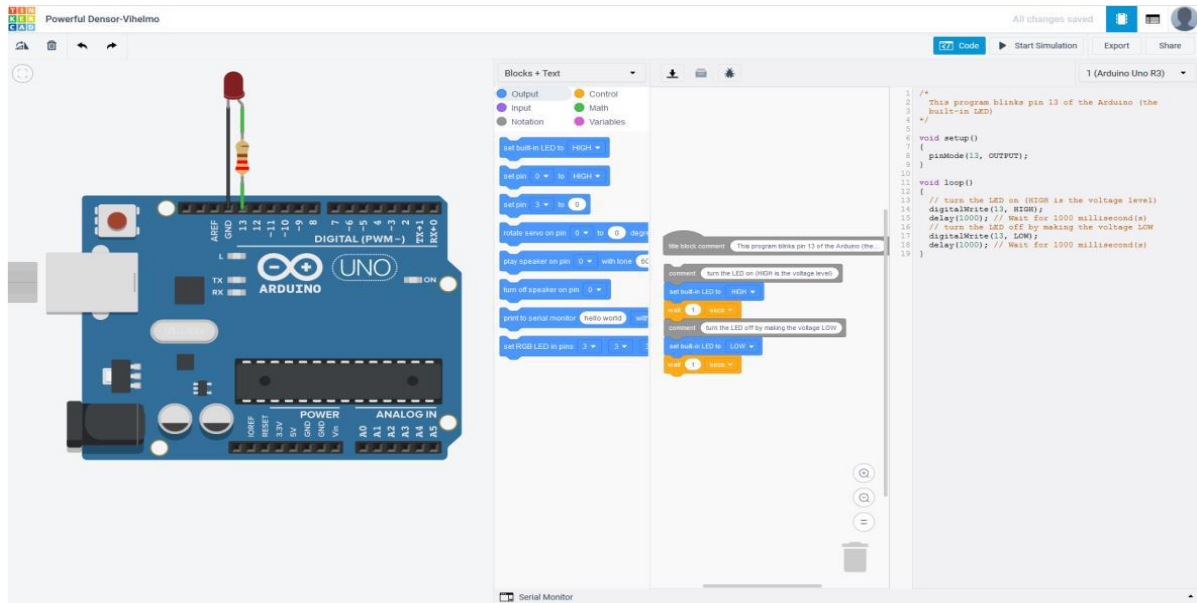


Figura B28 - Ambiente para programação no Tinkercad para Arduino.

Com essa ferramenta simples e gratuita, otimizando a forma de começar modelagens em 3D, principalmente. Na compreensão de entendimento dessa sequência e utilização das noções básicas, vale ressaltar que não é necessário baixar arquivos, mas terá que ter uma internet para que tenham acesso a página *Tinkercad*.

Entretanto, serão abordados três experimentos, sendo que o primeiro não utilizará o *Tinkercad*, então, os dois restantes utilizarão a plataforma mencionado. Segue os experimentos, para que possamos entender o Efeito Fotoelétrico de forma didática e diferenciada.