

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Sobre o desenvolvimento de laboratórios de física, virtuais e remotos,
integrados a um ambiente hipermídia**

Matheus Lobato de Castro Oliveira
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

MATHEUS LOBATO DE CASTRO OLIVEIRA

**Sobre o desenvolvimento de laboratórios de física, virtuais e remotos,
integrados a um ambiente hiperfídia**

Dissertação Mestrado Profissional
apresentada à Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Ensino
em Física (Profissionalizante), para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Alexandre T. G. de Carvalho

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

O48s
2025

Oliveira, Matheus Lobato de Castro, 1992-

Sobre o desenvolvimento de laboratórios de física, virtuais e remotos, integrados a um ambiente hipermídia / Matheus Lobato de Castro Oliveira. – Viçosa, MG, 2025.

1 dissertação eletrônica (123 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Física, 2025.

Referências bibliográficas: f. 69-71.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.613>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Laboratórios de física - Ensino auxiliado por computador.
2. Internet das coisas. I. Carvalho, Alexandre Tadeu Gomes de, 1959-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.
- III. Título.

CDD 22. ed. 530.0710285

MATHEUS LOBATO DE CASTRO OLIVEIRA

**Sobre o desenvolvimento de laboratórios de física, virtuais e remotos,
integrados a um ambiente hipermídia**

Dissertação Mestrado Profissional
apresentada à Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Ensino em
Física (Profissionalizante), para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de junho de 2025.

Assentimento:

Matheus Lobato de Castro Oliveira
Autor

Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho
Orientador

Essa dissertação mestrado profissional foi assinada digitalmente pelo autor em 24/09/2025 às 17:12:16 e pelo orientador em 24/09/2025 às 18:31:44. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **4CVH.XHX6.41W6** e clique no botão 'Validar documento'.

Dedico todo o esforço desta pesquisa à minha criança interior que um dia sonhou
em contribuir para a ciência.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Ao meu orientador Prof. Alexandre Tadeu, pelo incentivo e motivação durante o trabalho, pelas horas de conversas sempre muito produtivas e pelas ótimas ideias.

Aos meus amados pais Maria Silvia e Maurício pelo amor, confiança e por sempre acreditarem em mim.

Aos meus exemplares irmãos Raymundo, Eugênia e Ângelo, e minha cunhada Viviane pelo constante incentivo.

Aos meus lindos sobrinhos Bê, Bia e Bebelá por representarem o meu futuro.

A Camila Murta por sempre estar ao meu lado nos momentos difíceis.

A todos os professores do mestrado profissional pelos ensinamentos.

Aos meus grandes amigos por todo apoio e irmandade.

A República Taberna e todos os seres que nela habitaram.

A todos os meus preciosos amigos de Ouro Branco, Viçosa e Coronel Murta.

A todos os meus alunos que fizeram parte dessa pesquisa.

A Sociedade Brasileira de Física, por disponibilizar o Mestrado Profissional de forma a capacitar os professores da rede pública de educação.

A Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

“A experiência não é algo que acontece a um sujeito passivo; ela envolve interação e transformação.”

— John Dewey, Democracia e Educação

RESUMO

OLIVEIRA, Matheus Lobato de Castro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2025. **Sobre o desenvolvimento de laboratórios de física, virtuais e remotos, integrados a um ambiente hipermídia.** Orientador: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho.

Considerando aspectos das experiências de ensino em meio à pandemia, que revelaram novas possibilidades para o ensino tanto presencial quanto remoto ou híbrido, nos propomos a investigar a construção de laboratórios remotos com experimentos de Física que pudessem ser acessados e operados à distância pelos alunos através web, usando um site, com adequada interface gráfica de usuário, ou de um celular. Investigamos etapas da construção do hardware e do software que permitissem o controle e manipulação de sistemas reais de experimentação, via internet, fazendo uso do conceito de internet das coisas (Internet of Things - IoT). Utilizamos um sistema de computação de pequena escala, que permite a programação de sua firmware (software que controla o sistema elétrico) por meio de uma IDE (Ambiente Integrado de Desenvolvimento), o Arduino, como elemento principal do hardware, atuando como controlador do arranjo experimental e como o servidor web. O gerenciamento de conexão de dispositivos via WiFi foi implementado utilizando-se da plataforma Blynk IoT. Trata-se de uma plataforma personalizável, que permite controlar remotamente hardwares programáveis, reportar dados de sensores e módulos, além de muitas outras funcionalidades. A investigação foi fundamentada na Teoria de Aprendizagem Multimídia de Richard E. Mayer, sem perder de vista as consolidadas teorias de aprendizagem e de psicologia cognitiva. A teoria de Mayer se apoia em três princípios fundamentais, Princípio de Duplo Canal, Princípio de Limitação da Capacidade Cognitiva e Princípio do Processamento Ativo, que dão origem a quinze princípios do design instrucional multimídia. Estes princípios nortearam aspectos construtivos do aparato eletrônico de controle e automação bem como do site, que incorporou diversos objetos de aprendizagem, compondo uma hipermídia sobre o tema da experimentação remota. Verificamos que a implementação dessas tecnologias exige um nível de expertise considerável no âmbito da informática, da eletrônica, bem como da psicologia e didática da aprendizagem multimídia, que não estavam prontamente disponíveis. Uma aplicação exploratória empírica, com vistas a tentar validar a utilização destes objetos de aprendizagem, incluindo o laboratório remoto, realizada no âmbito escolar, apontou dificuldades associadas à montagem experimental. Ainda assim, os resultados revelaram ótima aceitação por

parte dos estudantes e sugerem eficácia na promoção da aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Experimentos de Física, Laboratório virtual, Laboratório remoto.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Matheus Lobato de Castro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2025. **On the development of virtual and remote physics laboratories, integrated into a hypermedia environment.** Adviser: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho.

Considering aspects of teaching experiences during the pandemic, which revealed new possibilities for both in-person and remote or hybrid teaching, we proposed to investigate the construction of remote laboratories with Physics experiments that could be accessed and operated remotely by students via the web, using a website with an appropriate graphical user interface, or from a cell phone. We investigated stages of hardware and software construction that would allow the control and manipulation of real experimental systems, via the internet, making use of the concept of the Internet of Things (IoT). We used a small-scale computing system, which allows the programming of its firmware (software that controls the electrical system) through an IDE (Integrated Development Environment), the Arduino Mega, as the main hardware element, acting as a controller for the experimental arrangement and as the web server. Device connection management via WiFi was implemented using the Blynk IoT platform. It is a customizable platform that allows remote control of programmable hardware, reporting data from sensors and modules, in addition to many other functionalities. The research was based on Richard E. Mayer's Multimedia Learning Theory, without losing sight of the consolidated theories of learning and cognitive psychology. Mayer's theory is based on three fundamental principles: the Dual Channel Principle, the Principle of Limitation of Cognitive Capacity, and the Principle of Active Processing, which give rise to fifteen principles of multimedia instructional design. These principles guided the constructive aspects of the electronic control and automation apparatus, as well as the website, which incorporated several learning objects, composing a hypermedia on the theme of remote experimentation. We found that the implementation of these technologies requires a considerable level of expertise in the areas of computer science, electronics, as well as psychology and didactics of multimedia learning, which were not readily available. An empirical exploratory application, with a view to trying to validate the use of learning objects, including the remote laboratory, carried out in the school environment, presented difficulties associated with the experimental setup. Even so, the results revealed great acceptance by students and suggested effectiveness in promoting learning in a meaningful way.

Keywords: Physics Experiments, Virtual Laboratory, Remote Laboratory.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Aprendizagem Multimídia.....	16
2.2 Princípios Básicos Da Teoria Da Aprendizagem Multimídia.....	16
2.3 Princípios de Design Instrucional Multimídia Baseados na Teoria da Aprendizagem Multimídia.....	19
2.4 Atividades Experimentais.....	21
3 ELEMENTOS DO ARRANJO EXPERIMENTAL	24
3.1 Capacitores e Capacitância.....	24
3.2 Associação de Capacitores.....	26
3.3 Carga e Descarga em Circuito RC.....	29
3.4 Microcontroladores.....	34
3.5 Internet das Coisas (Internet of Things - IoT).....	35
4 FUNCIONAMENTO DO APARATO	36
5 APLICAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1 Atividades Experimentais Presenciais e Virtuais.....	40
5.2 Laboratórios Experimentais.....	44
5.2.1 Laboratório presencial.....	46
5.2.2 Laboratório híbrido.....	49
5.2.3 Laboratório remoto.....	54
5.3 O Website.....	57
6 CONCLUSÕES E POSSIBILIDADES FUTURAS	63
6.1 Visão geral do projeto: desenvolvimento, construção e aplicação.....	63
6.2 Laboratórios remotos: possibilidades de implementação.....	64
6.3 Possibilidades Futuras do <i>Website</i>	66
6.4 Aprimoramentos no Aparato Experimental.....	66
6.5 A Teoria da Aprendizagem Multimídia.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE A – Produto Educacional	72
APÊNDICE B - Códigos de programação e circuitos do aparato IoT.	103

1 INTRODUÇÃO

O isolamento social causado pela pandemia do Coronavírus forçou mudanças na dinâmica escolar; em muitos casos, o ensino presencial foi substituído pelo ensino remoto híbrido, ou seja, por atividades de ensino que combinaram ferramentas digitais, utilizadas em modo síncrono ou assíncrono, com estratégias pedagógicas fundamentadas nos pressupostos teóricos da educação presencial, criando uma abordagem de ensino flexível e adaptativa. Neste modo, é possível compor uma experiência de ensino que combine atividades presenciais e online, capazes de promover a aprendizagem ativa, bem como interação colaborativa e a construção investigativa do conhecimento.

Aprender é algo que vai além de conhecimento intelectual e conceitual, exigindo também mudança ou desenvolvimento de habilidades e atitudes. No sentido de promover a aprendizagem, as atividades experimentais ou práticas acionam variadas formas de conexão e acesso cognitivo, estimulando o processo de ensino e aprendizagem, a criatividade, a atitude crítica e reflexiva, proporcionando aos estudantes um aprendizado mais significativo.

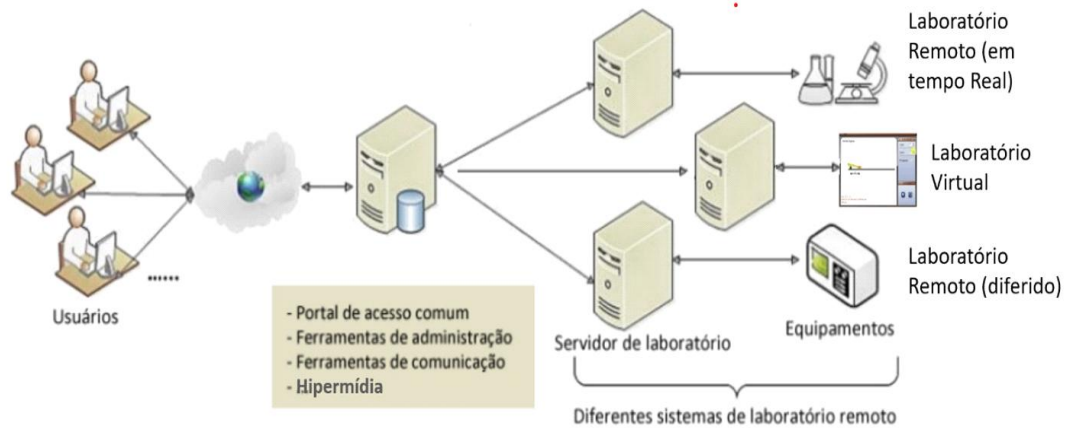
Estudos de psicologia cognitiva demonstram claramente que as pessoas adquirem competências fazendo coisas e refletindo sobre o resultado de suas ações, e não observando e ouvindo alguém dizer-lhes o que deveriam saber. O velho ditado “aprender fazendo” continua sendo válido ainda hoje (Dewey, 1979; Kolb, 1984; Resse, 2011).

As aulas práticas não se referem apenas às aulas ministradas em laboratórios. Elas podem ser atividades simples, envolvendo experimentos dentro de sala de aula, filmes de curta duração exibindo experimentos de fácil construção, simulações computacionais ou laboratórios virtuais e remotos.

Mesmo no ensino híbrido, a experimentação pode desempenhar um papel relevante na educação científica. O acesso a experiências reais (não simuladas) por meio de laboratórios virtuais e remotos demandam ferramentas como a Internet, computadores providos de software e hardware adequados, mas não exigem a presença física do aluno. Estes podem utilizar e controlar os recursos do laboratório através da rede, conforme representado na figura 1. Os laboratórios virtuais e remotos reduzem os custos associados aos laboratórios práticos convencionais devido aos equipamentos, espaço e equipe de manutenção necessários para a

instituição que o usufrui. Além disso, proporcionam benefícios adicionais, como o apoio ao ensino à distância, a melhoria da acessibilidade ao laboratório para pessoas com deficiência e o aumento da segurança para experiências perigosas.

Figura 1 – Representação esquemática do arranjo utilizado para implementação de laboratórios remotos.



Fonte: Adaptado de (Lowe *et al.*, 2016).

O laboratório virtual pode ser pensado de duas maneiras diferentes, por um lado simulações computacionais, que recriam situações físicas idealizadas de modo a facilitar a interpretação de um fenômeno físico e, por outro lado, filmes de curta duração, exibindo experimentos envolvendo situações físicas reais, que podem servir de base a uma análise qualitativa ou quantitativa (Fonseca *et al.*, 2013, Heradio *et al.*, 2016). O laboratório remoto é aquele no qual equipamento real de laboratório é acessado através da Internet, existindo dois modos de execução (Desolda *et al.*, 2023). No experimento em tempo real, síncrono, o usuário opera e controla remotamente um experimento real através de uma interface de experimentação, composta por sensores e instrumentação que propiciam a interação real com equipamentos reais, acessados por um usuário por vez. Na experimentação diferida, assíncrona, uma sequência de centenas de fotografias e dados previamente coletados de um experimento real, previamente realizado, compõem filmes cujos instantes de tempo da filmagem podem ser escolhidos pelo usuário, conduzindo o usuário, ao longo da experiência realizada. Este é um hiperobjeto virtual, criado pela execução de um software que pode reproduzir diferentes caminhos de uma experimentação remota real, podendo ser acessado por

vários usuários concomitantemente e não estando sujeito a atrasos ou interrupções em razão de avarias no equipamento experimental. A palavra "diferida" sugere uma separação temporal ou/e espacial entre a verdadeira realização da experiência e sua observação. Essas atividades permitem que os alunos interajam com dados reais, mas neste ato, não dependem de equipamentos físicos e são escaláveis para um grande número de usuários, oferecendo ao aluno maior protagonismo e independência na aprendizagem. Os dois modos, síncrono e assíncrono, podem ser combinados da maneira que o instrutor achar mais conveniente para o sucesso da aprendizagem.

Neste trabalho investigamos etapas de desenvolvimento de um laboratório remoto e sua integração a uma multimídia, composta por diversos objetos de aprendizagem, por nós construída, fundamentada em teorias de aprendizagem consolidadas e recentes. A produção de uma multimídia requer um planejamento meticuloso, considerando as teorias de aprendizagem (Garcia; Martins, 2021), a disponibilidade de objetos de aprendizagens, o público alvo e a carga cognitiva a que este fica sujeito. Para que um ambiente de aprendizagem proporcione a aprendizagem significativa de conceitos é necessária a organização de uma metodologia adequada dos conteúdos. Sua construção deve priorizar os conceitos mais gerais e inclusivos e, a partir deles e através do uso de recursos que facilitem a aquisição do conhecimento, chegar aos mais específicos.

O presente capítulo teve como objetivo situar o leitor no contexto em que se deu nossa investigação, bem como, delinear as etapas e caminhos que seguimos.

No segundo capítulo fazemos um apanhado das teorias de aprendizagem associadas ao ensino remoto, dando especial atenção à "Teoria da Aprendizagem Multimídia" desenvolvida por Richard E. Mayer. Tratamos também da utilização de aulas práticas ou experimentais como estratégia de ensino e seu potencial para utilização no ensino remoto híbrido.

No capítulo que segue, o terceiro, tratamos da física dos processos de carga e descarga de capacitores, tema do protótipo de laboratório remoto que investigamos e desenvolvemos etapas. Ainda dentro deste escopo tratamos brevemente dos microcontroladores e do conceito de "internet das coisas" (*Internet of Things - IoT*).

No capítulo quarto, expomos a ideia geral do funcionamento e do arranjo do laboratório remoto.

Este último capítulo foi seguido do capítulo cinco, onde relatamos a evolução e aplicação da ideia de construção do laboratório remoto.

No capítulo seis apresentamos nossas conclusões.

Segue-se a lista bibliográfica consultada e um apêndice com as linhas de programação do microcontrolador e mais alguns detalhes técnicos construtivos.

Devo esclarecer, desde já, que o desenvolvimento de um laboratório remoto de física envolve conhecimentos multidisciplinares que perpassam pela física, a eletrônica, a informática, as teorias de ensino e da psicologia da aprendizagem, em um nível de profundidade considerável. Propusemos-nos a investigar o assunto por se tratar de uma importante temática do momento, na expectativa de poder oferecer aos colegas professores um laboratório remoto que pudessem utilizar em suas aulas, sem objetivar fornecer um manual de construção destes, visto a diversidade de saberes necessários. O produto didático que oferecemos em caderno anexo, segue esta linha de pensamento e está desenvolvido em torno de uma aula multimídia voltada para o tópico de carga e descarga de capacitores.

Este autor faz votos que a leitura dos capítulos que seguem seja agradável e transmita o conhecimento que acumulamos bem como revele todo esforço que dedicamos para alcançar os resultados descritos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento de um ambiente remoto de aprendizagem, e de respectivos materiais de aprendizagem eficazes, devem ser fundamentados em teorias de aprendizagem comprovadas e sólidas, visto que é o design do curso determina, em boa parte, a eficácia da aprendizagem. Dentre as Teorias da Aprendizagem consolidadas, nomeadamente as behavioristas, as cognitivistas e as construtivistas (Coelho; Dutra, 2018), nenhuma foi especialmente formulada objetivando o ensino remoto, mas, ainda assim, elas servem de base para tal. Richard E. Mayer, um psicólogo educacional americano, cujos trabalhos estão no âmbito do cognitivismo, desenvolveu a Teoria da Aprendizagem Multimídia (Mayer, 2002). Trata-se de uma abordagem para aprimorar a educação por meio de um ensino multimídia, na qual ele estabelece alguns princípios para o design instrucional multimídia, fundamentados em uma teoria cognitiva sobre como as pessoas aprendem com palavras e gráficos. Os trabalhos de Mayer nortearam o desenvolvimento de nossa abordagem bem como fundamentaram a interpretação dos resultados obtidos. As recentes teorias da aprendizagem conectivista e construcionista surgem como uma nova abordagem educacional no contexto do ensino remoto. A teoria conectivista, desenvolvida por George Siemens (2005) e Stephen Downes (2006), aponta que:

O conhecimento está distribuído numa rede de conexões e que, desse modo, a aprendizagem consiste na capacidade de edificar essas redes e circular nelas, desenvolvendo assim a capacidade de refletir, decidir e partilhar; e o aluno pode conduzir sua aprendizagem de forma mais autônoma (Coelho; Dutra, 2018, p. 52).

A teoria da aprendizagem construcionista, cujos principais representantes são Seymour Papert (1986) and Mitchel Resnick (1996), se atem especialmente às maneiras pelas quais os significados são gerados durante a instrução autônoma, individual ou coletiva, por meio de artefatos digitais, influenciados por mudanças negociadas que os alunos fazem nesses artefatos. Os próprios artefatos constituem expressões de significados matemáticos e, ao mesmo tempo, os alunos expressam continuamente significados, modulando-os.

2.1 Aprendizagem Multimídia

A teoria da Aprendizagem Multimídia de Richard E. Mayer preconiza que a aprendizagem ocorre quando o sujeito constrói uma representação mental a partir de palavras e imagens que lhe foram apresentadas. É uma teoria cognitivista que abrange desde os ambientes que utilizam somente livros didáticos, que incluem somente texto escrito e/ou imagens representativas, até ambientes virtuais que fazem uso de narrações, animações, vídeos, simulações e experimentos controlados remotamente (Mayer, 2009).

Nesta teoria, define-se um texto não só como palavras impressas em um livro ou textos digitalizados em telas de dispositivos, mas também o texto narrado, comuns em aulas presenciais e vídeos educacionais. De forma análoga, o autor definiu que imagens podem ser tanto fotografias e ilustrações, como também vídeos, mapas, gráficos, simulações computacionais e imagens em tempo real. De modo geral, um texto seria um conjunto de símbolos e palavras que comunicam algo, já uma imagem são formas (estáticas ou dinâmicas) que representam algo.

O cerne da teoria de aprendizagem multimídia está no uso simultâneo destes dois objetos (texto e imagem) de forma a refinar a compreensão do indivíduo acerca de um assunto. De maneira simples, a teoria se apóia em três princípios fundamentais da ciência da aprendizagem, sendo eles: princípio do duplo canal, princípio de capacidade limitada, princípio de processamento ativo (Mayer, 2011).

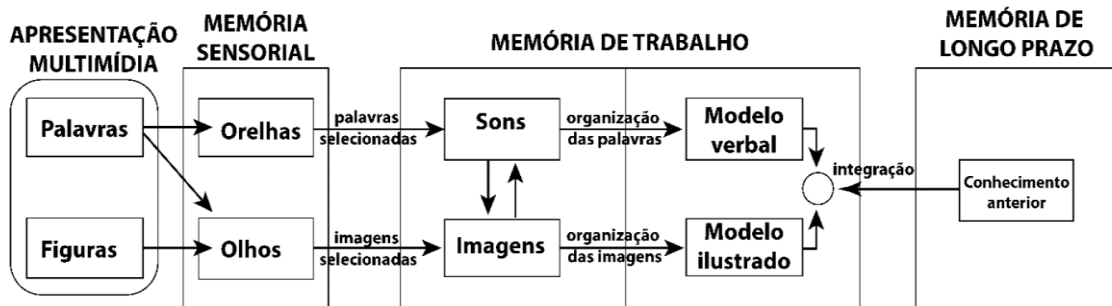
2.2 Princípios Básicos Da Teoria Da Aprendizagem Multimídia

Os princípios fundamentais nos quais a teoria de aprendizagem multimídia é apoiada tem sua origem em estudos sobre memória de trabalho, memória de longo prazo e canais sensoriais de entrada e processamento de informações (Mayer, 2024).

O primeiro princípio, denominado por Princípio de Duplo Canal, estabelece que as pessoas possuam dois canais de processamento de informações distintos, não equivalentes. Um canal, o visual/pictórico, é responsável por processar informações adquiridas por meio da visão, já o canal verbal/auditivo, é responsável

por processar informações adquiridas por meio da audição (Baddeley, 1992; Paivio, 1986). Estes canais estão representados na figura 2.

Figura 2 – Representação esquemática do duplo canal e etapas de processamento das informações.



Fonte: Adaptada de MAYER (2017).

Segundo Silva (2017), para que a aprendizagem multimídia ocorra, a interação com o recurso precisaria desencadear a série de processos representados na figura 2, quais sejam:

A seleção de palavras relevantes para processamento na memória de trabalho verbal e seleção de imagens relevantes para processamento na memória de trabalho visual; organização das palavras de forma coerente em um modelo mental verbal e organização das imagens de forma coerente em um modelo mental visual; integração das representações verbais e visuais entre si e com o conhecimento prévio (Silva, 2017, p. 2).

O segundo princípio é denominado como Princípio de Limitação da Capacidade Cognitiva. Este princípio estabelece que as pessoas possam processar apenas uma quantidade limitada de informações em um canal a qualquer momento. Desta forma, caso um dos canais de processamento seja sobrecarregado, todo o conjunto de informações (textual e imagética) podem ser comprometidos (Chandler; Sweller, 1991; Sweller, 1999). É razoável assumir que a quantidade de informação máxima varia de sujeito para sujeito, podendo ser influenciadas pelas condições do ambiente de estudos e outros fatores pessoais e sociais.

O terceiro princípio básico é denominado de Princípio do Processamento Ativo. Este princípio estabelece que as pessoas envolvem-se em um processo de seleção, organização e integração de informações com base no conhecimento prévio. Em suma, um sujeito que está envolvido de forma ativa no processamento de informações precisa percorrer as etapas de seleção de informações pertinentes,

organizá-las de forma que os conhecimentos prévios sejam visíveis em meio às novas informações, e posteriormente integrar essas novas informações ao conjunto de conhecimentos prévios já estabelecidos no corpo de conhecimento do sujeito. (Mayer, 1996; Wittrock, 1989).

A aprendizagem significativa ocorre quando os alunos se envolvem em processamento cognitivo apropriado durante o aprendizado (como prestar atenção ao material relevante, organizá-lo em uma representação coerente e integrá-lo ao conhecimento prévio relevante (Mayer, 2011).

Um aspecto importante desta teoria é que não se está sendo levado em consideração o uso de outros caminhos sensoriais como, por exemplo, o tato, o paladar e o olfato. Isto ocorre, pois, esta teoria foca em um cenário no qual os sujeitos possuem acesso às informações somente por meio dos sentidos da visão e audição, como, por exemplo, estudantes em uma sala de aula ou ambiente virtual de aprendizado. Vale ressaltar também que não se está levando em consideração indivíduos que possuem especificidades relacionadas à deficiência auditiva e visual. Entretanto é razoável assumir em um primeiro momento que tais especificidades impõem a substituição da visão pelo tato, no caso de indivíduos com deficiência visual, e a substituição da audição pela visão, em casos de indivíduos com deficiência auditiva.

Um canal é responsável por processar informações em forma de texto, que podem ser captadas pelo sentido da visão (tanto para ouvintes quanto surdos), tato (no caso de pessoas com deficiências visuais) e a audição. De maneira semelhante, há um canal responsável por processar informações em forma de imagens, que em grande parte das vezes é captada pela visão, entretanto há possibilidades de serem adquiridas por meio do tato e da audição. Em conclusão, cada tipo de informação será processado pelo seu canal, independente de qual sentido foi responsável pela sua aquisição.

Em resumo, pode-se entender que os princípios da teoria de Aprendizagem Multimídia requerem não só uma postura ativa por parte do estudante, mas também a forma na qual as informações são apresentadas, de maneira que leve em conta como o cérebro humano processa as informações, levando em consideração as limitações e capacidades da memória de trabalho e memória de longo prazo.

2.3 Princípios de Design Instrucional Multimídia Baseados na Teoria da Aprendizagem Multimídia

A pesquisa sobre aprendizagem multimídia têm identificado vários princípios importantes que possuem o potencial de guiar o professor na construção de materiais instrucionais multimídia de maneira eficaz. Este zelo é importante para garantir que não haja sobrecarga em nenhum dos canais de processamento sensorial. Os quinze princípios de design instrucional multimídia preconizados por Mayer (2024) estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Princípios norteadores do design instrucional multimídia adaptada de Mayer 2024.

Princípios para redução de processamento estranho
1. Princípio da coerência: A aprendizagem é favorecida quando informações irrelevantes, ou distrativas, são eliminadas do material instrucional. A adição de detalhes visuais e efeitos sonoros desnecessários podem desviar a atenção do aluno durante o processo de aquisição e processamento de informações, dificultando uma construção ininterrupta de uma representação mental coerente.
2. Princípio da sinalização: As pessoas aprendem melhor quando são adicionadas dicas que destacam a organização do material essencial.
3. Princípio da redundância: As pessoas não aprendem melhor quando o texto impresso é adicionado aos gráficos e à narração; as pessoas aprendem melhor com gráficos e narração do que com gráficos, narração e texto impresso.
4. Princípio da contiguidade espacial: as pessoas aprendem melhor quando palavras e imagens correspondentes são apresentadas próximas, em vez de distantes, umas das outras na página ou na tela, permitindo que as informações sejam adquiridas de forma evidentemente associadas, favorecendo aquisição de informações de modo mais eficaz.
5. Princípio da contiguidade temporal: as pessoas aprendem melhor quando palavras e imagens correspondentes são apresentadas simultaneamente, em vez de sucessivamente; este modo permite que ambas as informações sejam processadas simultaneamente na memória de trabalho, sem demandar que informações separadas sejam armazenadas na memória de trabalho, à espera de

informações processadas por outro canal.

Princípios para gerenciamento de processamento essencial

6. Princípio da segmentação: as pessoas aprendem melhor quando uma lição multimídia é apresentada em segmentos seguindo o ritmo do usuário, em vez de uma longa sequência contínua de informações. Um bom exemplo da aplicação deste conceito são as seções de um capítulo, que estabelecem estágios de aquisição de uma informação complexa.

7. Princípio do pré-treinamento: As pessoas aprendem melhor em uma aula multimídia quando conhecem os conceitos-chave ou informações preliminares que estabelecem contexto ou base teórica facilitadora da integração de novas informações, uma vez que é estabelecido uma intencionalidade e um motivo para se discutir sobre tal assunto. Vale ressaltar que tal efeito é o cerne de abordagens investigativas, que visam despertar o interesse do indivíduo em determinado assunto.

8. Princípio da modalidade: as pessoas aprendem melhor quando as informações são apresentadas através de ambos os canais de processamento, com em animações narradas. Neste caso o canal visual é usado no processamento de informações imagéticas, que representam o objeto de conhecimento, e simultaneamente é usado o canal auditivo no processamento de informações textuais fornecidas pelo narrador.

Princípios para promover o processamento generativo

10. Princípio da personalização: as pessoas aprendem melhor com aulas multimídia quando as palavras são apresentadas em estilo coloquial em vez de estilo formal.

11. Princípio da voz: As pessoas aprendem melhor quando a narração em aulas multimídia é feita com uma voz humana amigável, em vez de uma voz de máquina.

12. Princípio da imagem: As pessoas não aprendem necessariamente melhor com uma aula multimídia quando a imagem do palestrante é adicionada à tela.

13. Princípio da incorporação: as pessoas aprendem mais profundamente com apresentações multimídia quando um instrutor na tela exhibe alta incorporação em vez de baixa personificação.

14. Princípio da imersão: As pessoas não aprendem necessariamente melhor em realidade virtual imersiva 3D do que com uma apresentação de desktop 2D correspondente.

15. Princípio da atividade generativa: As pessoas aprendem melhor quando são orientadas na realização de atividades de aprendizagem generativas durante a aprendizagem.

Fonte: (Mayer, 2024)

Mayer (2024) reconhece que a evolução e progresso do conhecimento resultam de se apoiar no trabalho e descobertas de quem o precedeu. Segundo ele escreve, algumas das ideias-chave que surgem no seu trabalho estão apoiadas nos trabalhos da psicologia gestaltista como os de Wertheimer (1959) e Katona (1940); da psicologia desenvolvimentista de Piaget (1926) e Vygotsky (1984); e das descobertas relativas ao funcionamento da memória humana geradas por Bartlett (1932) e Paivio (1986). Mayer expressa seu reconhecimento, especialmente, a Wittrock (1974, 1989) e a Ausubel (1968), que formularam as bases da psicologia educacional com trabalhos seminais sobre os conceitos da aprendizagem generativa e significativa, respectivamente. Estes últimos conceitos aparecem na teoria de aprendizagem multimídia ao se aludir tanto a conectar informações recebidas ao conhecimento existente (subsunçores), quanto a desenvolver uma atividade generativa diante das informações relevantes, organizá-las em uma estrutura coerente de representações mentais na memória de trabalho e relacioná-las ao conhecimento prévio atinente.

2.4 Atividades Experimentais

É uma percepção comum entre os alunos (e professores) que no ensino, as atividades experimentais são uma forma de estimular o processo de ensino e aprendizagem, a criatividade, a atitude crítica e reflexiva, proporcionando aos estudantes um aprendizado mais significativo.

Os teóricos educacionais construtivistas John Dewey (1979 a e b), Carl Rogers (1972) e David Kolb (2015) forneceram as bases teóricas para o ensino por investigação e para a aprendizagem através da experiência. Dewey acreditava que a prática e experimentação resultavam em uma aprendizagem mais eficaz, quando

comparada com o ensino tradicional. Suas ideias são fundamento da abordagem de ensino denominada “Ensino por Investigação” (*Inquiry Based Learning*). Rogers afirmava que um dos meios mais eficazes para promover a aprendizagem consiste em colocar o aluno em confronto experiencial direto com problemas práticos e de pesquisa. Já Kolb (1984, p. 38) declarou que a “aprendizagem é o processo pelo qual o conhecimento é criado através da transformação da experiência. O conhecimento resulta da combinação de capturar a experiência e transformá-la (Kolb, 1984, p. 38).

As atividades experimentais apresentam um grande potencial para envolver os alunos, converter a teoria em prática, afirmar e ilustrar conceitos, obter conhecimento técnico, análise de dados e incertezas, redação de relatórios e desenvolvimento de habilidades de pesquisa. No entanto, nenhum desses resultados é alcançado apenas porque o aluno participou de uma aula de laboratório – o design da sessão de laboratório é crítico e cada design levará a resultados diferentes (Parappilly *et al.*, 2013).

Segundo Borges (2002, p. 295)

O importante não é a manipulação de objetos e artefatos concretos, e sim o envolvimento comprometido com a busca de respostas/soluções bem articuladas para as questões colocadas, em atividades que podem ser puramente de pensamento. [...] Atividades de resolução de problemas, modelamento e representação, com simulações em computador, desenhos, pinturas, colagens ou simplesmente atividades de encenação e teatro, cumprem esse papel de mobilizar o envolvimento do aprendiz. Essas atividades apresentam, muitas vezes, vantagens claras sobre o laboratório usual, uma vez que não requerem a simples manipulação, às vezes repetitiva e irrefletida, de objetos concretos, mas de ideias e representações, com o propósito de comunicar outras ideias e percepções (Borges, 2002).

Na atualidade, os processos e métodos de ensino e a aprendizagem vem experimentando grandes mudanças influenciadas pelo desenvolvimento das tecnologias da informação e comunicação, inclusive no âmbito das atividades experimentais reais com acesso pela internet, os “laboratórios remotos”. Esta última propicia a atividade experimental enquanto estratégia educacional motivadora do aprendizado, podendo ser acessada sempre que o aluno considerar conveniente, repetindo-a quantas vezes for necessário. Além destes aspectos, pode se prestar ao apoio ao ensino presencial, reduzindo os custos associados ao espaço físico, manutenção e deslocamento dos alunos e professores. Propiciam ainda benefícios

adicionais, como melhoria da acessibilidade ao laboratório para pessoas com deficiência e o aumento da segurança para experiências perigosas.

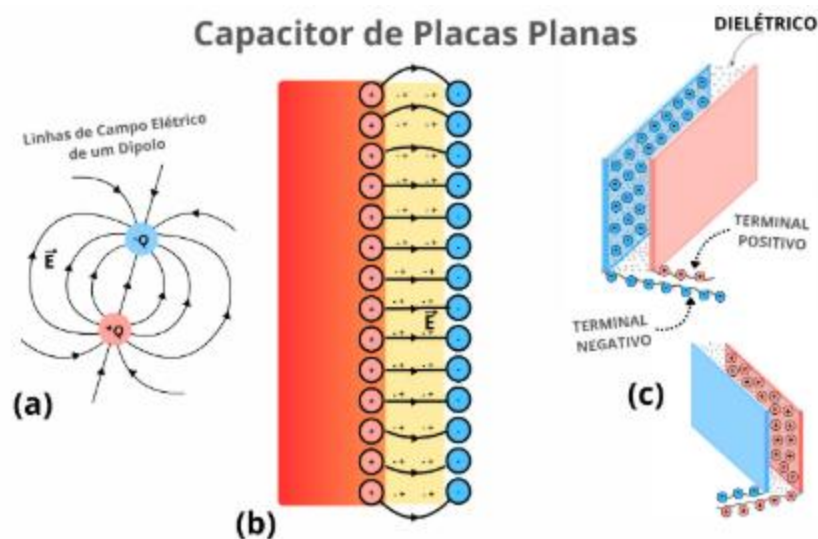
3 ELEMENTOS DO ARRANJO EXPERIMENTAL

3.1 Capacitores e Capacitância

Um Capacitor é um sistema constituído por dois condutores elétricos que estão separados pelo vácuo, ou por um meio isolante. Este dispositivo é capaz de armazenar energia potencial elétrica por meio da atração natural existente entre cargas elétricas de naturezas opostas (Young; Freedman, 2004). Além de sua capacidade de armazenar energia, os capacitores possuem diversas aplicações na eletrônica.

O armazenamento mais eficaz da energia neste dispositivo ocorre quando elétrons de uma placa condutora são transferidos para a outra placa, de forma que uma placa fica carregada positivamente e a outra negativamente. Para tal, as placas são conectadas a uma fonte de tensão que realiza o trabalho para movimentar os portadores de cargas negativas de uma placa para outra. A atração eletrostática entre os portadores irá manter as cargas no interior do componente, armazenando assim a energia potencial elétrica fornecida pela fonte.

Figura 3 – Imagem representativa de um capacitor de placas planas. (a) Linhas de campo de um Dipolo Elétrico; (b) Sistema de placas planas carregadas separadas por um meio dielétrico; (c) Capacitor de placas planas com terminais, completamente carregados.



Fonte: produção do autor (2025).

Durante o processo de carregamento de um capacitor, à medida que as placas vão sendo carregadas, a força necessária para movimentar as cargas é cada vez maior, uma vez que, a medida que a placa é carregada, os portadores de carga que estão na placa irão exercer forças repulsivas, cada vez mais intensas, sobre os portadores que estão sendo movimentados. Desta forma, durante a etapa de carregamento, a corrente elétrica no ramo do capacitor irá decair até que o mesmo atinja o mesmo potencial da fonte de tensão utilizada para carregá-lo.

Caso os terminais do capacitor sejam desligados da fonte de tensão, devido a interação atrativa entre os portadores de carga e a presença do dielétrico, as cargas elétricas ficam contidas no sistema de placas, até que o contato elétrico direto entre as placas seja estabelecido por meio de um condutor externo. Caso isto ocorra, a atração elétrica entre os portadores de diferentes placas irá realizar trabalho, deslocando cargas elétricas de uma placa para a outra, fazendo com que o capacitor seja descarregado.

Durante o processo de descarga de um capacitor, à medida que a placa é descarregada, a corrente de descarga do capacitor irá decair até que o mesmo esteja completamente descarregado. Isto ocorre, pois, a população de portadores nas placas irá reduzir, diminuindo assim a intensidade das forças atrativas entre cargas, que resultará numa diminuição da diferença de potencial elétrico entre as placas, até que as mesmas sejam completamente descarregadas.

A quantidade de cargas armazenadas nas placas de um capacitor depende da diferença de potencial aplicada a ele por uma fonte de tensão externa. Isto ocorre pois quanto maior a diferença de potencial entre as placas, maior será o trabalho realizado pela fonte durante o deslocamento dos portadores de carga de uma placa para a outra, até o carregamento pleno. Por conta disso, a capacidade de armazenar cargas de um capacitor, denominada por Capacitância C , leva em consideração a quantidade de carga Q armazenada em relação a diferença de potencial V_{ab} entre os terminais do mesmo, ou seja:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} \quad \dots \text{Eq.01}$$

Desta forma, quanto maior for a capacitância de um capacitor, maior será a quantidade de carga Q que o mesmo é capaz de armazenar em relação à uma

determinada diferença de potencial V_{ab} aplicada pela fonte de tensão. É denominada de *farad* (F) a unidade de medida de capacitância, que indica a quantidade de *coulombs* armazenada em relação à quantidade de volts aplicados às placas (Young & Freedman, 2004.).

A capacitância de um capacitor está relacionada às dimensões das placas, a distância de separação entre elas e o meio dielétrico que a integra. Supondo um capacitor de placas planas, de tal forma que a área A das placas é muito grande quando comparada a distância de separação d entre as placas, a capacitância pode ser determinada por meio da relação:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad \dots \text{Eq.02}$$

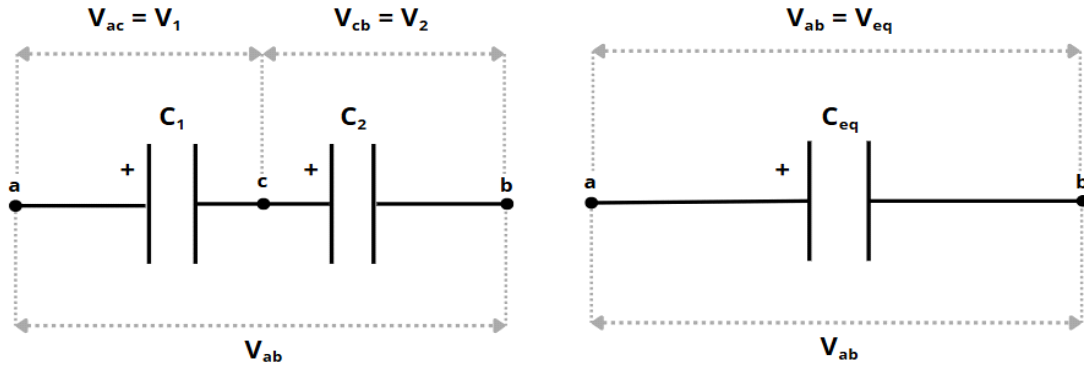
Sendo ϵ a constante dielétrica do meio isolante que separa as placas.

3.2 Associação de Capacitores

Componentes eletrônicos, como resistores e capacitores, são produzidos em escala industrial com valores padronizados, por conta disso é necessário realizar combinações, ou associações, destes componentes para que funcionem como um único componente com um valor específico para determinados projetos. Por este motivo, a associação de capacitores é fundamental para a elétrica e eletrônica (Young; Freedman, 2004). No geral, existem dois tipos de associações fundamentais: a associação em série e a associação em paralelo.

Em uma associação em série de capacitores, ambos os capacitores estão submetidos a uma diferença de potencial elétrico igual ao potencial que o capacitor equivalente estará submetido, ou seja.

Figura 4 – Associação em série de capacitores (C_1 e C_2), submetidos a uma diferença de potencial V_{ab} (à esquerda); Capacitor equivalente à associação em série de C_1 e C_2 , submetido à diferença de potencial V_{ab} (à direita).



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Em contrapartida, a quantidade de carga armazenada nos dois capacitores sempre será igual, pois assim que um dos capacitores atingir a sua carga máxima, o ramo que contém os dois capacitores não será mais percorrido por uma corrente elétrica, interrompendo o carregamento do outro capacitor. Desta forma podemos afirmar que em uma associação em série:

$$V_{eq} = V_1 + V_2 \quad \dots\text{Eq.03}$$

$$Q_{eq} = Q_1 = Q_2 \quad \dots\text{Eq.04}$$

Como sabe-se que a capacitância é definida como sendo, então substituindo esta relação na Eq.03 obtemos:

$$V_{eq} = V_1 + V_2 \Rightarrow \frac{Q_{eq}}{C_{eq}} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} \quad \dots\text{Eq.05}$$

Por outro lado, como se sabe que nesta associação a relação na Eq.04 é verdadeira, então:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \dots\text{Eq.06}$$

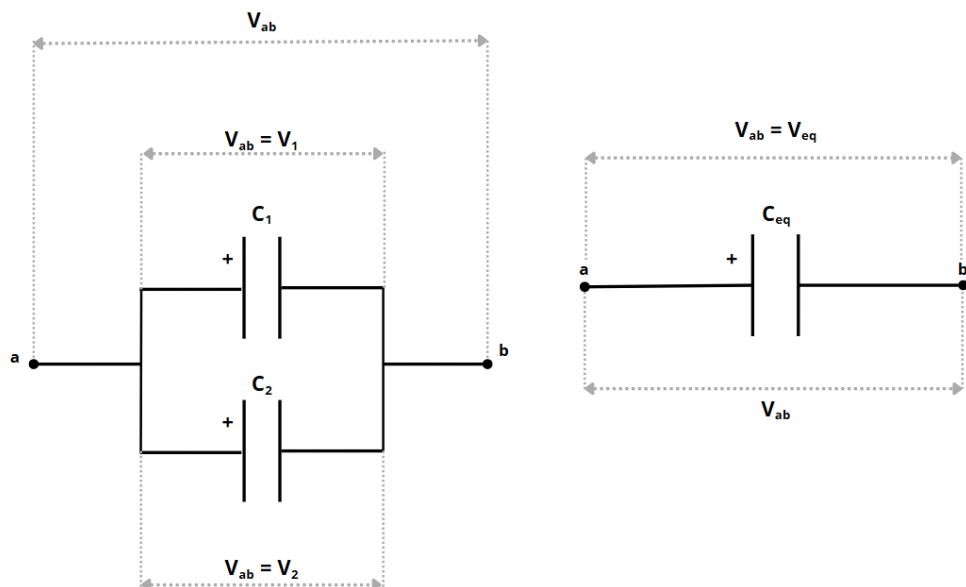
Desta forma, a capacitância equivalente de capacitores associados em série pode ser obtida pela Eq.06.

Note que considerando $C_1=C_2=C$, somos capazes de mostrar rapidamente que a capacitância equivalente de uma associação em série resulta em um valor inferior ao valor das capacidades dos componentes, conforme pode ser demonstrado a seguir.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} \Rightarrow C_{eq} = \frac{C}{2} \quad \text{Eq.07}$$

Por outro lado, em uma associação em paralelo de capacitores, cada capacitor está submetido a mesma diferença de potencial que o equivalente, ou seja, $V_{eq} = V_1 = V_2$.

Figura 5 – Associação em paralelo de capacitores (C_1 e C_2), submetidos a uma diferença de potencial V_{ab} (à esquerda); Capacitor equivalente à associação em paralelo de C_1 e C_2 , submetido à diferença de potencial V_{ab} (à direita).



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

De forma complementar, a quantidade de carga que os dois capacitores irão armazenar são independentes, isto ocorre uma vez que cada capacitor está localizado em um ramo independente no circuito, sendo assim possível que um capacitor possa continuar o processo de carregamento enquanto o outro já está

completamente carregado. Desta forma podemos afirmar que a soma das cargas armazenadas nos dois capacitores é igual a quantidade de carga que o equivalente deverá armazenar, ou seja,

$$Q_{eq} = Q_1 + Q_2 \quad \dots \text{Eq.08}$$

Desta forma, de maneira semelhante realizado com a associação em série, ao utilizarmos a definição de capacitância para reescrever a relação das cargas nos capacitores, obtemos a seguinte expressão:

$$Q_{eq} = Q_1 + Q_2 \Rightarrow C_{eq} \cdot V_{eq} = C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2 \quad \dots \text{Eq.09}$$

Como ambos os capacitores e seu equivalente estão submetidos a mesma diferença de potencial, a Eq.08 toma a forma:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 \quad \dots \text{Eq.10}$$

A partir da Eq.10, somos capazes de determinar a capacitância equivalente de uma associação de capacitores em paralelo.

Note que, tomando $C_1 = C_2 = C$, e substituindo na Eq.10, somos capazes de observar que uma associação em paralelo sempre irá possuir uma capacitância equivalente mais elevada que a capacitância de cada componente de sua associação, conforme pode ser conferido:

$$C_{eq} = C + C \Rightarrow C_{eq} = 2C \quad \dots \text{Eq.11}$$

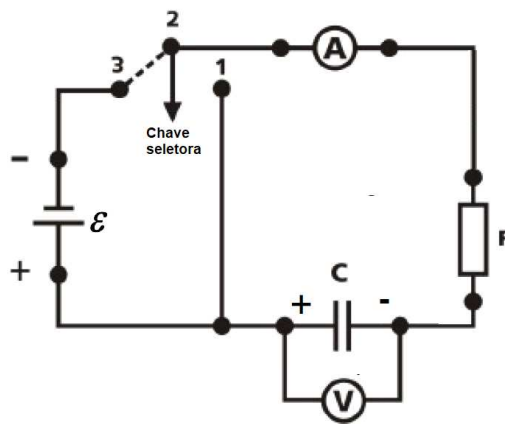
3.3 Carga e Descarga em Circuito RC

Como mencionado anteriormente, durante o procedimento de carga e descarga de um capacitor, a corrente elétrica no ramo do capacitor varia ao longo do tempo. Isto ocorre uma vez que a população de portadores de carga nas placas varia. É importante ressaltar que em um circuito real, os condutores utilizados para

as conexões oferecem resistência à passagem de corrente, sendo assim impossível desconsiderar efeitos resistivos.

Desta forma, para que seja possível determinar a expressão da corrente elétrica no circuito, suponha um circuito RC simples contendo uma fonte de tensão contínua ε , um resistor ôhmico R, um capacitor C (inicialmente descarregado) e uma chave seletora CS conforme representado na representação a seguir.

Figura 6 – Circuitos de carga e descarga de capacitores.



Fonte: UFES [Aula Prática 6 Carga e Descarga de Capacitores](#)

Para que o processo de carga do capacitor seja iniciado, a chave CS precisa estar na posição normalmente aberto (NA - terminal 1 da figura 6), de forma que o circuito será composto de um ramo com a fonte, o capacitor e o resistor em série.

Aplicando a Lei das Malhas de Kirchhoff no sentido horário, obtemos:

$$\varepsilon - V_C - V_R = 0 \Rightarrow \varepsilon - \frac{q(t)}{C} - Ri(t) = 0 \quad \dots \text{Eq.12}$$

De forma que $q(t)$ é a quantidade de cargas no capacitor e $i(t)$ é a corrente no ramo do circuito, ambas as quantidades em função do tempo. Por outro lado, como se sabe que: $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$

É possível reescrever a Eq.12 de uma forma mais conveniente ao substituir $i(t)$.

$$\varepsilon - \frac{q(t)}{C} - R \frac{dq(t)}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q(t)}{RC} - \frac{dq(t)}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{dq(t)}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q(t)}{RC} \quad \dots \text{Eq.13}$$

Observe que nesta forma, considerando que em $t=0$ não há cargas no capacitor, somos capazes de concluir que a corrente máxima do circuito será:

$$i(0) = \frac{\varepsilon}{R} \quad \dots \text{Eq.14}$$

Por outro lado, reescrevendo a Eq.13 obtemos:

$$\frac{dq(t)}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q(t)}{RC} \Rightarrow -\frac{dq(t)}{dt} = \frac{q(t) - \varepsilon C}{RC} \Rightarrow \frac{1}{q(t) - \varepsilon C} \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{1}{RC} \quad \dots \text{Eq.15}$$

Integrando ambos os lados da Eq.15 em relação ao tempo, no intervalo de 0 até t , obtemos:

$$\int_{q(0)}^{q(t)} \frac{1}{q'(t) - \varepsilon C} dq' = - \int_0^t \frac{1}{RC} dt'$$

$$\ln |q(t) - \varepsilon C| - \ln |-\varepsilon C| = -\frac{t}{RC} \Rightarrow \ln \left| \frac{q(t) - \varepsilon C}{-\varepsilon C} \right| = -\frac{t}{RC} \quad \dots \text{Eq.16}$$

Se o número de Euler elevar cada membro da Eq.16, obtemos:

$$\frac{q(t) - \varepsilon C}{-\varepsilon C} = e^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow q(t) = \varepsilon C (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad \dots \text{Eq.17}$$

Derivando a Eq.117 em relação ao tempo, somos capazes de obter a corrente em função do tempo para a etapa de carregamento do capacitor.

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad \dots \text{Eq.18}$$

Combinando as Eq.1 e Eq.17, somos capazes de encontrar a diferença de potencial elétrico do capacitor em função do tempo:

$$V_c(t) = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad \dots \text{Eq.19}$$

Analisando a Eq.18 podemos extrair informações sobre o comportamento da corrente elétrica durante o processo de carga do capacitor. Tomando $t=0$ o instante de tempo em que a chave seletora é posta na posição Normalmente Aberto (NA), a corrente máxima que percorre o ramo do capacitor e a tensão serão, respectivamente:

$$i(0) = \frac{\varepsilon}{R} \quad \text{Eq.20}$$

$$V_c(0) = 0 \quad \text{Eq.21}$$

Conforme é esperado pela Lei de Ohm, a corrente elétrica no instante que a malha é submetida à ddp da fonte, a corrente será dada pela razão da ddp pela resistência do ramo do circuito, já que neste momento as placas do capacitor estão descarregadas.

Algo bastante útil para a experimentação com capacitores está relacionado ao número de Euler elevado a menos a razão do tempo do produto RC. Pois tomando,

$$t = RC \Rightarrow 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \approx 0,63 \quad \text{Eq.22}$$

Desta forma, substituindo Eq.22 na Eq.19, encontramos que neste instante de tempo, a tensão entre os terminais do capacitor será igual a 63% da tensão da fonte.

Por outro lado, suponha que o capacitor estará completamente carregado em um instante de tempo relativamente grande ($t \gg RC^{-1}$) após o acionamento do relé, a Eq.20 fará com que o valor de corrente tenda a zero, uma vez que o expoente do número de Euler é negativo, enquanto a Eq.21 tende ao valor da fonte.

A partir do instante que a chave é posta em na posição Normalmente Aberto, a corrente no circuito inicia com um valor máximo, que decai exponencialmente à medida que o capacitor tende a carga máxima. No sentido oposto, a tensão entre os terminais do componente se eleva e taxa cada vez menores até atingir a tensão da

fonte. Experimentalmente é possível verificar que o capacitor somente irá atingir a ddp da fonte, para um instante de tempo muito grande, em comparação à $(RC)^{-1}$.

Agora, supondo que após um intervalo de tempo muito grande o capacitor tenha atingido a carga máxima, a chave seletora é posta na posição Normalmente Fechado (NF). Tomando este instante como sendo o instante de tempo inicial $t = 0$, aplicando a Lei das Malhas de Kirchhoff no sentido da corrente, obtemos a seguinte equação:

$$V_C + V_R = 0 \Rightarrow \frac{q(t)}{C} + Ri(t) = 0 \Rightarrow \frac{q(t)}{C} + R \frac{dq(t)}{dt} = 0 \quad \dots \text{Eq.23}$$

Reescrevendo a Eq.23 preparamos para integrar os membros da igualdade.

$$\frac{1}{q(t)} \frac{dq(t)}{dt} = - \frac{1}{RC} \quad \dots \text{Eq.24}$$

Como no inicialmente assumimos que o capacitor está totalmente carregado, podemos assumir que sua carga inicial será εC . Desta forma integrando de $t=0$ até um instante de tempo arbitrário t , obtemos:

$$\begin{aligned} \int_{\varepsilon C}^{q(t)} \frac{1}{q(t')} dq(t') &= - \int_0^t \frac{1}{RC} dt' \Rightarrow \ln |q(t)| - \ln |\varepsilon C| = - \frac{t}{RC} \\ \Rightarrow \ln \left| \frac{q(t)}{\varepsilon C} \right| &= - \frac{t}{RC} \end{aligned} \quad \dots \text{Eq.25}$$

De maneira análoga a situação de carga do capacitor, iremos elevar ambos os membros da igualdade à constante de Euler:

$$e^{\ln \left| \frac{q(t)}{\varepsilon C} \right|} = e^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow q(t) = \varepsilon C \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \dots \text{Eq.26}$$

Derivando a Eq.26 em relação ao tempo, obtemos a função da corrente de descarga em função do tempo:

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \dots \text{Eq.27}$$

Combinando as Eq.1 e Eq.26, somos capazes de encontrar a diferença de potencial elétrico entre os terminais do capacitor em função do tempo:

$$V_c(t) = \varepsilon \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \dots \text{Eq.28}$$

Observe que se tomarmos $t=0$ na Eq.27, obtemos que a corrente no momento em que a chave é posta em NF será a razão da tensão da fonte dividido pela resistência total do circuito, ou seja,

$$i(0) = \varepsilon/R \quad \text{Eq.29}$$

Simultaneamente, de acordo com a Eq.28, a tensão será

$$V_c(0) = \varepsilon \quad \text{Eq.30}$$

De maneira semelhante ao processo de carregamento do capacitor, quando o instante de tempo for igual ao produto RC , o capacitor irá estar a aproximadamente 37% da tensão da fonte, em razão do elevado do número de Euler ser igual à na Eq.28.

Em um instante de tempo muito grande ($t \gg RC^{-1}$) obtemos a partir da Eq. 27 que a corrente no ramo do circuito é nula. Conforme pode ser verificado experimentalmente, quando o capacitor estiver completamente descarregado, não haverá fluxo de cargas pela malha do circuito. Isto ocorre devido ao fato da diferença de potencial V_c entre as placas também tende a zero, conforme pode ser constatado pela Eq.28.

3.4 Microcontroladores

Os microcontroladores são pequenos computadores em uma única placa, projetados para executar tarefas específicas de controle em dispositivos eletrônicos. Eles contêm um processador, memória e periféricos integrados, de entrada/saída, analógicos e digitais. Utilizados principalmente em sistemas embarcados, os microcontroladores diferem dos microprocessadores, que são encontrados em

computadores pessoais. São componentes essenciais em eletrônicos de consumo, automóveis, sistemas industriais, dispositivos médicos e automação residencial. Exemplos incluem o Arduino, com microprocessadores Atmel AVR, e o ESP8266/ESP32, bastante populares em projetos que envolvam conectividade e monitoramento remoto.

3.5 Internet das Coisas (Internet of Things - IoT)

Segundo Faccioni Filho (2016), Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) não é uma tecnologia, mas sim um conceito que se refere à conexão de dispositivos eletrônicos à rede de internet, permitindo monitoramento e controle via internet.

Dentre as diversas aplicações deste conceito, a que se destaca mais na atualidade são as casas inteligentes. O uso de sensores e atuadores permitem que os usuários possam monitorar e manipular diversos dispositivos que integram a infraestrutura inteligente da residência. Além da aplicação doméstica, o IoT vem sendo implementado desde o setor industrial, até veículos inteligentes. Estas soluções tecnológicas marcam o começo de um setor que a cada dia vem se diversificando cada vez mais e integrando a tecnologia ao cotidiano das pessoas.

Ao se desenvolver objetos IoT, algumas características são fundamentais para o perfeito funcionamento da estrutura que eles integram. É necessário levar em consideração a capacidade de processamento dos microcontroladores para as tarefas que serão realizadas, uma vez que algumas demandas necessitam de processamento de dados em tempo real. Além disso, as capacidades de comunicação com o usuário e cooperação com outros dispositivos permitem a unificação da central de comando. Outro fator importante está relacionado aos sensores e atuadores, que podem coletar informações do ambiente e realizar ações que modificam as condições do meio.

Para controle da estrutura IoT, é necessário um sistema de controle que pode ser constituído de um terminal para envio de comandos em linguagem de programação, ou então, fazer uso de uma interface de controle que permite ao usuário visualizar informações do objeto e realizar configurações que modifiquem a sua condição. Tais interfaces permitem que os usuários que não possuem familiaridade com linguagens de programação possam controlar os objetos IoT sem muitas dificuldades.

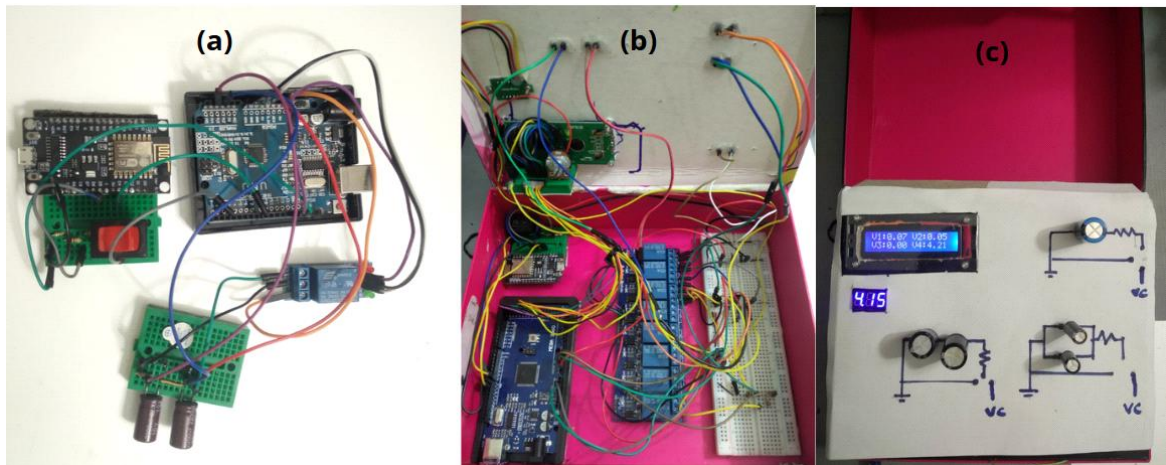
4 FUNCIONAMENTO DO APARATO

Durante a realização do projeto, foram construídos três protótipos correspondentes a três etapas para alcançar aquilo que foi almejado como aparato experimental final. Neste capítulo, será abordada a forma de funcionamento dos dois últimos protótipos, que se diferem por poucas características secundárias.

De forma geral, o aparato IoT (*Internet of Things*) consiste em três partes: (I) o aparato experimental contendo os devidos componentes que serão investigados; (II) a central de controle e medidas que é composta por um microcontrolador Arduino Uno, ou Arduino Mega, responsável gerenciar os atuadores, a aquisição de dados providos pelos sensores e controle de telas e informações exibidas; (III) o módulo NodeMCU V3 é equipado com o chip que permite conexão *WiFi* via antena embutida, proporcionando um alcance de até 90 metros.

Ambos os protótipos IoT construídos, são constituídos das partes mencionadas no parágrafo anterior. Entretanto, ao terceiro protótipo foi adicionado visores e uma estrutura, conforme pode ser observado na figura 7.

Figura 7 – Circuitos e componentes constituintes do segundo protótipo (a) e terceiro protótipo (b e c).



Fonte: registrado pelo autor (2025).

O Arduino é um microcomputador, disposto sobre uma única placa de circuito impresso dotada de componentes integrados e interligados, compondo uma plataforma programável destinada a prototipagem eletrônica, que permite aos usuários criar aparelhos eletrônicos interativos e independentes. Tem como cerne um microcontrolador dotado de entradas e saídas, digitais e analógicas, que

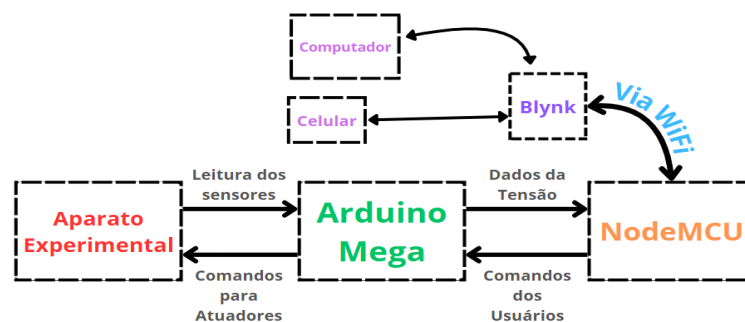
devidamente programado permitem o controle e comando de circuitos externos bem como medição, processamento e armazenamento de sinais analógicos ou digitais.

O NodeMCU V3 é o conjunto de software e hardware, disposto em uma pequena placa de circuito impresso, que auxilia na prototipagem de produtos voltados a IoT. O software, “open source”, é desenvolvido em uma linguagem de programação de script, leve e eficiente, que atua como uma camada entre o hardware e o software de aplicação, garantindo o funcionamento básico e a comunicação entre eles. O hardware conta com um microcontrolador, com *WiFi* embutido, que, após programado, pode se comunicar com um roteador *WiFi* ou diretamente com *WiFi* de um celular.

Estes dispositivos associados a atuadores eletromecânicos (relé) permitiam o controle total das funcionalidades do protótipo de laboratório por meio da plataforma Blynk IoT, que faz uso do conceito de internet das coisas. O app Blynk, um aplicativo personalizável que permite controlar remotamente hardwares programáveis, reportar dados de sensores e módulos, além de muitas outras funcionalidades. Para a utilização da plataforma em um smartphone, é necessário fazer download do aplicativo do *Blynk IoT*. Em contrapartida, o uso da plataforma em um computador é feito por meio de um navegador comum.

O esquema abaixo, figura 8, resume o funcionamento básico do dispositivo IoT desenvolvido (Azad, 2021).

Figura 8 – Representação esquemática do funcionamento do aplicativo Blynk.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O laboratório remoto foi pensado de forma que seja possível controlá-lo localmente, por meio de um *smartphone*, ou utilizá-lo à distância, controlado via wi-fi e tendo a evolução dos fenômenos físicos em observação acompanhada ao vivo, por meio de imagens de um webcam. Em ambas as situações, o controle é mediado pela mesma plataforma IoT, a plataforma Blynk IoT.

Após todas as etapas de desenvolvimento, o dispositivo IoT final faz medidas de tensão nos capacitores utilizando os níveis de tensão medidas em bits pelo canal analógico do Arduino Uno que são devidamente ajustados. Estes valores são convertidos para volts e então comunicados, via terminal TX de comunicação serial, para o microcontrolador NodeMCU, que envia para a plataforma Blynk IoT. Por sua vez, o caminho de volta inicia na plataforma. De acordo com a ação desejada, o usuário escolhe o comando a ser enviado para o NodeMCU, via rede de internet, que será então transmitido para o microcontrolador Arduino Uno, por meio de um sinal digital (ligado ou desligado) em suas entradas digitais. Os comandos enviados pelo usuário alternam os estados de atuadores eletromecânicos (relés) das malhas dos circuitos, e com isso controlando os processos de carga e descarga dos capacitores em suas diferentes associações.

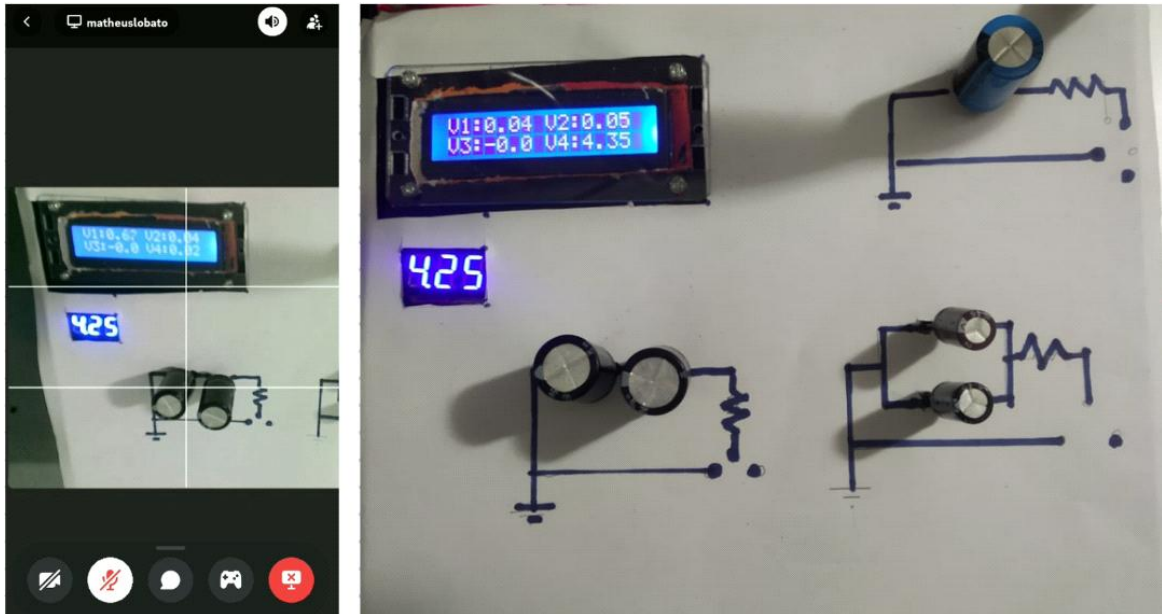
De maneira exclusiva, o terceiro protótipo possui incorporado ao seu sistema um visor LCD Cristal (visor maior), controlado pelo Arduino Mega, responsável por exibir os valores de tensão nos capacitores. Adicionalmente, foi incorporado um sensor voltímetro com visor LED, que indica a tensão da fonte utilizada para carregar as malhas (visor menor), conforme pode ser notado na figura 8.

Todas estas ações são executadas nas malhas que contém o(s) capacitor(es), que são os objetos de estudo selecionados para o projeto. As malhas consistem em circuitos RC, contendo: (a) no segundo protótipo uma com dois capacitores em série; (b) no terceiro protótipo há três malhas, uma contendo somente um capacitor eletrolítico, uma contendo uma associação em série e a outra em paralelo. Conectado aos terminais das malhas, estão os atuadores eletromecânicos, que ao alternarem de estado, realizam a conexão com o terminal DC 5V do Arduino.

Para monitoramento remoto dos protótipos, a imagem do aparato pode ser transmitida por aplicativos ou sites de chat por vídeo. Como por exemplo, o aplicativo Discord, que permite a criação de “servidores” internos passíveis de

transmissão de vídeo. A figura 9, mostra a captura de tela da transmissão de vídeo do aparato experimental, por meio de um *smartphone* e um computador.

Figura 9 – Transmissão do aparato experimental via Discord, utilizando o aplicativo para *smartphone* (esquerda), e acessando a plataforma via navegador (direita).



Fonte: registrado pelo autor (2025).

Quando for utilizado de forma conectiva, porém presencial, o dispositivo IoT possui a capacidade de se conectar à rede *Wifi* do local ou roteada por um dispositivo móvel. Uma vez conectada a rede, em menos de um minuto o dispositivo já estará conectado à plataforma IoT.

Para alimentação, ambos os microcontroladores podem ser conectados a saídas USB padrão, encontradas em computadores e carregadores de celular. Adicionalmente, o conjunto pode ser alimentado por baterias portáteis (*powerbank*). Entretanto é importante ressaltar que as especificações das fontes DC utilizadas e dos microcontroladores precisam ser verificadas nos sites dos fabricantes ou manuais disponíveis na internet, para que a integridade do sistema seja garantida.

5 APLICAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para Ausubel (*apud* Moreira, 2022) “o fator isolado que mais influencia a aprendizagem significativa é aquilo que o aluno já sabe”. Ou seja, novos conceitos podem ser significativamente aprendidos, e assimilados, caso o aprendiz disponha, em sua estrutura cognitiva, de conceitos relevantes e abrangentes, perfeitamente delineados, que sirvam como ponto de ancoragem para os novos conceitos.

Ainda, segundo Ausubel, a aprendizagem significativa é favorecida quando o material a ser aprendido é relacionável (ou assimilável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não-arbitrária e não literal. Um material com essa característica é dito potencialmente significativo. A aprendizagem significativa também é favorecida quando o aprendiz está imbuído do propósito de relacionar o novo material potencialmente significativo, de maneira substantiva e não-arbitrária, à sua estrutura cognitiva.

Nas linhas que seguem está descrito como usamos as atividades experimentais, especialmente aquelas envolvendo os protótipos de laboratórios remotos que desenvolvemos, em uma abordagem didática fundamentada nos pressupostos de Mayer, Ausubel e Dewey. Buscamos compor um material potencialmente significativo, desenvolvido na linguagem multimídia, objetivando o ensino remoto híbrido, que fosse capaz de despertar no aprendiz um genuíno interesse pelo aprendizado da Física e e pela investigação de fenômenos físicos.

5.1 Atividades Experimentais Presenciais e Virtuais

Inicialmente, para que se possa apresentar todas as atividades envolvidas no desenvolvimento e aplicação deste projeto, é necessário ressaltar que a pesquisa nesta temática antecede ao ingresso deste autor no programa de pós-graduação em ensino de Física. Durante toda a experiência docente do autor, houve o foco em trabalhar com atividades experimentais para ensino, que incluem a condução, demonstração, orientação de projetos, construção e desenvolvimento de aparatos experimentais, com estudantes do ensino básico e superior.

Durante a participação do autor como bolsista do PIBID (Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência), sob a coordenação do prof. Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho, foi possível enfrentar a realidade das escolas

públicas, que raramente dispunham de um espaço físico adequado e kits didáticos para aulas experimentais. Considerando esta realidade e a importância das atividades experimentais para o processo de aprendizagem, foram desenvolvidos vídeos de experimentos de Física, cujos os arranjos fossem de fácil reprodução, custo reduzido e que não oferecessem riscos aos estudantes.

Durante a construção do percurso didático, os registros em vídeo e da construção e execução dos experimentos, foi necessário desenvolver a habilidade de edição de vídeos, que faziam uso de uma abordagem investigativa, contendo somente informações de natureza imagéticas/pictóricas, sem narração, que posteriormente foram reunidos em um canal aberto no *YouTube*, para facilitar o acesso de todas as informações.

Figura 10 – Canal do Youtube “Física Experimental Para Todos!” (esquerda); Captura de tela do vídeo “Como usar um multímetro” (direita).



Fonte: (esquerda - <https://www.youtube.com/@fisicaexperimentalparatodo2635>),
(esquerda - [PIBID - Como usar um Multímetro](#)).

Em sua maioria, os experimentos demonstravam os fenômenos em uma abordagem intencionalmente qualitativa. O trabalho resultou em uma videoteca e estava fundamentada na premissa de disponibilizar um compilado de experimentos com grande aplicabilidade para professores da rede básica e de fácil reprodução.

Considerando que grande parcela dos alunos não possui experiência e familiaridade com trabalhos manuais e ferramentas, tomou-se o cuidado em selecionar somente experimentos que requeressem um mínimo de habilidades

manuais quanto ao uso de ferramentas. Afinal, um dos objetivos do projeto é incentivar o estudante a aplicar seus conhecimentos à situações reais com intuito de ser exposto ao ato de investigar a natureza, e em paralelo, fazer com que o tema científico passe a fazer parte do seu cotidiano, conforme preconizado pela Teoria da Aprendizagem de Mayer e também de Dewey.

No período da pandemia, o autor foi exposto à experiência de produção de vídeos educativos para colaborar com a oferta de ensino remoto emergencial pela UFV. Nesta época foi executada a produção de hipermídias que continham textos, aulas narradas, simulações computacionais, vídeos de experimentos qualitativos e quantitativos e experimentos remotos. Estes últimos permitem que os alunos executem a experimentação, coletarem dados e efetuem a análise destes que permitissem a construção ou validação de modelos físicos. Os materiais foram elaborados em etapas que permitiam a organização das informações e integração destas à memória de longo prazo fosse facilitada pela segmentação das etapas de investigação, conforme preconizado pela Teoria da Aprendizagem Multimídia.

Concomitantemente à admissão ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física o autor assumiu função de professor de Física Experimental em uma instituição privada de ensino básico, trabalhando especificamente com demonstrações experimentais para estudantes do ensino médio. Tais demonstrações são realizadas segundo duas dinâmicas que possuem objetivos distintos.

A primeira consiste em intervenções experimentais demonstrativas nas aulas de Física de outro professor de Física, com um tempo máximo de quinze minutos, no qual são realizados experimentos qualitativos que evidenciem as principais características dos fenômenos trabalhados. Tais aulas possuem não só o objetivo de trabalhar o conteúdo de forma experimental, mas também incentivar a sua reprodução por parte dos estudantes, uma vez que os aparatos experimentais são construídos com materiais de fácil acesso (achados em lojas de construção, hidráulica, elétrica residencial, farmácias, supermercados e papelarias). Esta atividade rompe com a rotina da turma, proporcionando uma abordagem diversificada para as aulas que acaba por contribuir para a diversificação da natureza das informações, afinal estas demonstrações são realizadas com aparatos experimentais que fornecem informações visivelmente notáveis à percepção humana, que combinadas com uma exposição oral apoiada numa abordagem

investigativa que faz uso dos fatos observados e dos conhecimentos prévios sobre o assunto, favorecem a ocorrência do processamento ativo por parte do estudante, pois a medida que o fenômeno é observado, novas informações são disponibilizadas para ambos os canais sensoriais.

A segunda dinâmica de aula consiste na aplicação de atividades experimentais que, com uma duração de 45 a 50 minutos, tem como objetivo trabalhar de maneira mais profunda o objeto de conhecimento. Nesta dinâmica, a condução da aula é realizada inteiramente pelo professor de Física Experimental, e envolve medições de grandezas, construções de gráficos e análises de erros e desvio das medidas.

Para que tal tarefa atinja os objetivos gerais de compreensão do objeto de estudo, o aparato experimental precisa ser desenvolvido e construído com o máximo cuidado para reduzir perturbações espúrias nos valores das quantidades medidas. Este tipo de atividade possui um nível maior de dificuldade para ser executada, pois simultaneamente a condução da experimentação e coleta de dados, o professor é responsável por manter a atenção e colaboração dos estudantes, e ainda ser capaz de contornar eventuais problemas na montagem do aparato.

Neste tipo de atividade, é possível trabalhar o conteúdo por meio de atividades que envolvam solicitar que os estudantes estimem o valor esperado da grandeza a ser medida, construir gráficos com os dados obtidos e discorrer sobre as previsões do modelo teórico e as possíveis fontes de desvio.

A maior disponibilidade de tempo para atividade permite que momentos de discussão sejam realizados ao longo da investigação, possibilitando em alguns casos que os estudantes possam variar algumas quantidades pertinentes ao fenômeno e avaliar as informações coletadas. Essa capacidade de permitir que o estudante interaja diretamente com o objeto de conhecimento possibilita que o mesmo possa testar os esquemas mentais que foram organizados na memória de trabalho, que de acordo com Mayer, confere uma maior capacidade de se integrado a memória de longo prazo, uma vez que haverá mais informações que entram em concordância com os conhecimentos prévios do indivíduo.

Paralelamente, o autor passou a atuar como professor de física teórica em outra instituição privada, na qual são demandadas aulas essencialmente expositivas, tratando do conteúdo teórico típico destinado a turmas de ensino médio e pré-vestibular. Entretanto, sempre que é possível, são apresentados experimentos

simples, quantitativos e/ou qualitativos, com objetivo de demonstrar e trabalhar as principais características dos fenômenos que estão sendo estudados.

Em grande parte das situações as atividades e demonstrações são bem sucedidas, e observa-se um aumento no engajamento e no interesse dos estudantes a respeito do tema trabalhado. Entretanto, envolve um desafio grande em relação ao planejamento do tempo, uma vez que instituições deste tipo já contam com um currículo pouco flexível, com conteúdo denso e um calendário voltado para as avaliações externas preparatórias (Simulados ENEM).

5.2 Laboratórios Experimentais

As experiências profissionais anteriormente descritas estão em acordo com o descrito na seção 2.4 do capítulo 2 deste trabalho, que trata da importância das Atividades Experimentais para a aprendizagem, e também com as ideias de Ausubel reportadas no preâmbulo deste capítulo. O uso de atividades experimentais durante as aulas pode favorecer o aprendizado, aumentando notavelmente o engajamento e o interesse dos alunos pelo tema estudado e conseqüentemente, favorecendo o aprendizado. Entretanto, os desafios técnicos de construção e condução da experimentação em paralelo com a regência da aula, em muitos casos, tornam o uso destas práticas impossíveis no contexto no qual se dá aula.

Com intuito de contornar as dificuldades apontadas para a inserção das atividades experimentais na sala aula, foi objetivado desenvolver experimentos que pudessem ser utilizados durante a aula, controlados via wifi, ou até em experimentos que podem ser controlados remotamente e acompanhados em tempo real envolvendo a linguagem multimídia, que está presente na vida dos alunos através do seu convívio com celulares e computadores, etc.

Se projetado com esta finalidade, tal aparato tem o potencial destaque no uso simples e intuitivo de suas funcionalidades, que pré programadas, oferecem a possibilidade de ações e leitura de grandezas de forma precisa e rápida, permitindo uma condução segmentada em etapas da atividade investigativa executada pelo aluno. Além deste fato, apresentar possibilidades previamente estabelecidas, permite que um professor que não possui experiência no campo da física experimental possa se preparar para todas as possibilidades existentes naquela atividade experimental específica. Tal proposta abre um vasto leque de

possibilidades que serão primeiramente evidenciadas neste capítulo, e posteriormente analisadas no capítulo que se segue.

Como comentado anteriormente, todo o desenvolvimento da expertise relacionada à construção e os testes de protótipos deste projeto se estendeu por um período de três anos. Durante as etapas de pesquisa, diversas demandas de cunho tecnológico revelaram a vastidão de novos conhecimentos acerca do uso de microcontroladores que seriam demandados para construção do projeto. Em vista disso etapas de construção com progressivo aprimoramento foram definidas, de forma que fosse possível aprender sobre as competências desta área fundamental para a construção do protótipo final. Na primeira etapa foi realizado um experimento simples, sem uso de microcontroladores e internet. Estes últimos foram incorporados nas etapas seguintes, disponibilizando cada vez mais funcionalidades remotas, sensores e funcionalidades das plataformas, conforme será relatado adiante.

Nosso produto educacional foi desenvolvido no entorno do tema de capacitores. Para tal são sugeridas dois planos de aulas contendo atividades experimentais que são compatíveis com o ensino de física num modelo presencial e remoto. Os planos de aulas propostos fornecem duas atividades com abordagens distintas, qualitativa e quantitativa.

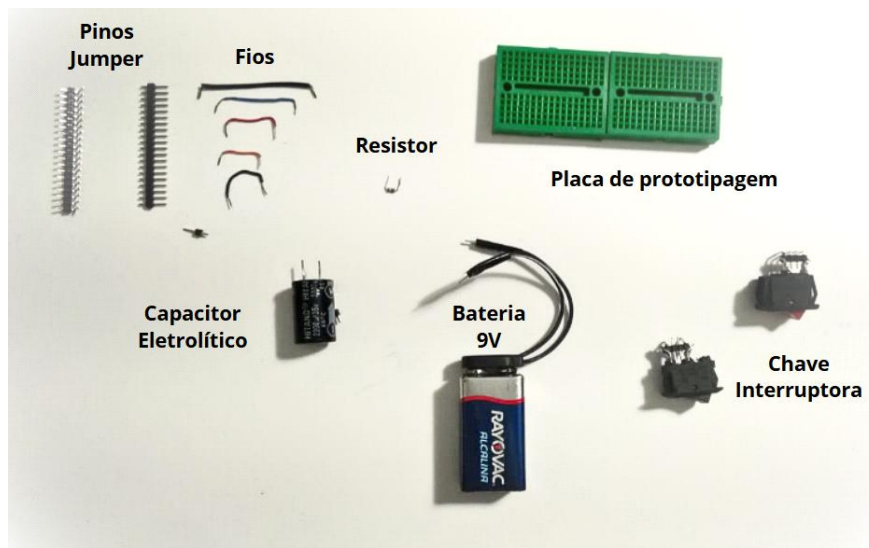
O primeiro plano de aula fornece uma atividade experimental qualitativa que possibilita compreender o funcionamento básico de um capacitor por meio da construção de um modelo de placas planas com materiais do cotidiano. Em seguida, realiza-se o processo de carga e descarga, utilizando como fonte uma raquete elétrica.

O segundo plano de aula fornece uma atividade experimental quantitativa, na qual um capacitor (ou associações de capacitores) é submetido a processos de carga e descarga, tendo a tensão em seus terminais medidas. Dois projetos equivalentes são apresentados: um utilizando instrumentos convencionais, e outro baseado em microcontroladores. Os dados podem ser obtidos por meio do registro em vídeo dos voltímetros conectados aos capacitores, ou automaticamente via Arduino e plataforma IoT. Em ambas as situações, os dados são analisados no software de análise gráfica SciDavis, no qual é possível aplicar a regressão exponencial, modelando a relação entre as variáveis e obtendo os coeficientes da função característica.

5.2.1 Laboratório presencial

O primeiro protótipo, como dito anteriormente, não era composto por microcontroladores, sensores e atuadores, mas utilizava todos os demais elementos que compunham um circuito RC, vide figura 11.

Figura 11 – Fotografia dos componentes da montagem experimental de carga e descarga de capacitores sem os multímetros.



Fonte: registrado pelo autor (2025).

Utilizando voltímetros digitais convencionais, foi efetuada a medida da diferença de potencial elétrico entre os terminais do capacitor contido no circuito RC, conforme pode ser visto na figura 12. Todos os elementos que compunham o circuito foram montados sobre uma placa de prototipagem, que permitiu que o circuito fosse facilmente modificado, sem a necessidade de se utilizar soldas. Em suma, a atividade experimental consistia em realizar o procedimento de carga e descarga do capacitor, acionando uma chave seletora. Os valores de tensão e correntes instantâneos eram exibidos na tela de voltímetro e amperímetro digital.

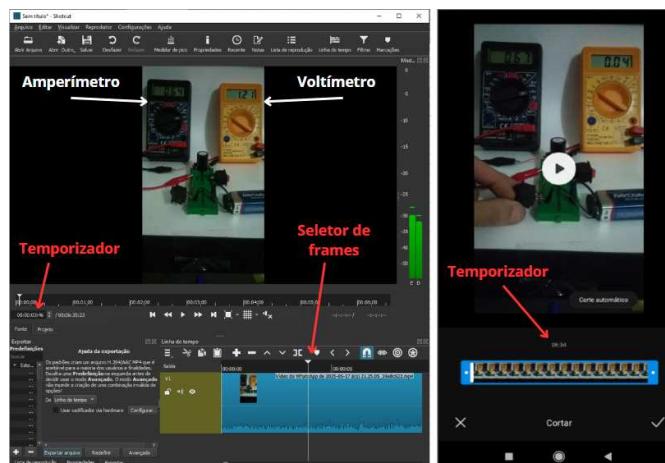
Figura 12 – Fotografia da montagem do primeiro protótipo (esquerda); Fotografia do primeiro protótipo com multímetros (direita).



Fonte: registrado pelo autor (2025).

Para aquisição dos dados, a tela desses aparelhos de medição era filmada pelos alunos com o celular, registrando um filme que continha a evolução dos valores das grandezas medidas ao longo do tempo. O filme fornece intrinsecamente a cronometragem do tempo, ou seja, o aparelho celular opera como um sistema de aquisição de dados.

Figura 13 – Vídeo do experimento sendo executado em um editor de vídeos.



Fonte: registrado pelo autor (2025).

Utilizando o vídeo gravado, era demandado que os alunos construíssem um gráfico da tensão no capacitor em função do tempo, permitindo que observassem a forma característica de uma curva de carga e descarga de um capacitor quando os

dados forem representados graficamente. Entretanto, durante a aplicação desta atividade, foi identificado que somente as etapas de controle do aparato experimental e o registro do seu funcionamento despertou o interesse na maioria dos estudantes, uma vez que, quando demandada a construção do gráfico, diversos estudantes perderam o interesse na atividade.

De fato, gerar uma tabela de dados é uma atividade maçante, consistindo basicamente em avançar o vídeo frame a frame para coletar os valores da tensão, mas que faz parte do fazer científico.

A construção do gráfico e sua análise também não foi motivadora; a falta de intimidade dos alunos com os conceitos matemáticos envolvidos, acaba por prejudicar a análise dos dados do funcionamento do componente. Ou seja, a principal premissa de Ausubel se manifestou claramente, bem como o conceito de “Zona de desenvolvimento proximal” de Vygotsky (1984, p. 97). Neste modo o arranjo experimental apesar de constituir um material potencialmente significativo não resultou em plena aprendizagem significativa.

Estas observações indicam que o momento de desalento demonstrado pelos estudantes poderia ser superado utilizando-se de um laboratório remoto para facilitar e agilizar a coleta e processamento de dados.

Caso haja um equipamento capaz de permitir o acionamento das chaves do circuito RC de forma intuitiva, e realizar a coleta dos valores de tensão, fornecendo-os de forma numérica e gráfica, seria possível contornar os fatores que impedem que o estudante esteja engajado na atividade até a sua conclusão. De forma complementar, se houver a possibilidade de integrar tais funcionalidades a ambientes de hipermídia, é possível fornecer ao estudante todas as informações necessárias para esclarecer os aspectos matemáticos e teóricos envolvidos. A integração dessas funcionalidades contribui para que o estudante possa superar os desafios envolvidos no processo de aprendizagem relacionados à conhecimentos prévios, uma vez que tal combinação de funcionalidades ao ambiente de hipertexto satisfaz aos princípios da sinalização e da contiguidade espacial da Teoria de Aprendizagem Multimídia de Mayer.

Nas duas ocasiões que foram ministradas aulas com esta montagem simples, este primeiro protótipo foi utilizado em duas aulas expositivas sendo que uma foi realizada com somente um exemplar do aparato, que foi apresentado para uma turma de cerca de 40 estudantes. Uma vez constatado que, devido ao tamanho do

aparato, a visualização ficou comprometida, mais exemplares foram construídos para que a turma possa ser dividida em grupos para a realização da prática pelos próprios estudantes, amparados por um roteiro. Problemas de contato elétrico defeituoso entre componentes foram bastante comuns entre os exemplares. Foram numerosas também as situações nas quais os voltímetros e amperímetros fossem conectados de forma incorreta, ou posicionados em escalas incompatíveis.

Foi possível constatar que a compreensão foi prejudicada pela intensidade do esforço cognitivo demandado, solapando o raciocínio dos alunos, impedindo-os de alcançar o objetivo da aula, qual seja: construir o gráfico e estimar a capacitância do circuito RC apresentado.

É prudente reforçar que a falta de habilidade relacionada ao uso de ferramentas e instrumentos de medidas podem ser associadas ao fato de que tais objetos não fazem parte do cotidiano destes alunos, sendo necessário assim expô-los a mais situações onde tais usos podem ser reforçados, afinal ser capaz de operar instrumentos de medida é fundamental para se desenvolver uma investigação experimental de qualquer fenômeno de forma quantitativa.

5.2.2 Laboratório híbrido

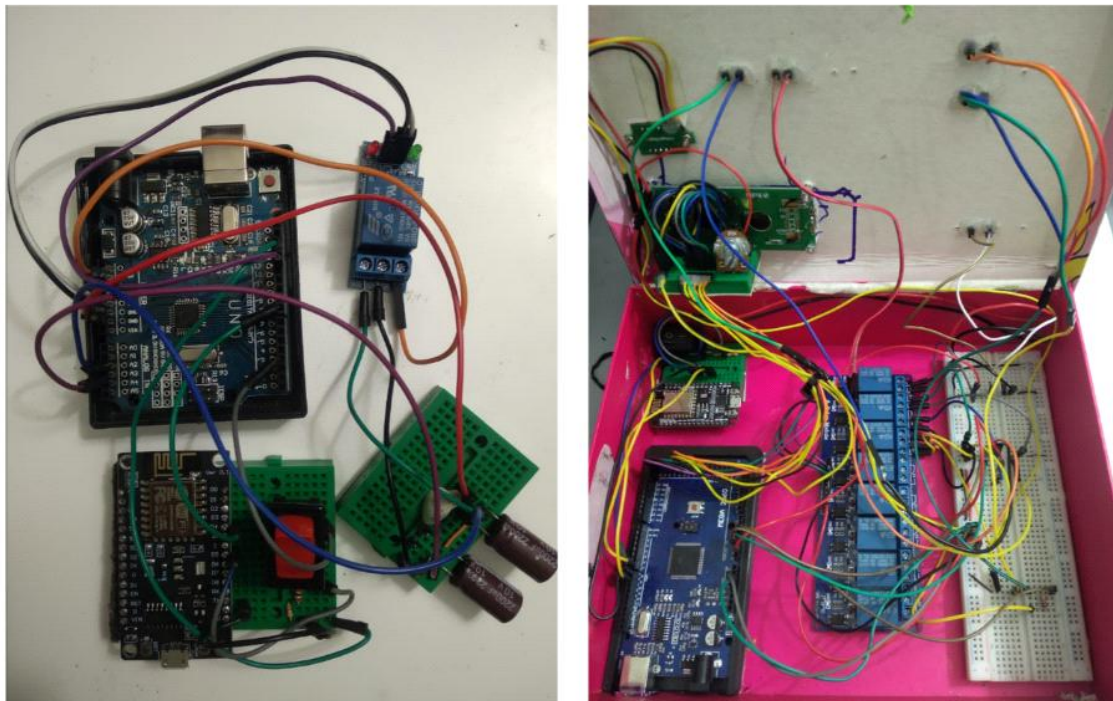
Uma etapa evolutiva no sentido de alcançar um laboratório remoto pleno se constituiu em um laboratório automatizado, mas controlado por um celular próximo ao arranjo experimental, dispensando em um primeiro momento um sistema de monitoramento por vídeo.

As modificações no projeto do protótipo foram feitas com o intuito de contornar os desafios enfrentados na utilização do protótipo anterior. A decisão do uso de microcontroladores foi baseada na grande disponibilidade de materiais instrucionais dessa área e o fomento recente do ensino de robótica nas escolas, como fator motivador. De maneira complementar, a disponibilidade de interfaces IoT gratuitas compatíveis com *smartphones* facilita grande parte dos requisitos para construir dispositivos conectivos com potencial para trabalhar física experimental de forma remota.

Para a construção de tal arranjo foi necessário pesquisar sobre o uso de microcontroladores e dispositivos compatíveis, que permitissem realizar medidas de grandezas e controlar atuadores remotamente, por meio de interfaces gráficas

acessíveis, que operam em tempo real. Concomitante aos temas do campo da eletrônica, foi necessário expandir o conhecimento a respeito de códigos de programação, que é utilizada na programação da firmware dos microcontroladores. Cumpre destacar ainda que, todo processo de desenvolvimento dos aparatos foram adquiridos sem uma fonte de financiamento além do próprio bolso do autor que escreve estas linhas e de uma parca familiaridade deste com os hardwares utilizados. A Figura 14 mostra os componentes de dois protótipos que construímos.

Figura 14 – Protótipos de aparato experimental IoT.



Fonte: registrado pelo autor (2025).

Para utilizar o protótipo em sala de aula, levamos em consideração no seu projeto que a conexão com a internet seria feita por meio do roteamento de internet de um *smartphone*, abrindo possibilidade de não depender da internet da instituição. Entretanto devido a instabilidades recorrentes na conexão via dados móveis, alguns dados podem ser perdidos. Já a conexão *WiFi* local mostrou notável estabilidade quando comparada à usada anteriormente.

Utilizando o aplicativo da plataforma *Blynk IoT*, a tensão em função do tempo pode ser reunida de forma gráfica, em tempo real. Além disso, conferia a capacidade de controle do processo de carga e descarga do aparato experimental de forma

simples, através do acionamento de um simples botão, alternando o capacitor entre malhas de carga e descarga, conforme pode ser visto na figura 15.

Como toda a interação com o dispositivo é feita de forma remota, os problemas de conexão raramente ocorreram, o que contribui para o andamento da atividade. Vale ressaltar que segundo o princípio da contiguidade temporal da Teoria da Aprendizagem Multimídia de Mayer, se as informações dos diferentes canais forem disponibilizadas com intervalo de tempo entre si, haverá influências negativas no processamento ativo das informações nos canais sensoriais do indivíduo, prejudicando o processo de aprendizagem. Desta forma, se a condução da atividade experimental for recorrentemente interferida com problemas na montagem, a compreensão dos conceitos pode não ser prejudicada.

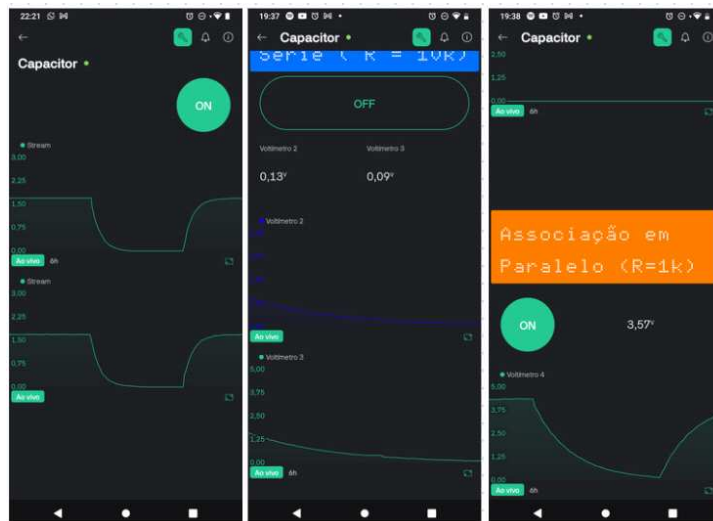
Outro ponto que deve ser destacado a respeito da modificação do protótipo está relacionado a facilidade de se acionar a montagem, bastando simplesmente ligá-la na tomada e rotear internet do celular, que automaticamente o dispositivo estará conectado à internet, e conseqüentemente a plataforma IoT. Como o aplicativo e os dispositivos transferem informações em pequenas quantidades, o tráfego de internet é reduzido, sendo acessível e prático, eliminando a necessidade de destinar parte do tempo da aula para realizar uma montagem complexa de um aparato. No ponto de vista da Teoria da Aprendizagem Multimídia, quanto mais tempo o indivíduo for exposto a mídia, mais informações podem ser adquiridas pelos órgãos sensoriais, conseqüentemente mais vezes o processamento ativo das informações irá acontecer, integrando cada vez mais informações a memória de longo prazo, que por sua vez será favorável para a construção de um esquema mental sobre o assunto e, conseqüente, alcançando a aprendizagem significativa.

Como dispositivos desta natureza não são comuns no ambiente escolar, quando são apresentados o aparato experimental e suas funcionalidades, é possível (e de certa forma esperado) perceber que a atenção dos estudantes se volta para a sua estrutura. Na convivência como os alunos, tornou-se comum que eles indagassem qual seria o tema da aula seguinte e qual seria o dispositivo a ser utilizado, claramente empolgados com as atividades. Estas dinâmicas sutis na interação do professor com os alunos possuem potencial para trabalhar com os elementos motivadores. Considerando os pressupostos da aprendizagem investigativa, de John Dewey, que preconiza a experiência ativa, de busca reflexiva por soluções, envolver os alunos na construção colaborativa da aula confere a eles

noção de pertencimento, postura que contribui para o empenho e interesse dos alunos. O fato de se usar dispositivos eletrônicos emergentes, contribui ainda mais para que a aula atinja uma esfera investigativa. Estes aspectos também estão em acordo com o princípio da atividade generativa da Teoria de Mayer.

A possibilidade de personalizar o layout e disposição dos elementos gráficos na plataforma IoT balizou a construção de mídias com finalidades educacionais, fundamentada nos princípios da teoria da aprendizagem multimídia. Desta forma, para garantir que os efeitos de contiguidade espacial e temporal, foi adicionado à mídia um botão para alternar o estado de carga e descarga do circuito RC. Os valores de tensão eram registrados em tempo real e reunidos na mesma janela em se dava a construção do gráfico da tensão no capacitor em função do tempo. Cuidou-se para que não existissem elementos não relacionados ao experimento, ou a atividade, conforme preconiza o princípio da coerência da Teoria de Mayer, que sugere remover todos os elementos desnecessários ao processo de aprendizado. Na figura 15 está exibido a imagem da tela com o gráfico e o valor instantâneo da tensão no capacitor.

Figura 15 – Imagem da tela do celular controlando o processo de carga do capacitor.



Fonte: registrado pelo autor (2025).

A possibilidade de se construir diferentes layouts para o mesmo dispositivo IoT, permite que aparatos experimentais possam ter suas funcionalidades separadas em atividades segmentadas em etapas, garantindo que as múltiplas funcionalidades

do dispositivo possam ser acessadas nos devidos momentos, estando em acordo com o princípio da segmentação espacial da Teoria de Mayer.

Um fator que não foi levado em consideração, foi a exposição do dispositivo conectivo que controlava o experimento. Como se trata de protótipo, continha diversas ligações feitas por fios entre os microcontroladores, atuadores e sensores, que ofereciam um visual dispersivo, em desacordo com o princípio da redundância de Mayer. Ainda mais, os LEDs que indicam o estado de operação dos microcontroladores roubaram a cena do funcionamento do aparato, uma vez que eram visualmente mais atrativos aos estudantes do que os valores medidos. Analisando posteriormente, foi possível encontrar uma solução para esta situação ao se analisar o problema fazendo uso do efeito da redundância. Outro aspecto que dificultou o entendimento por parte dos estudantes está relacionado ao fato do circuito estudado não se diferenciar do resto do aparato, onde dificilmente os estudantes conseguiam visualizar e reconhecer o que era parte do circuito RC e o circuito de controle. Como uma das premissas do projeto é conferir conhecimento prático sobre os assuntos, é altamente demandado que o estudante possa visualizar na íntegra o objeto de conhecimento. Como os microcontroladores não fazem parte do circuito RC, ficou claro a necessidade de se desenvolver uma carcaça que evidenciasse o circuito RC, mas que permita visualização do seu interior quando pertinente.

As informações obtidas na utilização do segundo protótipo foram cruciais para levantar questionamentos a respeito do design do aparato experimental e do layout da plataforma. É neste momento que a Teoria da Aprendizagem Multimídia de Richard E. Mayer nos orienta em relação à construção do aparato experimental. Analisando a luz dos princípios desta teoria, o excesso de informação e ambas as situações acabavam por prover aos alunos sobrecarga cognitiva, a compreender o que de fato era o circuito que estava sendo estudado, conforme é previsto pelo Princípio da Capacidade Limitada, que estabelece que há um limite de fluxo de informações no canal, que se for sobrecarregado, prejudica o processo de organização.

Somado a este acontecimento, o som feito pelo atuador eletromecânico, alternando a malha entre modo de carga e descarga, foi notado pelos estudantes, ajudando-os a associar o estado das chaves às informações de tensão do capacitor. De acordo com a Teoria da Aprendizagem Multimídia, apresentar informações que

ativem ambos os canais sensoriais favorece o processo de integração de informações à memória de longo prazo. A luz do Princípio do Processamento Dual, informações captadas pelo canal sensorial auditivo são selecionadas e combinadas com informações do canal sensorial visual, que posteriormente serão combinadas em um processo de organização na memória de trabalho, para assim ser integradas à memória de longo prazo.

O simples fato de o equipamento realizar um som quando alternados os estados dos atuadores eletromecânicos, combinado com as informações da tensão no capacitor favoreceu o processo de aprendizagem, uma vez que os estudantes puderam processar o conhecimento com todo o potencial da memória de trabalho.

5.2.3 Laboratório remoto

Nesta última etapa alteramos a configuração de gerenciamento de Wi-Fi do software Blynk para permitir o acesso remoto via Wi-Fi. O procedimento faz lembrar a configuração do aparelho Google Chromecast para TVs. Além disto, este modo permite acesso e gerenciamento do protótipo remotamente por meio de um website, que também pode disponibilizar outros objetos de aprendizagem, compondo uma multimídia sobre o tema capacitor, como será apresentado na seção que segue a esta.

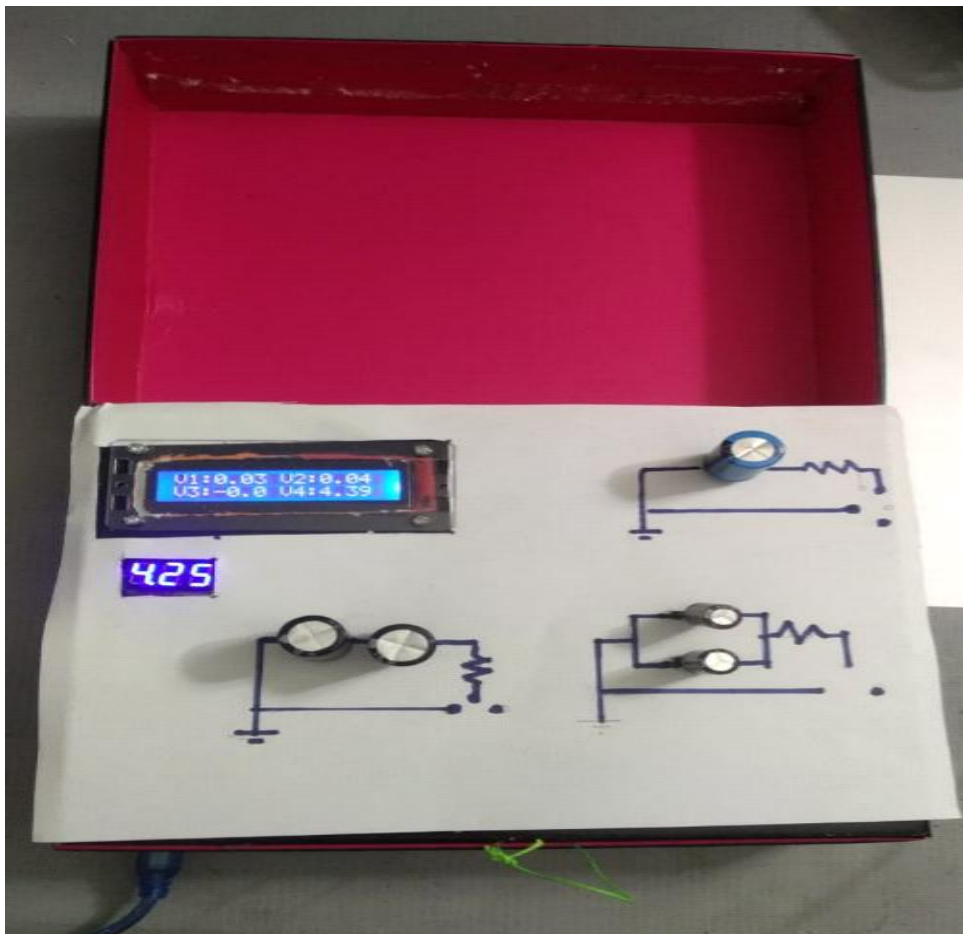
Fizemos algumas modificações para compor o terceiro protótipo, fundamentadas nos princípios da teoria de Mayer e nos resultados da aplicação escolar do protótipo anterior. Uma tampa de papelão, contendo dois visores digitais e uma representação esquemática do circuito e os componentes reais utilizados na experimentação, desenvolvido para cobrir os microcontroladores, atuadores e sensores da vista do estudante. Em paralelo foi construída uma representação da fiação do circuito, contendo os componentes reais em suas respectivas posições, assim como um diagrama de circuito. A conformação do protótipo desta maneira objetiva reduzir a carga cognitiva do canal visual do aluno, decorrente de informações irrelevantes.

A segunda modificação realizada no projeto foi adicionar lâmpadas LED, cujo brilho indica a intensidade da grandeza medida pelo sensor de tensão. Esta modificação no projeto busca fornecer outra forma de se visualizar a tensão no capacitor, durante o processo de carga e descarga. Desta forma temos mais um

indicativo direto e objetivo que será processado pelos canais sensoriais do estudante, contribuindo para seu processo de assimilação.

Entretanto, foi constatado em testes que tal recurso confunde o sistema de ajuste de brilho da câmera usada para monitoramento remoto, uma vez que o ajuste de claridade impede que as informações no tela LCD sejam realizadas, sendo então removido do projeto.

Figura 16 – Tampa de papel rígido contendo os capacitores estudados, um visor LED e uma tela LCD Cristal



Fonte: registrado pelo autor (2025).

Diferente das versões anteriores, este protótipo acumulou mais uma funcionalidade - permitir o estudo da associação de capacitores. Foram adicionadas mais duas malhas com capacitores em série, e outra em paralelo, que integram dois circuitos RC distintos. Para que a análise fosse focada nas diferenças entre os tipos de associações, foram utilizados capacitores de mesmas capacitâncias. Esta modificação permite que todo conteúdo de capacitores seja abordado com o mesmo

aparato experimental, o que confere ao aparato experimental o efeito da segmentação, derivado dos princípios da teoria da aprendizagem multimídia.

Este terceiro protótipo foi disponibilizado para realizar as mesmas atividades que seus antecessores - aula experimental presencial, e nestas aplicações ele contemplou os requisitos de não sobrecarregar o canal sensorial visual. Nestas aulas, somente a curva de carga e descarga de um único capacitor no circuito RC foi abordada. Em todas as turmas, foi notório o envolvimento dos alunos com a atividade de interpretar os dados e compreender o funcionamento do componente. Entretanto é frequente os alunos se desentenderem durante a utilização do aparelho, o que acaba por formar uma fila de estudantes que só querem viver a experiência de operar o dispositivo.

Em vista deste comportamento dos estudantes, deu-se início às etapas de testes remotos, com o protótipo do aparato conectivo situado em outra localidade. Inicialmente se apresentou em sala de aula como se fazia a conexão para uso do dispositivo e para monitoramento via vídeo. Nesta aula os alunos foram instruídos a formar grupos menores, para fazer a atividade remota síncrona, que teve data e horário acordado em sala.

A atividade era que os alunos refizessem a prática feita em sala de aula, em seguida, iriam repetir os mesmos processos de carga e descarga nas malhas com as associações. Com base nas informações, tempo de carga e descarga, os estudantes precisam levantar hipóteses do que as associações de capacitores causam no circuito com base no primeiro. O tempo de duração total da atividade é de 15 minutos utilizando o aparato conectivo, em seguida os estudantes devem levantar hipóteses com os dados levantados, que serão posteriormente debatidos em sala de aula.

A utilização do aparato conectivo de forma remota apresenta alguns desafios que são importantes serem analisados. Por ser um dispositivo que faz uso da internet para comunicação bidirecional, a instabilidade na rede em ambos os sentidos da conexão irá comprometer o uso do dispositivo. Ainda mais, existe um atraso entre a transmissão de vídeo e áudio e a transmissão dos dados, devido à quantidade de informações, os dados dos sensores são recebidos primeiro que a resposta visual da *webcam*. Entretanto este efeito não prejudica os dados, uma vez que pela gravação da tela, é possível obter o intervalo de tempo desde o acionamento.

A perda significativa de dados prejudica a realização da atividade e, conseqüentemente, o entendimento do fenômeno, quando os experimentos dependem somente da aquisição de dados provinda do monitoramento. Neste caso, é necessário repetir a prática.

No encontro seguinte com as turmas, foi notável a receptividade dos alunos à atividade executada, mesmo aqueles que tiveram o acesso comprometido pelas condições de conexão. Vale destaque as hipóteses levantadas a respeito do que a associação dos capacitores foi capaz de modificar no circuito.

Neste ponto do ano letivo, nenhuma destas turmas havia sido introduzida sobre a associação de capacitores, desconhecendo o conceito de capacitância equivalente.

Grande parte das argumentações revelavam interpretações do processo de carga e descarga utilizando corretamente o conceito de energia. Dentre as diversas respostas, surgiram algumas hipóteses baseadas em analogias hidráulicas utilizadas em aulas anteriores. Durante este breve debate, foi possível constatar um aumento no número de estudantes dispostos a compartilhar hipóteses e questionamentos, porém ainda existiam estudantes alheios à discussão em sala de aula.

5.3 O Website

Quando foram analisadas as possibilidades do uso remoto assíncrono do terceiro protótipo, identificou-se a necessidade de se fazer uso de um site que permita a integração de diversas mídias e informações acerca das atividades. Em vista disso, um site foi criado, com o objetivo de fornecer ao estudante materiais didáticos que façam uso de diferentes mídias, favorecendo as múltiplas formas de aprendizado do estudante, veja figura 17.

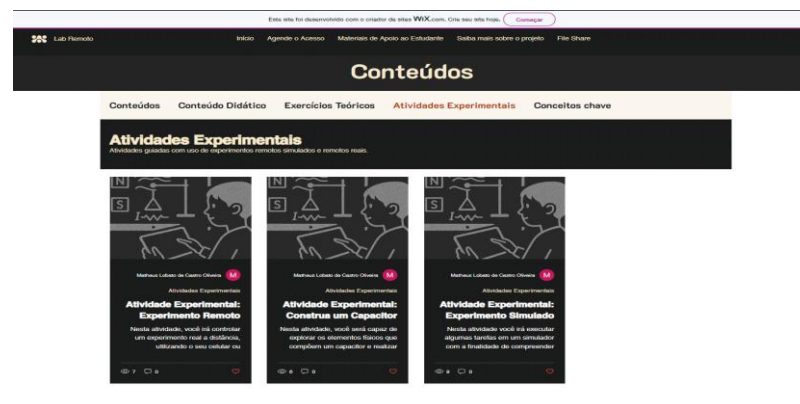
Figura 17 – Home page da página web do site de acesso aos objetos de aprendizagem que compõem a hipermissão.



Fonte: elaborado pelo autor (2025) (disponível em <https://prophysmat.wixsite.com/lab-remoto>).

O conteúdo foi dividido em três seções, uma contendo conteúdos multimídias sobre temas centrais de capacitores, outra seção contendo atividades experimentais simuladas, remotas e projeto para construção de experimentos em casa.

Figura 18 – Aspecto da página do site de acesso aos conteúdos que compõem a hipermissão.



Fonte: elaborado pelo autor (2025) - disponível em <https://prophysmat.wixsite.com/lab-remoto>.

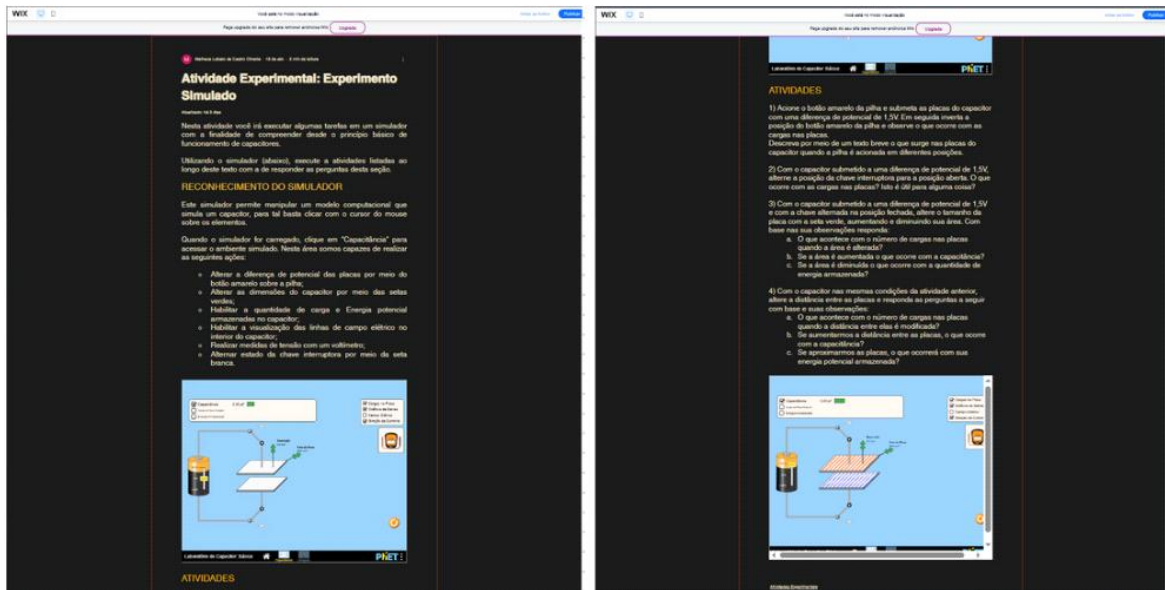
Os conteúdos contidos em na seção de Conteúdos Didáticos, possuem um visual simples, com intuito de não sobrecarregar os canais sensoriais da visão. Além disso, foi adotado uma formatação do texto em blocos, permitindo controlar quais informações são visualizadas pelo usuário simultaneamente. Dispor as informações desta forma permite que o estudante possa conhecer os conceitos de forma compassada e segmentada, conforme foi apresentado na figura 18.

A seção de Atividades Experimentais contém três opções de atividades de Física Experimental. A primeira atividade experimental que foi proposta consistia na construção de capacitores caseiros que serão construídos com itens cotidianos, com intuito de avaliar os fatores das dimensões do capacitor e forma das placas na capacitância do mesmo. Tal roteiro pretende guiar o estudante na etapa de construção e execução do experimento de forma textual e por meio de vídeos curtos narrados.

Nesta atividade, o estudante será convidado a construir capacitores de placas planas utilizando folhas de papel alumínio de diferentes áreas, folhas de papel e filme plástico PVC. Por meio de uma raquete elétrica e fios com conectores jacaré, os capacitores podem ser carregados, e a atração aparente entre as folhas pode ser notada. Esta montagem permite entender os aspectos estruturais que compõem o sistema, sendo possível verificar os efeitos das dimensões na capacitância, por meio da descarga elétrica quando descarregados por meio do contato elétrico entre os terminais dos diferentes capacitores confeccionados.

Em seguida, a segunda atividade proposta consiste no uso de um experimento simulado virtualmente da plataforma Phet, figura 19. A integração da simulação ao ambiente do site permite que o recurso de texto e simulador seja utilizado simultaneamente. De acordo com o princípio da Contiguidade Espacial da Teoria da Aprendizagem Multimídia, os elementos que estão relacionados precisam possuir uma proximidade espacial para que as informações sejam processadas simultaneamente no canal sensorial, deixando o uso da memória de trabalho mais eficiente e o processo de organização é favorecido.

Figura 19 – Aspecto da página do site de acesso aos experimentos simulados



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Nesta atividade experimental o estudante é guiado por um roteiro de atividades a serem realizadas junto da plataforma, com o objetivo de trabalhar as duas definições de capacitâncias abordadas no ensino básico.

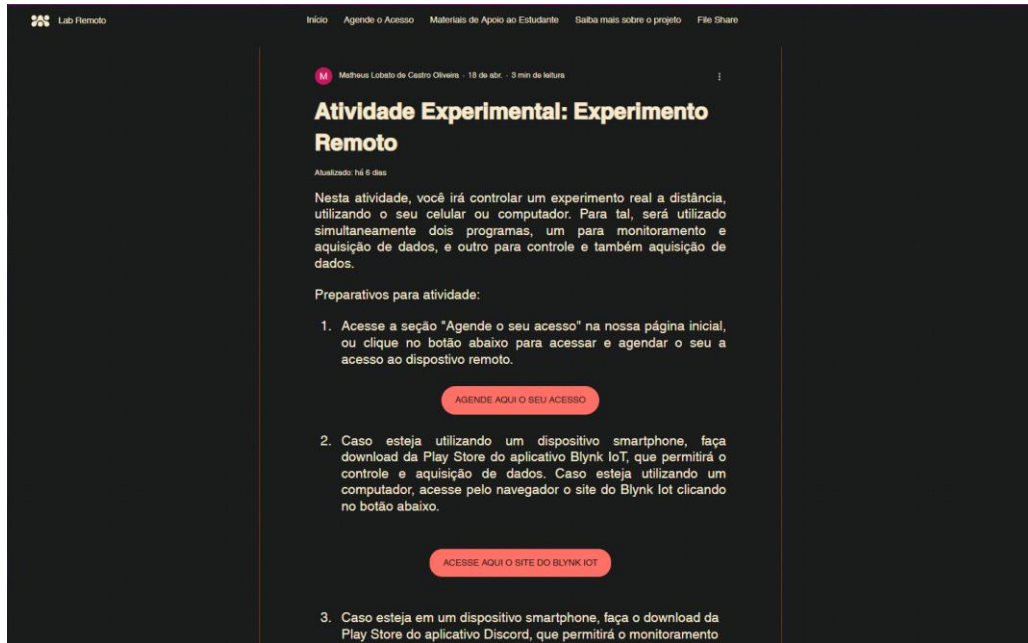
Primeiramente é apresentada a definição de capacitância, alternando a diferença de potencial aplicada no capacitor e avaliando a quantidade de cargas acumulada nas placas. Em seguida, é sugerido que o estudante investigue quais são os efeitos na capacitância após mudança da área das placas e da distância entre as mesmas.

No contexto em que foram aplicadas às atividades remotas, os alunos foram solicitados a responder às perguntas da plataforma, que seriam discutidas posteriormente em sala de aula, à medida que o professor realizasse a correção das tarefas utilizando a mesma plataforma. Entretanto, para uma situação totalmente remota de ensino, os estudantes podem ser solicitados enviar as respostas por e-mail ou outro tipo de meio de comunicação de texto.

Os conceitos de desvios e erros de medidas podem ser trabalhados com os estudantes, caso este seja um dos objetivos previstos no currículo da disciplina. Para tal, é oferecido no site uma atividade experimental remota (figura 20), na qual o estudante irá avaliar a taxa de variação temporal da diferença de potencial elétrico nos capacitores e a corrente elétrica no ramo do circuito durante processos de carga

e descarga de capacitores pertencentes a circuitos RC, em três situações distintas: um único capacitor, uma associação em série de capacitores e uma associação em paralelo.

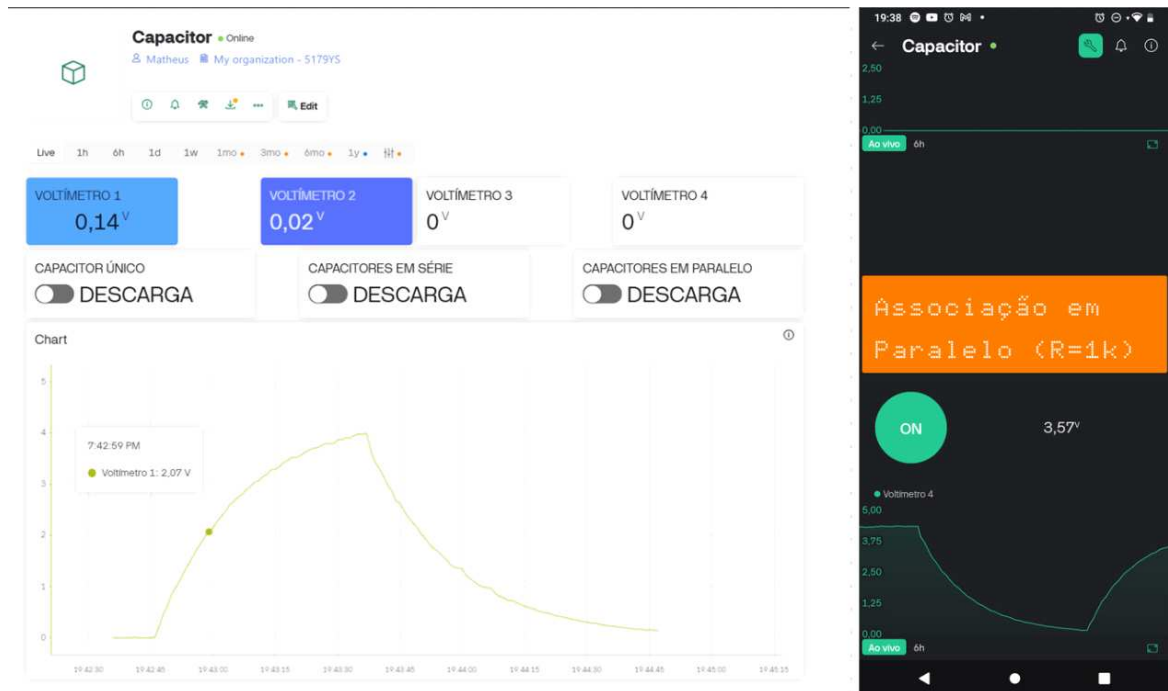
Figura 20 – Captura da página do site contendo as informações de uso e acesso do aparato IoT.



Fonte: elaborado pelo autor (2025) - disponível em <https://prophysmat.wixsite.com/lab-remoto/post/atividade-experimental-experimento-remoto>.

Durante as atividades, o usuário tem a opção de solicitar acesso às imagens em tempo real do circuito controlado, sendo permitido comparar as informações coletadas pelos sensores com as informações dos voltímetros no espaço físico do aparelho experimental. Na plataforma IoT (figura 21) utilizada, o usuário terá acesso ao gráfico em tempo real das quantidades medidas pelos sensores. Tal atividade abre diversas possibilidades de maneiras de se aprofundar no assunto. Como tal atividade foi desenvolvida para ser trabalhada inicialmente no ciclo básico, então foram priorizadas análises gráficas para se trabalhar a forma da curva de carga e descarga do capacitor. A plataforma também fornece tempo de carga e descarga em cada situação, permitindo que o estudante possa avaliar os efeitos das associações de capacitores a capacitância equivalente das associações, e posteriormente associar estes comportamentos aos resultados das deduções algébricas da capacitância equivalente.

Figura 21 – Interface de controle do Blynk, acessado em um computador (à esquerda). Interface de controle do aplicativo Blynk, acessado em um celular (à direita).



Fonte: imagem capturada da plataforma Blynk IoT pelo autor (2025) ([Blynk](#) - à esquerda; aplicativo mobile BlynkIoT - à direita).

De forma complementar, dados de diferentes execuções dos experimentos são disponibilizados na seção de Dados Experimentais. Tais dados podem ser utilizados para atividades de construção de gráficos, tanto manuais quanto por meio de editores de gráficos disponíveis na internet. Isto permite que a atividade possa trabalhar competências comuns às aulas de física experimental.

6 CONCLUSÕES E POSSIBILIDADES FUTURAS

6.1 Visão geral do projeto: desenvolvimento, construção e aplicação

Verificamos que a implementação dessas tecnologias para desenvolvimento de um laboratório remoto de Física exige um nível de expertise considerável no âmbito da informática, da eletrônica, bem como da psicologia e didática da aprendizagem multimídia, que não estavam prontamente disponíveis. Não é tarefa simples de convergir estes diferentes conhecimentos de forma a possibilitar o ensino por meio de diversas mídias e ainda permitir a aprendizagem por meio da experimentação de forma presencial, conectiva ou remota (síncrona ou assíncrona). Pois além de requerer todo um conhecimento quanto a construção do aparato experimental e os aditivos IoT, também é requerido um conhecimento técnico de produção de conteúdo multimídia e *web design*. Cada eixo que surgia durante o desenvolvimento do projeto, acabou por requerer o aprimoramento em alguma ferramenta de construção, o que conferiu ao projeto uma alta densidade de atividades e aprendizagens secundárias.

Em suma, não é aconselhado que um professor leigo nas áreas secundárias busque desenvolver um projeto desta magnitude sem um apoio técnico especializado e financiamento para equipamentos e instalação.

Entretanto, quando apoiado institucionalmente este projeto possui um grande potencial para difundir atividades experimentais de física entre professores e estudantes. Além disso, possibilita que as instituições possam investir em conjunto para a construção de laboratórios remotos compartilhados, melhorando as condições de acesso destas práticas para a comunidade escolar. Não podemos deixar de citar que já há iniciativas deste tipo, que a cada dia aumentam seus catálogos experimentais (Azad, 2021).

No que tange os aspectos didáticos, as observações do uso dos protótipos são promissoras quando relacionadas aos princípios básicos propostos pela Teoria de Aprendizagem Multimídia.

O primeiro protótipo demonstrou como excesso de informações visuais do aparato sobrecarregam os canais sensoriais, e assim dificultam o processo de organização. Além disso, os ruídos e o mau contato nos terminais das conexões interrompem o andamento da aula. Este autor percebeu que tais interrupções

ocasionaram descontinuidades no fluxo de informações para os canais sensoriais, fazendo com que as informações que estavam na memória de curto prazo se percam, não permitindo a organização do esquema mental. Quando a aula é retomada, muitos estudantes já apresentam perda de informações que foram ditas a minutos atrás. E por último, por algum motivo a montagem simples, desprovida das tecnologias, não é capaz de manter o estudante motivado durante a atividade, o que muito provavelmente está relacionado ao fato de não poder manipular aquele objeto de conhecimento, com a finalidade de sanar a confusão visual.

O segundo protótipo abriu um novo universo de possibilidades para uso local. Possibilitou realizar medições com sensores em tempo real que, juntamente com a combinação com a plataforma IoT garantiu que todas as informações fossem dispostas em um layout agradável e objetivo, que permitiu a participação ativa dos alunos durante as atividades experimentais.

O terceiro protótipo demonstrou a capacidade dos microcontroladores de terem seus projetos alterados e incrementados. Permitindo o estudo das associações de capacitores de uma maneira incomum nos livros didáticos, o dispositivo é compatível com abordagens investigativas, podendo ser utilizado como seu antecessor, localmente ou remotamente.

Entretanto, há muito o que se melhorar quanto ao compartilhamento do vídeo do experimento e o seu controle. Como ambas as ações são aplicadas em plataformas diferentes, há uma perda no dinamismo, dificultando que as informações sejam simultâneas para o usuário. Tal situação precisa ser contornada com a construção de um servidor próprio para o site, permitindo que o usuário acesse todas as funcionalidades na mesma plataforma.

6.2 Laboratórios remotos: possibilidades de implementação

No presente projeto, todas as atividades de construção foram executadas à medida que o conhecimento no assunto foi sendo adquirido, o que acabou por demandar muito tempo para as etapas de construção e programação dos dispositivos envolvidos. Acredito fortemente que um profissional com um conhecimento razoável é suficiente para integrar aparatos experimentais aos dispositivos IoT. Existe um universo de possibilidades que permitem essa integração

com os aparatos experimentais sem necessidade de modificar o aparato em si. Ao mesmo tempo, é possível desenvolver aparatos experimentais IoT do zero.

O baixo valor e a disponibilidade e variedade de sensores e atuadores compatíveis com microcontroladores semelhantes ao Arduino e *Raspberry*, permitem que tais projetos possam ser executados em regiões afastadas dos grandes centros e com quantidades moderadas de recursos.

Vale destacar que o uso deste tipo de tecnologia e aplicações IoT são amplamente difundidas por plataformas “open source” na rede de internet, o que facilita o acesso a informações e aprendizado do tema. Isto permite que instituições especializadas ou de ensino superior promovam entre os estudantes projetos de construções de dispositivos IoT para ensino e experimentação. De forma complementar, a variedade de sensores compatíveis permite que experimentos de todas as grandes áreas da física possam ter dados coletados com uma precisão aceitável.

Com base em toda a experiência vivida ao longo deste projeto, concluo que é sim possível se construir laboratórios que possibilitem o controle remoto de experimentos de física e outras áreas. Entretanto tal atividade necessita de uma equipe com profissionais especializados para garantir a maior eficiência da integração tecnológica.

Em contraste as conclusões apontadas até o momento, o uso de tal dispositivo de forma conectiva local ou síncrona remota demonstraram ser muito eficientes e, na minha visão, merecedoras do longo e árduo processo de aprendizado nestas áreas. Garantir qualidade nas medidas e um uso simples aprimorou a forma de se abordar o conteúdo de forma experimental em minhas aulas. Foi notável a melhoria no engajamento dos estudantes no momento em que foram convidados a controlar o dispositivo com um *smartphone*, e participar assim da atividade investigativa a ser executada.

Este projeto possibilitou o desenvolvimento de ferramentas de criação de dispositivos IoT, que abre possibilidade da construção e adaptação de diversos aparatos experimentais que utilizo em minhas aulas, com intuito de relacionar os conteúdos vistos com os avanços tecnológicos que o estudante cotidianamente estará sendo exposto nos tempos atuais.

6.3 Possibilidades Futuras do *Website*

O *website* foi criado de forma que novos conteúdos possam ser adicionados e correlacionados via redirecionadores. Esta capacidade cria a possibilidade de fazer uso de aplicativos de pop-up com intuito de permitir que o estudante possa revisar conceitos chave sem sair da página, este aprimoramento irá permitir que os efeitos de contiguidade espacial e temporal sejam satisfeitos.

Para que o feedback de uso da plataforma seja incentivado, uma área para compartilhamento de ideias e questionamentos é necessária. Este ambiente de socialização dos usuários permite a troca de saberes entre a comunidade e incentiva os usuários a fornecer *feedback* sobre a experiência de uso do espaço e das informações e atividades nele contidas.

Além de permitir o aprendizado e acesso a dispositivos IoT de experimentos de física, a plataforma pode contribuir para a difusão de montagens experimentais de simples construção, engajando a comunidade a reproduzir a experiência, em seguida compartilhar seus resultados em um relato das experimentações. Esta dinâmica de engajamento entre usuários e a plataforma permite ajustes no conteúdo didático e demais atividades, considerando que o processo de construção, medição e análise de um experimento real, organizado em um relatório simplificado, seja o que se deseja como produto final do usuário.

Para aumentar a disponibilidade de mídias que forneçam informações para o canal sensorial auditivo/verbal, será necessário a produção de vídeos explicativos e áudios que sintetizem diagramas e conceitos. Há possibilidade também de integrar inteligências artificiais que ajudem o aluno ser direcionado a materiais que resolvam suas dúvidas.

6.4 Aprimoramentos no Aparato Experimental

A Teoria da Aprendizagem multimídia demonstrou, ao longo do projeto, um norte para aprimorar o dispositivo IoT para uso e aulas presenciais e remotas. Além de estabelecer critérios visuais para a interface IoT, permitindo um controle criterioso das informações fornecidas ao usuário, os princípios forneceram pistas dos problemas de dois protótipos construídos e aplicados em aula. Desta maneira, as

propostas de aprimoramento para o aparato experimental que virão, são fruto de observações e uso da teoria de Mayer em relação a todos os aspectos do dispositivo IoT em conjunto com aprofundamento no conteúdo didático.

De início, em relação às funções do dispositivo, dois aprimoramentos se fazem necessários: aumentar uma malha RC com um capacitor variável, que será controlado por um motor de passo 9V. Esta funcionalidade permite abordar temas como telas capacitivas entre outras possibilidades. O segundo aprimoramento está relacionado ao controle de tensão da fonte. A adição desta funcionalidade ao dispositivo IoT irá permitir que o estudante explore mais possibilidades de raciocínios na construção do modelo mental sobre o tema trabalhado.

Em versões futuras, o dispositivo IoT pode ser configurado para que diferentes componentes possam ser investigados, como por exemplo resistores, indutores e transformadores. Desta forma, se utilizado no modelo presencial, pode ser uma ferramenta poderosa para se compreender circuitos.

Os recursos, visual e auditivo, podem ser aprimorados com uso de buzzers (pequenos alto falantes) para indicar corrente elétrica nas malhas, e fitas led para indicar o nível de tensão atingido pelos capacitores durante os processos de carga e descarga.

6.5 A Teoria da Aprendizagem Multimídia

Os princípios desta teoria estabelecem uma relação de grande potencial entre o processo de seleção de informações, organização e criação de modelos mentais e por fim a integração do conhecimento à memória de longo prazo. Como se trata de uma teoria moderna, tem em sua base a premissa de trabalhar com uma forma de comunicação que é cada vez mais cotidiana - as mídias. Entretanto, a mesma não deixa de ser válida para ambientes tradicionais de ensino, onde as informações estão contidas na forma escrita e representativa nos quadros, e oral verbal na fala e orientações do professor. Visto isso, em uma análise geral a teoria se estende desde materiais multimídia em interfaces digitais, até a prática tradicional de “saliva e giz”.

Os efeitos gerados a partir dos princípios estabelecem critérios para avaliar se um determinado material, ou atividade, está favorecendo o processamento ativo do indivíduo e a capacidade limitada do fluxo de informações nos canais sensoriais. Estas etapas são fundamentais para que os esquemas mentais sejam bem

construídos na memória de trabalho, facilitando o processo de integração com os esquemas contidos na memória de longo prazo.

Em relação ao uso da teoria na construção do website e dos materiais nele contidos, os princípios e efeitos foram cruciais para construção de todo o ambiente virtual de aprendizado. Influenciando escolhas que incluem a paleta de cores, layout e disposição dos elementos, organização do conteúdo e uso de aplicações com interação para o usuário. A partir destes critérios, foi possível construir um espaço virtual capaz de fornecer compasso ao aprendizado por meio da segmentação dos conteúdos. Quando combinada a elementos de transição, é possível criar foco em etapas específicas do texto, criando um ambiente propício para que as informações sejam selecionadas e processadas pela memória de trabalho.

Além disso, a Teoria da Aprendizagem também se mostrou muito útil na construção de aparatos experimentais, em especial os IoT e/ou conectivos. O uso dos princípios possibilitou criar uma lógica para as modificações efetuadas nos aparatos. Em nossas experiências, todos os desafios por parte dos estudantes, relatados anteriormente, possuíam justificativa à luz da teoria de Mayer, e uma proposta geral de como sanar o problema. Em adição, todas as modificações foram capazes de contornar os desafios relatados pelos estudantes, além de notavelmente aumentar o engajamento e interesse dos estudantes nas aulas de física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL D. P. **Psicologia Educacional: Uma Visão Cognitiva**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. 2003.

AZAD, A. K. M. Design and Development of Remote Laboratories with Internet of Things Setting. **Advances in Internet of Things**, vol.11, p.95-112, 2021.

BADDELEY, A. Working memory. **Science**, vol. 255, nº 5044, p.556–559, 1992.

BARTLETT, F. C. **Remembering**. Cambridge, England: Cambridge University Press. 1932.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Cad. Brás. Ens. Fís.**, vol. 19, nº.3: p.291-313. 2002.

CHANDLER, P.; SWELLER, P. Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. **Cognition and Instruction**, vol. 8, n.4, p. 293-332, 1991.

COELHO, M. A.; DUTRA, L.R. Behaviorismo, cognitivismo e construtivismo: confronto entre teorias remotas com a teoria conectivista. **Caderno de Educação**, n. 49, v.1, 2017/2018 - p. 51 a 76

DESOLDA, G., LANZILOTTI, R., CAIVANO, D., COSTABILE, M. F., BUONO, P. Asynchronous Remote Usability Tests Using Web-Based Tools Versus Laboratory Usability Tests: An Experimental Study. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, vol. 53, nº.4, 731–742, 2023.

DEWEY, J. **Experiência e educação**. 3 Ed. São Paulo: Ed. Nacional, 1979

DEWEY, J. **Democracia e educação: introdução à filosofia da educação**. 4.ed. São Paulo: Editora Nacional, 1979.

DOWNES, S. [Learning Networks](#) HYPERLINK

"<http://it.coe.uga.edu/itforum/paper92/paper92.html>"[and](#) HYPERLINK

"<http://it.coe.uga.edu/itforum/paper92/paper92.html>"_ HYPERLINK

"<http://it.coe.uga.edu/itforum/paper92/paper92.html>"[Connective](#) HYPERLINK

"<http://it.coe.uga.edu/itforum/paper92/paper92.html>"_ HYPERLINK

"<http://it.coe.uga.edu/itforum/paper92/paper92.html>"[Knowledge](#). **ITForum**, 92, University of Georgi, Oct 17, 2006.

FACCIONI FILHO, M. **Internet das coisas**. livro digital Palhoça: UnisulVirtual, p.56, 2016.

FONSECA, M.; et al. O laboratório virtual: Uma atividade baseada em experimentos para o ensino de mecânica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, 4503 (2013).

GARCIA, L.G.; MARTINS, T. C. (organizadores) **Possibilidades de aprendizagem**

e mediações no ensino com o uso das tecnologias digitais: Desafios contemporâneos. VOLUME 1. Palmas, TO: EDUFT, 2021.

HERADIO, R.; et al. Virtual and Remote Labs in Education: a Bibliometric Analysis. [Computers](https://dl.acm.org/journal/cedn) [HYPERLINK "https://dl.acm.org/journal/cedn"](https://dl.acm.org/journal/cedn) [_ HYPERLINK "https://dl.acm.org/journal/cedn"& HYPERLINK "https://dl.acm.org/journal/cedn"](https://dl.acm.org/journal/cedn) [_ HYPERLINK "https://dl.acm.org/journal/cedn"](https://dl.acm.org/journal/cedn) [Education](https://dl.acm.org/journal/cedn), v. 98, n. C, 2016

KAFAI, Y. B., RESNICK, M. (Edit). **Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in A Digital World.** Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. 1996.

KATONA, G. **Organizing and memorizing.** New York: Columbia University Press. 1940.

KOLB, D. A. **Experiential learning.** Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1984.

KOLB, D. A. **Experiential Learning Experience as the Source of Learning and Development.** New Jersey, USA: Pearson Education, Inc, 2015.

LOWE, D.; YEUNG, H.; TAWFIK, M.; SANCRISTOBAL, E.; CASTRO, M.; ORDUÑA, P.; RICHTER, T. Interoperating remote laboratory management systems (RLMSs) for more efficient sharing of laboratory resources. **Computer Standards & Interfaces** vol. 43, p. 21–29, 2016.

MAYER, R. E. Learning strategies for making sense out of expository text: The SOI model for guiding three cognitive processes in knowledge construction. **Educational Psychology Review**, vol. 8, n.4, p.357–371, 1996.

MAYER, R. E. Multimedia learning. **Psychology of Learning and Motivation**, vol.41, p. 85–139, 2002

MAYER, R. E. **Multimedia learning.** (2nd ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press. (2009).

MAYER, R. E. **Applying the Science of Learning.** New York: Pearson. 2011.

MAYER, R. E. Using multimedia for e-learning. **Journal of Computer Assisted Learning**, 33(5), 403–423, 2017.

MAYER, R. E. The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning. **Educational Psychology Review**, vol.36, n°8, 2024.

MOREIRA, M.A. **Teorias de Aprendizagem.** 3ª Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ltda. p.140, 2022.

PAIVIO, A. **Mental representations: A dual-coding approach.** Oxford, England: Oxford University Press. 1986.

PAPERT, S. **Constructionism: A new opportunity for elementary Science education.** A proposal to the National Science Foundation, Massachusetts Institute of Technology, Media Laboratory, Epistemology and Learning Group, Cambridge, Massachusetts. 1986.

PARAPPILLY, M.B.; SIDDIQUI, S.; ZADNIK, M.G.; SHAPTER, J.; SCHMIDT, L. An Inquiry-Based Approach to Laboratory Experiences: Investigating Students' Ways of Active Learning. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education**, 21(5), 42-53, 2013.

PIAGET, J. **A Linguagem e o Pensamento da Criança.** São Paulo: Martins Fontes. 1993.

RESSE, H.W. The Learning-by-Doing Principle, **Behavioral Development Bulletin**, vol. 11, 2011.

ROGERS, C. R. Liberdade para aprender. Belo Horizonte, MG: Interlivros de Minas Gerais, 1972.

SILVA, A. C. Resenha do livro: Aprendizagem multimídia. Revista Ensaio. **Pesquisa em Educação em Ciências**. vol.19, e2757, 2017.

SIEMENS, G. Connectivism HYPERLINK

"http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm": A Learning HYPERLINK

"http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm"Theory HYPERLINK

"http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm"for HYPERLINK

"http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm"the HYPERLINK

"http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm" Digital Age. **International Journal of Instructional Technology & Distance Learning**, vol. 2, n.1, 2005.

SWELLER, P. **Instructional Design in Technical Areas.** Melbourne: Australian Council for Educational 1999.

WERTHEIMER, M. **Productive thinking.** San Francisco: Harper & Row Publisher, 1959.

WITTRICK, M. C. Learning as a generative activity. **Educational Psychologist**, vol.11, p.87–95. 1974.

WITTRICK, M. C. Generative processes of comprehension. **Educational Psychologist**, vol.24, n.4, p.345–376, 1989.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente.** São Paulo: Martins Fontes, 1984.

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A. **Sears e Zemansky, Física III: Eletromagnetismo.** São Paulo: Addison Wesley, 2004.

APÊNDICE A – Produto Educacional

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 14

PRODUTO EDUCACIONAL

Carga e Descarga de Capacitores: Uma aula multimídia

**Matheus Lobato de Castro Oliveira e Alexandre Tadeu Gomes de
Carvalho**

Viçosa
2025

MATHEUS LOBATO DE CASTRO OLIVEIRA

APRESENTAÇÃO

Prezados Colegas Professores,

Apresento a vocês este caderno didático que é parte da minha dissertação de mestrado no programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), realizado na Universidade Federal de Viçosa - MG.

Este material tem como objetivo oferecer uma sequência didática para ensino de Física, com ênfase em Física Experimental, reunindo duas atividades, uma qualitativa e outra quantitativa, que abordam o tema de carga e descarga de capacitores, com materiais acessíveis e de baixo custo.

Este caderno contém dois planos de aula distintos e complementares, com atividades experimentais e remotas, que visam proporcionar aos estudantes o contato com o tema de capacitores, por meio do uso de hiperlinks e experimentos de abordagem qualitativa e quantitativa.

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

Esperamos que estes produtos sejam úteis aos colegas professores e disponibilizamos mais informações no endereço eletrônico:
<https://prophysmat.wixsite.com/lab-remoto>

Viçosa, junho de 2025,

Matheus Lobato de Castro Oliveira

APÊNDICE 1 – PRODUTO EDUCACIONAL

A.1 ASPECTOS GERAIS INTRODUTÓRIOS

A.1.1 - A hipermídia e sua construção:

Uma aula em hipermídia combina diferentes tipos de mídias, como texto, imagens, áudio, vídeo e animações, para apresentar informações em um único sistema informatizado e interativo que permite a escrita/leitura não-linear, não hierarquizada. O objetivo é tornar a aprendizagem mais dinâmica, interativa e envolvente, adaptando-se ao perfil dos estudantes modernos

A hipermídia não segue um fluxo linear de informações, permitindo que o usuário explore diferentes caminhos de acordo com seus interesses e objetivos de aprendizagem.

A hipermídia pode ser utilizada para criar materiais de ensino interativos, como simuladores, experimentos virtuais, jogos educativos e ambientes de aprendizagem online.

Uma hipermídia pode ser construída usando o software PADLET, baseado em nuvem, hospedando uma plataforma web colaborativa em tempo real na qual os usuários podem carregar, organizar e compartilhar conteúdo em quadros de avisos virtuais chamados "padlets", ou a plataforma online WIX, de criação e edição de sites, que permite aos usuários criar sites em HTML5 e sites Mobile sem necessidade de conhecimento de conhecimento prévio em programação ou design.

A.1.2 - Conhecimentos prévios

Para Ausubel (apud Moreira, 2022) “o fator isolado que mais influencia a aprendizagem significativa é aquilo que o aluno já sabe”. Ou seja, novos conceitos podem ser significativamente aprendidos, e assimilados, caso o aprendiz disponha, em sua estrutura cognitiva, de conceitos relevantes e abrangentes, perfeitamente delineados, que sirvam como ponto de ancoragem para os novos conceitos.

Assim sendo, para que os alunos possam compreender e assimilar os conceitos de carga e descarga de capacitores é importante que detenham os conceitos listados a seguir:

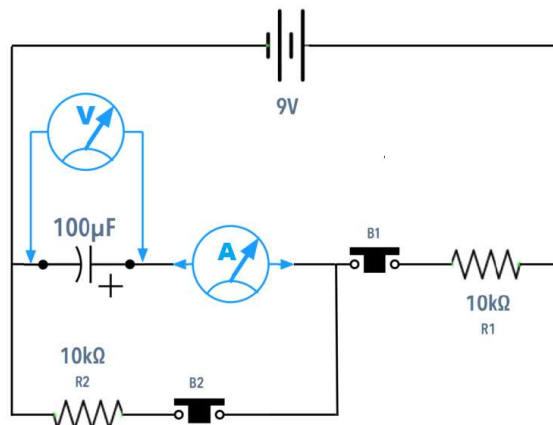
- Energia potencial elétrica;
- Potência elétrica;
- Resistividade e resistência;
- Capacitância;
- Capacitores;
- Unidades de medidas de resistência e capacitância.

A.1.3 - O circuito de carga e descarga

Um capacitor acumula carga quase instantaneamente quando é ligado diretamente a uma fonte de tensão contínua como uma bateria. A descarga pode ser efetuada curto-circuitando os terminais do capacitor e é também praticamente imediata.

O circuito da figura 1 permite investigar a carga e a descarga de capacitores. A carga é efetuada quando o interruptor B1 é acionado e a descarga, quando o interruptor B2 é acionado. Para limitar o tempo de carga ou descarga usa-se um resistor ligado em série ao capacitor. O voltímetro permite medir a ddp entre os terminais do capacitor e o amperímetro da corrente que circula pelo resistor, na carga e na descarga.

Figura 1 – Circuito RC de carga e descarga do capacitor.



Fonte: IFSC (<https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/Arquivo:Cargadescap1.png>).

A aplicação das leis de Kirchhoff para os circuitos de carga e descarga resulta em equações diferenciais de primeira ordem. Considere o circuito de carga, chave B1 fechada e B2 aberta. Aplicando a Lei da Malhas de Kirchhoff, temos

$$V_0 - R \cdot i - \frac{q}{C} \quad \text{Eq.1}$$

$$i = \frac{dq}{dt},$$

Mas, , logo conclui-se que

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = V \quad \text{Eq.2}$$

Resolvendo a equação 2, temos

$$q = CV_0 \left(1 - \right) \quad \text{Eq. 3}$$

Consequentemente,

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{Eq.4}$$

$$V_C = \frac{q}{C} = V_0 \left(1 - \right) \quad \text{Eq.5}$$

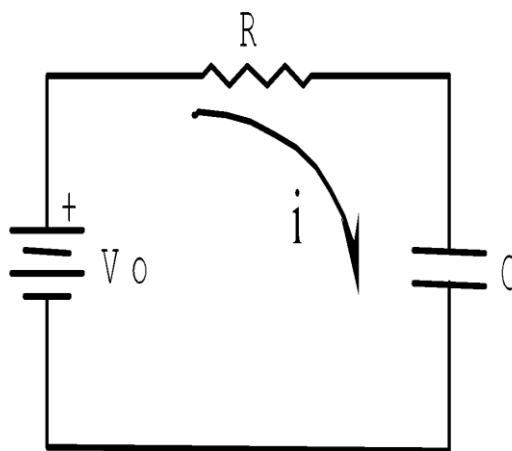
$$V_R = iR = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{Eq.6}$$

O valor do resistor multiplicado pelo valor da capacitância corresponde ao intervalo de tempo, em segundos, que leva para um capacitor totalmente descarregado atingir 63% de sua carga.

O produto RC que aparece nas equações tem dimensão de tempo (porque o expoente naquelas equações deve ser adimensional). RC é chamado de constante

de tempo capacitiva do circuito, representada pelo símbolo τ , e corresponde ao intervalo de tempo, em segundos, que leva para um capacitor totalmente descarregado atingir 63% de sua carga. Considera-se que para cinco vezes esse intervalo tempo, a carga total do capacitor tenha sido alcançada.

Figura 2 – Circuito RC de carga do capacitor.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Considere agora chave B1 aberta e B2 fechada, estando inicialmente o capacitor completamente carregado sob a diferença de potencial da fonte. Analisando o circuito temos

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad \text{Eq.7}$$

A solução da equação 7 é

$$q = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{Eq.8}$$

Logo a tensão sobre o capacitor será

$$V_C = \frac{q}{C} = V_0 e^{-t/\tau} \quad \text{Eq.9}$$

A corrente durante a descarga vale

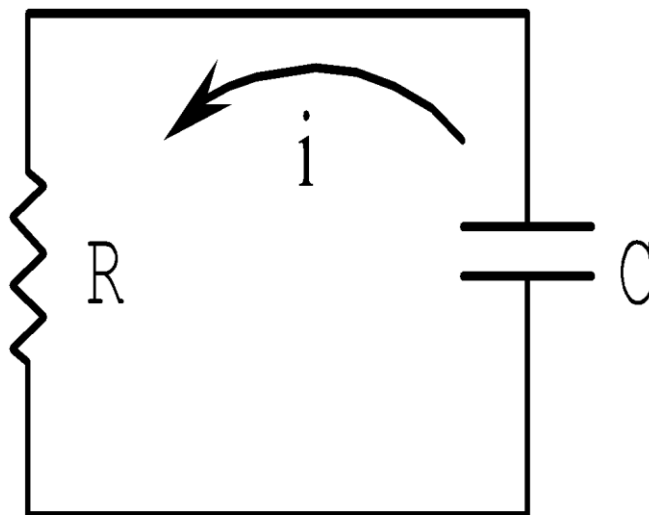
$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{V_0}{R} e^{-t/\tau} \quad \text{Eq.10}$$

Assim, a tensão sobre o resistor será

$$V_R = -V_0 e^{-t/\tau} \quad \text{Eq.11}$$

O sinal negativo mostra que a corrente de descarga tem o sentido oposto ao da corrente de carga, como era de se esperar. A constante de tempo capacitiva RC governa o processo de descarga bem como o processo de carga. No instante $\tau=RC$ a carga do capacitor é aproximadamente 37% de sua carga inicial.

Figura 3 – Circuito RC de descarga do capacitor.



Fonte: Autoria própria.

A.2 - PLANO DE AULA A: MONTAGEM DE UM CAPACITOR DE PLACAS

Tempo estimado - 45 minutos

A.2.1 - Objetivo da aula:

- Compreender o princípio de funcionamento de um capacitor
- Construir um capacitor de placas planas.

A.2.2 - Conhecimentos prévios:

- Carga elétrica
- Campo Elétrico
- Potencial Elétrico
- Energia Potencial Elétrica
- Corrente Elétrica
- Lei de Ohm

A.2.3 - Materiais:

- 2 folhas de papel alumínio;
- 1 folha de papel seda;
- 1 raquete de matar mosquitos;
- fita isolante;
- 2 fios com conectores jacaré;

A.2.4 - Momentos da Aula

- Montagem de um capacitor de placas planas (15 minutos).

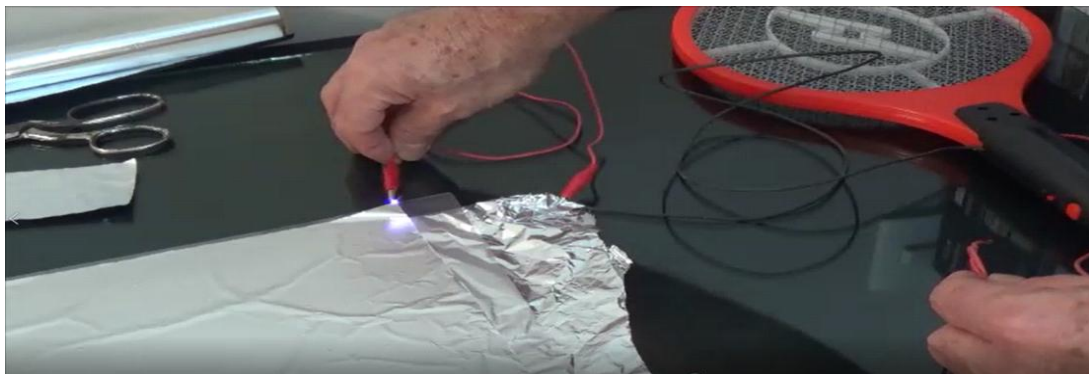
Figura 4 – Vista da montagem do capacitor de placas planas, duas folhas de alumínio separadas por uma folha de plástico. A raquete de matar mosquitos é usada como fonte de alta tensão para energizar o capacitor.



Fonte: Autoria própria (disponível em [Experimento - Capacitor de Placas Planas](#)).

- Disponha as folhas de papel alumínio com a folha de papel seda separando-as;
- Utilizando um conector jacaré, conecte uma das folhas de papel alumínio à qualquer uma tela externa da raquete.
- Utilizando o outro conector jacaré, conecte a outra folha de papel alumínio a tela metálica interna da raquete.
- Uma vez garantida que não há contato elétrico direto entre as duas folhas de papel alumínio, acione a raquete de forma a energizar as telas metálicas.

Figura 5 – Vista do capacitor descarregando, produzindo uma faísca elétrica entre contatos que estabelecem um curto-circuito entre os condutores



Fonte: Autoria própria.

A.2.5 - Discussões:

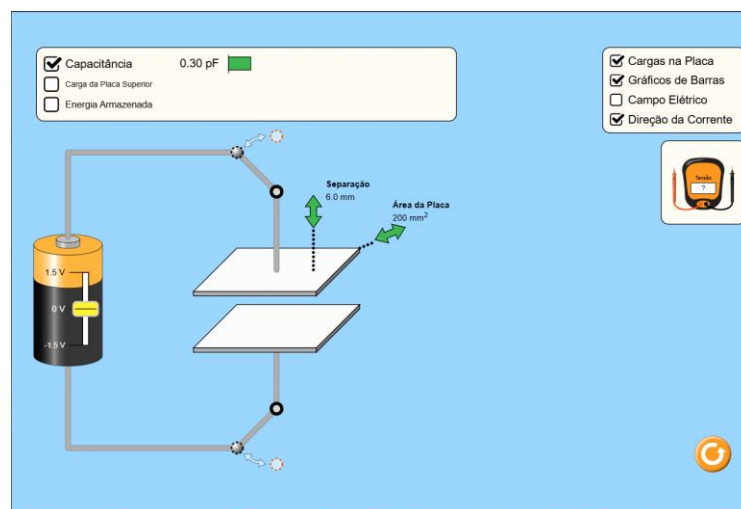
Ao acionar a raquete, as placas serão carregadas com cargas de naturezas opostas, devido a isto, haverá um comportamento atrativo entre as folhas de papel alumínio. Neste momento os estudantes poderão ser questionados a respeito deste comportamento.

Como as placas estão expostas ao ar, quando a raquete não está ligada, o comportamento atrativo entre as placas desaparece. Tal comportamento está relacionado às interferências do meio no qual as placas estão imersas. Neste momento pode ser trabalhado com os estudantes a necessidade de um meio isolante que projeta as placas de serem descarregadas.

A.2.6 - Sugestões de atividades simultâneas:

Acesse a simulação sobre Capacitores na plataforma Phet Colorado e ([Capacitor HYPERLINK "https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt BR"Lab HYPERLINK "https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt BR": HYPERLINK "https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt BR"Basics](https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR)). Nesta simulação, é possível mostrar de forma esquemática o arranjo de placas condutoras separadas por um meio isolante.

Figura 6 – Imagem da página web da simulação “Laboratório de Capacitor: Básico” do repositório de simulação PhET – Interactive Simulations da Universidade do Colorado – USA.

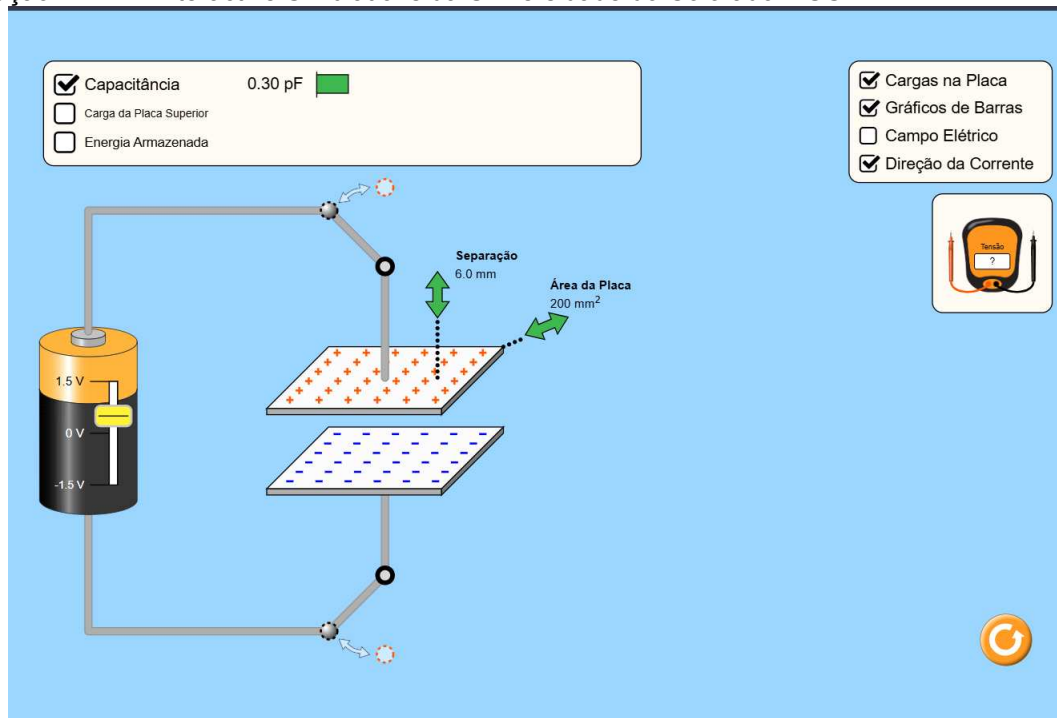


Fonte: ([Capacitor HYPERLINK "https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt BR"Lab HYPERLINK](https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR)

["https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR"](https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR): HYPERLINK ["https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR"](https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR)Basics).

Utilizando a fonte representada (pilha), é possível submeter as placas a uma diferença de potencial elétrico, que causará o acúmulo de cargas de naturezas distintas em cada placa, conforme a imagem abaixo.

Figura 7 – Imagem da página web da simulação “Laboratório de Capacitor: Básico” do repositório de simulação PhET – Interactive Simulations da Universidade do Colorado – USA.



Fonte: (Capacitor HYPERLINK ["https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR"](https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR)Lab HYPERLINK ["https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR"](https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR): HYPERLINK ["https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR"](https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_all.html?locale=pt_BR)Basics).

A.3 - PLANO DE AULA B – CARGA E DESCARGA DE CAPACITORES

Tempo estimado - 45 minutos

A.3.1 - Objetivo da aula:

- Compreender o conceito de capacitância;
- Construir um circuito RC simples;

- Avaliar o tempo de carga e descarga de diferentes capacitores.

A.3.2 - Conhecimentos prévios:

- Carga elétrica;
- Campo Elétrico;
- Potencial Elétrico;
- Energia Potencial Elétrica;
- Corrente Elétrica;
- Lei de Ohm.

A.3.3 - Materiais:

- Uma placa de prototipagem (protoboard);
- Bateria 9V DC;
- Conector para baterias 9V;
- Fios jumper;
- Capacitor eletrolítico de 100 microF;
- Resistor linear 82 kohm (Cinza-Vermelho-Laranja-Dourado);
- 2 Multímetros com conectores jacaré;
- Pinos jumpers para protoboard;
- 2 chaves seletoras;
- Dispositivo celular com câmera para filmagens;
- Computador.

A.3.4 - Momentos da aula:

Utilizando o circuito RC construído no Apêndice I deste caderno, disponha os multímetros de forma se seja possível gravar com um celular ambos e a chave de acionamento das malhas.

Posicione a chave seletora do multímetro em paralelo com o capacitor na posição voltímetro, com uma escala de volt. Já no multímetro ligado em série com o

capacitor, posicione a chave de seleção na posição amperímetro, com escala de medida em miliamperes (mA).

Com a chave de descarga aberta e o celular já filmando, acione a chave de carregamento para que a malha de carga do capacitor seja submetida a diferença de potencial da fonte e passe a ser carregado.

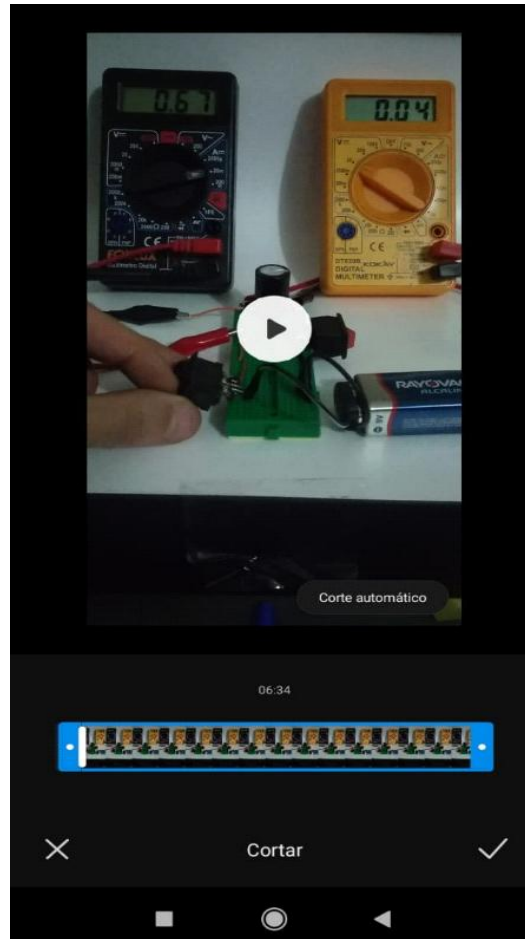
Uma vez que o potencial registrado no voltímetro não apresente mais alterações consideráveis, abra a chave de carregamento do capacitor e interrompa a gravação do vídeo, veja figura 7.

Com o capacitor inicialmente carregado e a chave de carregamento aberta, inicie a gravação dos voltímetros com o celular e acione a chave de descarga do capacitor.

Uma vez que o potencial registrado no voltímetro atingir um valor muito próximo de zero volts ($\pm 0,01V$), interrompa a gravação do vídeo e abra a chave de descarga do capacitor.

Ainda no dispositivo celular, utilizando o editor de vídeo nativo, recorte o início do vídeo, de forma que o mesmo inicie no momento em que as chaves são acionadas. Para facilitar a identificação do instante em que as chaves são acionadas, pode ser utilizado os valores do amperímetro e voltímetro, ou seja, a partir do momento em que os aparelhos indicarem valores não nulos de corrente e tensão respectivamente.

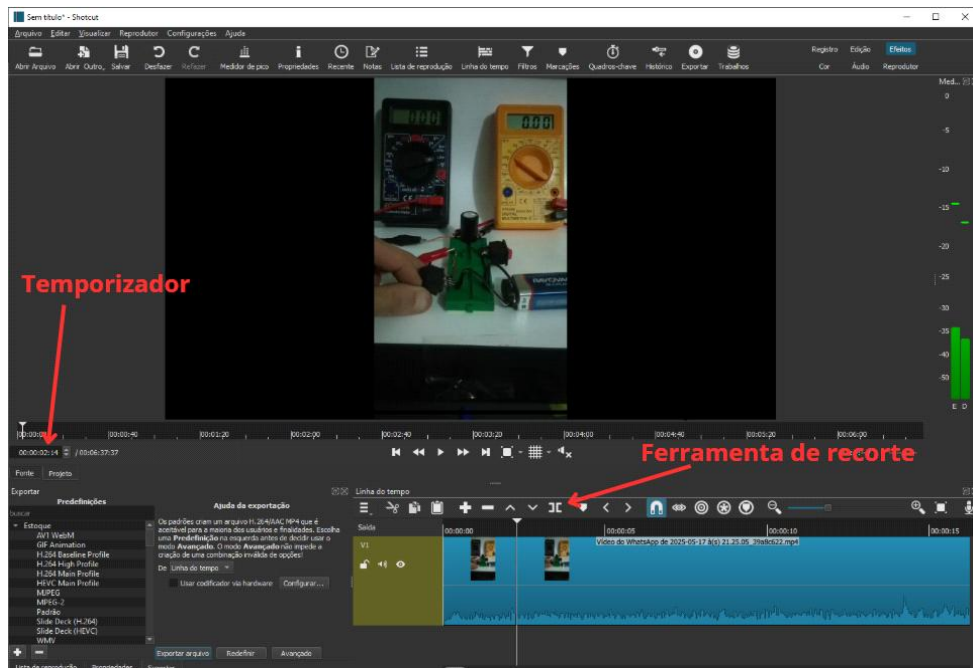
Figura 7 – Vista do filme obtido com o celular.



Fonte: (Autoria própria).

Esta tarefa pode ser mais facilmente executada em um editor de vídeos em um computador, uma vez que o mesmo possui ferramentas de seleção de frames mais precisas. A imagem abaixo, figura 8, ilustra como realizar este corte com o editor gratuito ShotCut (disponível em <https://www.shotcut.org/download/>).

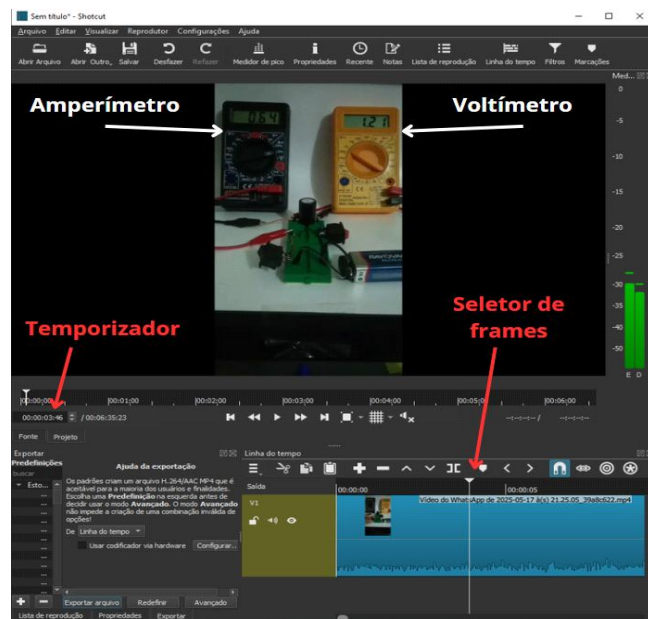
Figura 8 – Ilustração do procedimento de corte do filme com o editor gratuito ShotCut.



Fonte: (Autoria própria).

Uma vez com o vídeo recortado, avance ao longo do vídeo, frame a frame, anotando os valores de tempo, tensão e corrente elétrica, conforme indicado na figura 9.

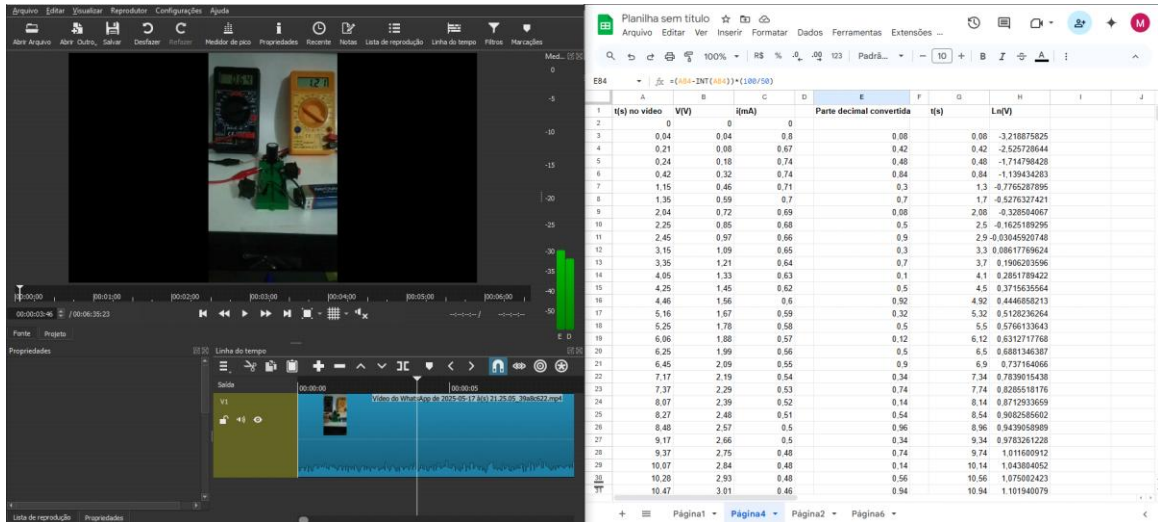
Figura 9 – Procedimento de avanço ao longo do vídeo, frame a frame.



Fonte: (Autoria própria).

Para que os dados sejam manipulados de uma forma simples, é aconselhado fazer uso de alguma ferramenta de edição e construção de planilhas, como por exemplo o Google Planilhas, como pode ser visto na figura a seguir.

Figura 10 – Dados extraídos do vídeo inseridos em uma planilha Google.

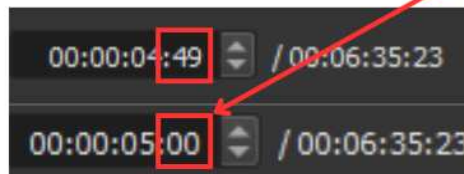


Fonte: (Autoria própria).

Uma vez recolhidos todos os valores de tensão, corrente e instantes de tempo, é necessário realizar conversões nos valores de tempo e corrente, figura 11. Para tal, é necessário fazer a conferência da taxa de captura da câmera utilizada. Esta conferência pode ser feita no próprio programa de edição ou player de vídeo, bastando conferir qual é o maior valor que aparece na contagem de frames quando é contabilizado +1 segundo para o vídeo.

Figura 11 – Procedimento de conversão de valores dos dados temporais.

Horas : Minutos : Segundos : Frames



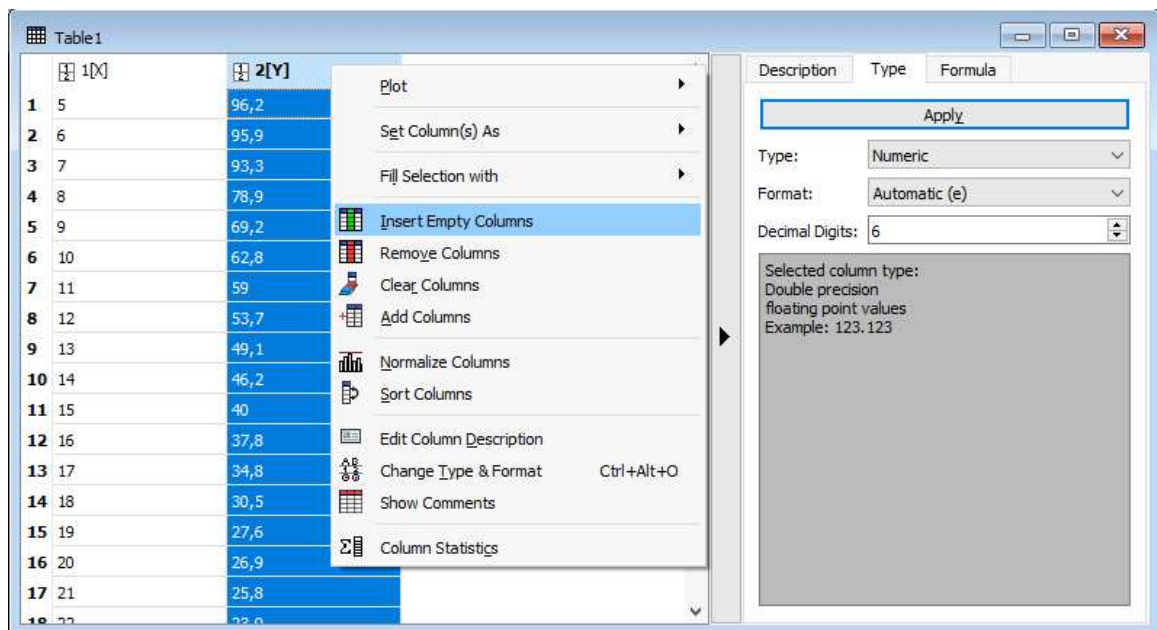
Fonte: (Autoria própria).

Uma vez identificado a contagem de frames, o tempo pode ser convertido para centésimos de segundo multiplicando a parte decimal do instante de tempo por cem (100) dividido pelo número de frames de captura da câmera, em seguida basta adicionar este valor à parte inteira do instante de tempo.

Para deixar o processo automatizado, estamos disponibilizando para download uma tabela inteligente capaz de fazer as conversões de tempo e corrente elétrica com base na contagem de frames e na escala adotada no amperímetro, disponível em [Tabela de Conversão](#).

Uma vez que os dados foram tratados, abra no computador o Software editor de gráficos SciDavis (disponível em <https://sourceforge.net/projects/scidavis/>). Insira na coluna 1[X] os valores de instante de tempo convertidos, na coluna 2[Y] insira os valores de corrente no capacitor, figura 12. Para inserir mais uma coluna, clique com o botão direito sobre a cabeçalho da coluna 2[Y] e clique em “Insert Empty Columns” para adicionar uma terceira coluna.

Figura 12 – Uso do software livre SciDavis para análise dos dados.



Fonte: (Autoria própria).

Por último insira os valores de tensão no capacitor na coluna 3[Y] conforme a figura 13.

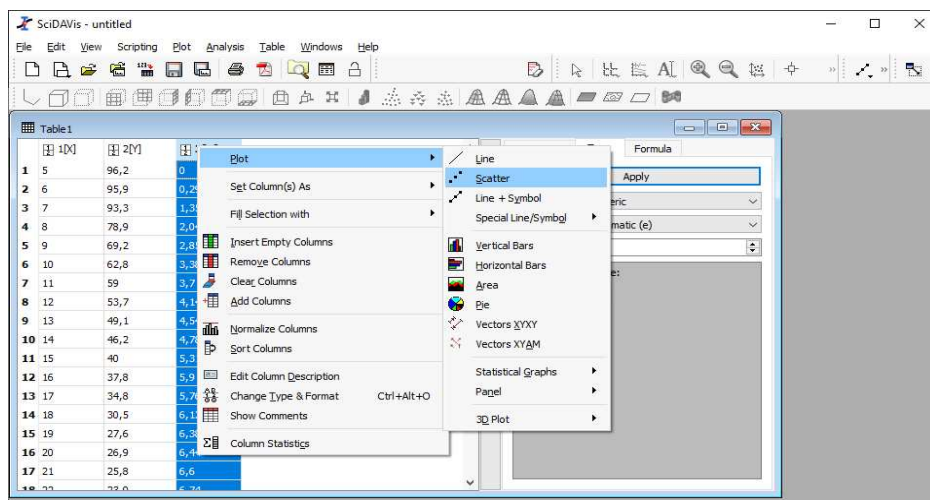
Figura 13 – Tabela de dados no SciDavis.

	1[X]	2[Y]	3[Y]
1	5	96,2	0
2	6	95,9	0,29
3	7	93,3	1,35
4	8	78,9	2,04
5	9	69,2	2,85
6	10	62,8	3,38
7	11	59	3,7
8	12	53,7	4,14
9	13	49,1	4,54
10	14	46,2	4,78
11	15	40	5,31
12	16	37,8	5,9
13	17	34,8	5,76
14	18	30,5	6,12
15	19	27,6	6,38
16	20	26,9	6,44

Fonte: (Autoria própria)

Uma vez que os dados estiverem devidamente inseridos no SciDavis, clique com o botão direito sobre o cabeçalho da coluna 3[Y] e selecione a opção “Plot”, em seguida clique em “Scatter” para criar o gráfico com os pontos experimentais, conforme a figura 14.

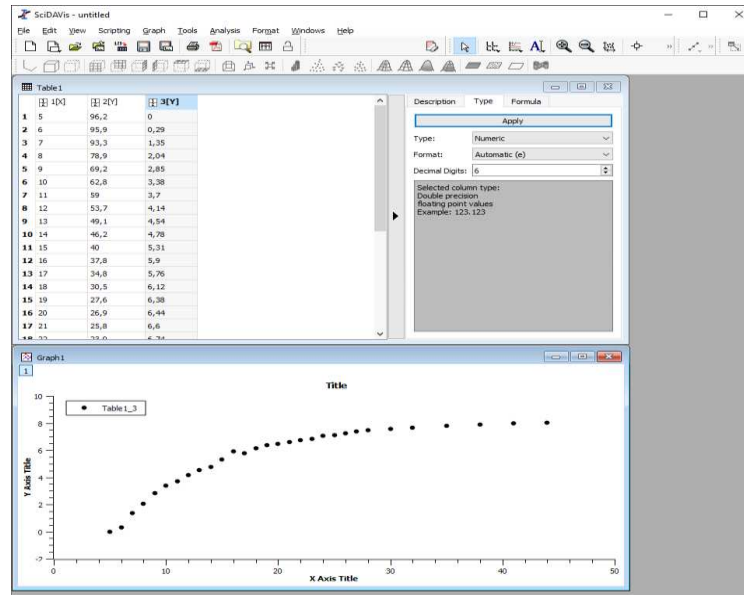
Figura 14 – Passos para análise de dados no SciDavis.



Fonte: (Autoria própria)

Após esta ação o gráfico será plotado no ambiente do programa, conforme pode ser visto na figura 15.

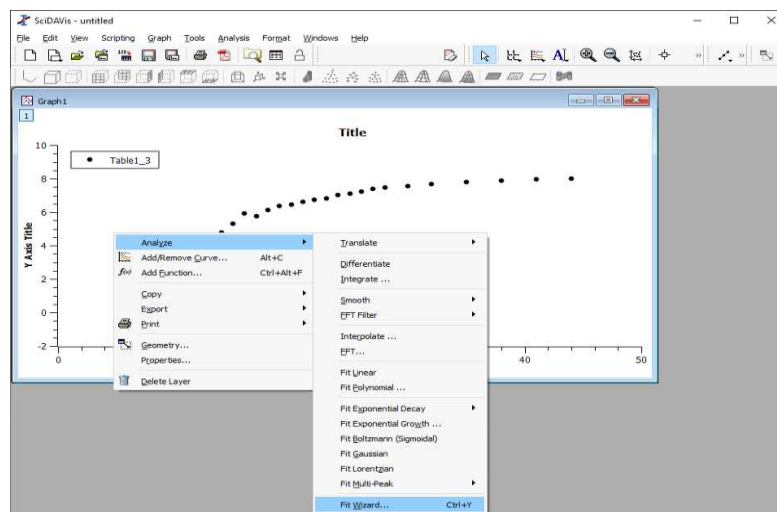
Figura 15 – Tabela de dados e correspondente gráfico exibidos pelo SciDAvis



Fonte: (Autoria própria)

Clique com o botão direito do mouse sobre o gráfico, em seguida selecione a opção “Analyze”, e após isto, selecione a opção “Fit Wizard...”, conforme figura 16.

Figura 16 – Passos para gerar a curva de ajuste usando o SciDAvis.

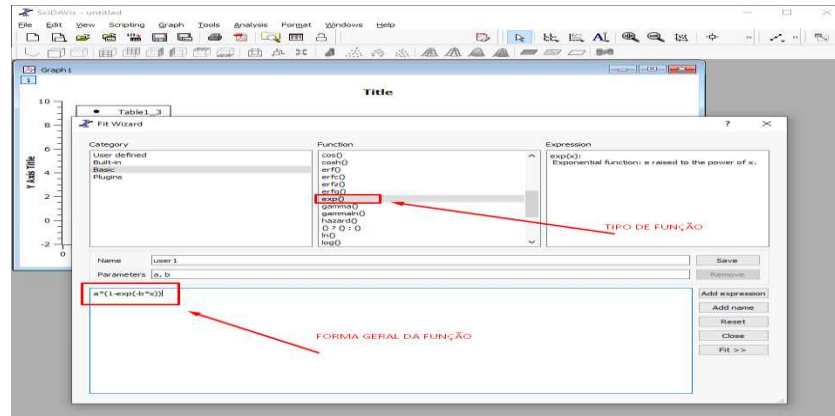


Fonte: (Autoria própria)

Na janela que se abre, selecione a opção “Basic”, em seguida no quadro ao lado, selecione a opção “exp()”. Após selecionada a forma da função, no quadro de

texto no canto inferior da mesma janela, escreva a forma na função da seguinte maneira $a \cdot (\exp(-b \cdot x))$, conforme pode ser visto na figura 17.

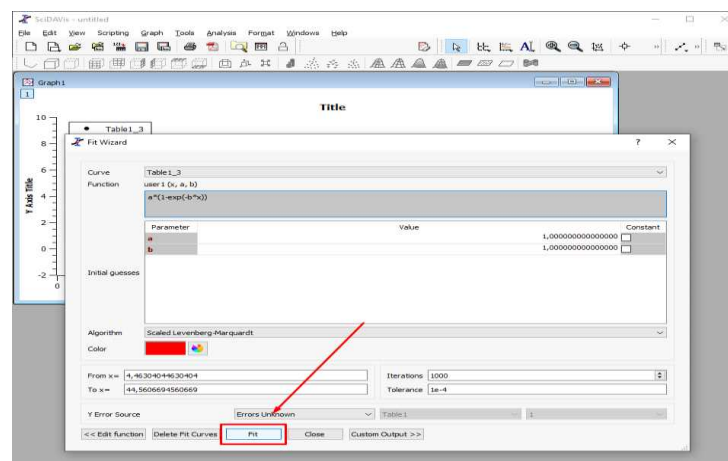
Figura 17 – Passos para efetuar ajuste dos dados experimentais.



Fonte: (Autoria própria)

Após realizado o preenchimento e configuração do tipo de regressão a ser aplicado aos valores do gráfico, clique na opção “Fit >>”, no canto inferior direito da janela. Em seguida, na nova janela aberta, clique em “Fit”, como pode ser visto na figura 18.

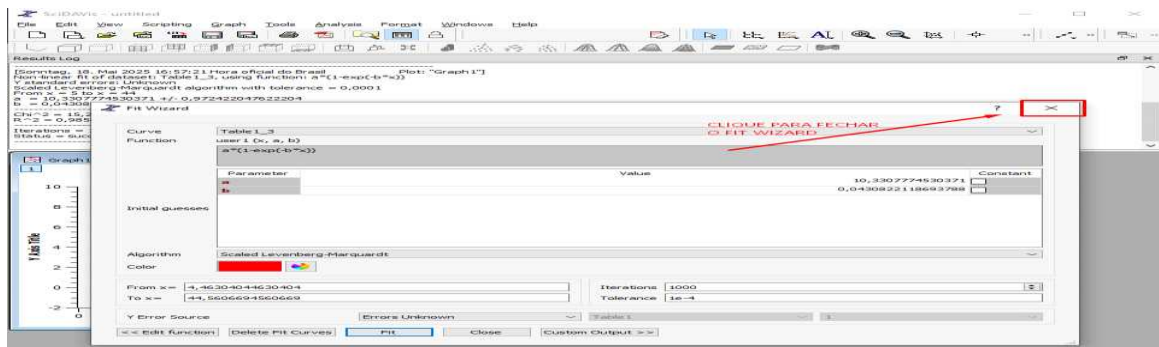
Figura 18 – Passos para efetuar ajuste dos dados experimentais.



Fonte: (Autoria própria).

Uma vez executado este passo, surgirá uma nova janela no ambiente contendo os coeficientes do método de regressão aplicado. Feche a janela “Fit Wizard” clicando no X contido no canto superior direito, conforme indica a figura 19.

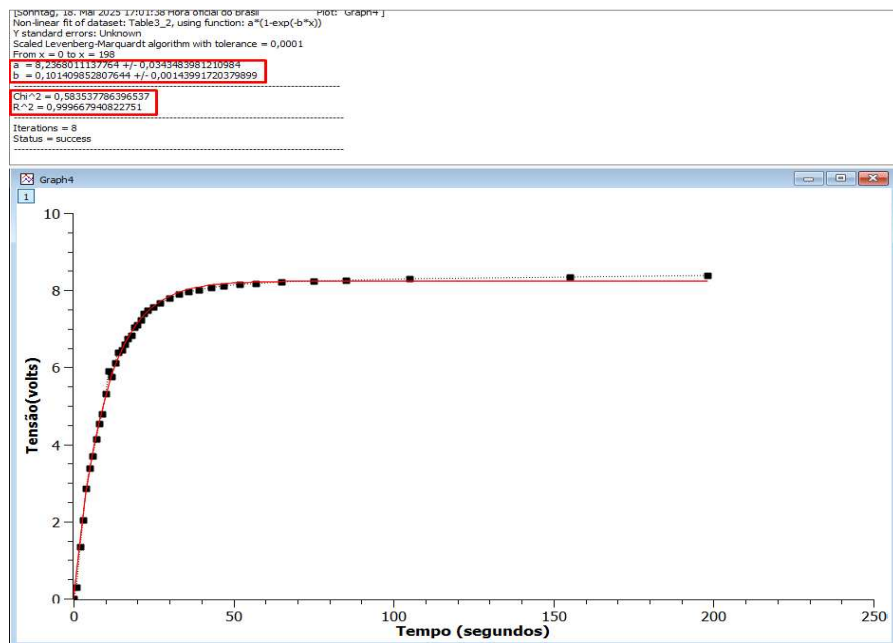
Figura 19 – Passos para efetuar ajuste dos dados experimentais.



Fonte: Autoria própria).

Uma vez aplicado o método de regressão, é possível coletar os valores dos coeficientes a e b na nova janela aberta, conforme pode ser visto na figura 20.

Figura 20 – Gráficos e dos dados experimentais e do ajuste. Ao alto, dados do ajuste.



Fonte: (Autoria própria).

Utilizando um multímetro na função Ohmímetro, realize a medição da resistência elétrica do resistor utilizado. Note que por mais que o esquema de cores indica um valor nominal de resistência elétrica, existe uma tolerância.

De posse dos valores dos coeficientes, comparando a forma geral da função prevista por meio da dedução teórica, espera-se que os dados formem algo na forma:

$$y = a.(1 - e^{-b.x})$$

Com a expressão teórica de carga do capacitor $V(t) = V_0.(1 - e^{-t/RC})$.
Comparando-as é possível notar que:

$$a = V_0 \quad \text{e} \quad b = \frac{1}{RC}$$

Desta forma, como neste exemplo foi utilizado um capacitor de 100 microC e um resistor de 84K ohms, espera-se que o coeficiente b possua um valor de:

$$b = \frac{1}{(84k\Omega)(100\mu C)} = 0,1190$$

Conforme foi verificado no SciDavis, o coeficiente b possui um valor de 0,1014. Desta forma assumindo C como o valor da capacitância, podemos estimar que:

$$b = \frac{1}{RC} \rightarrow C = \frac{1}{Rb} = \frac{1}{(84k\Omega)(0,1014)} = 1,174 \times 10^{-4} \approx 117 \mu C$$

Portanto, por meio dos dados experimentais coletados e com base na informação que o circuito possui um resistor de 84kohm, somos capazes de estimar que o circuito contém um capacitor de 117 microcoulombs, valor este muito próximo da capacitância nominal do componente.

Para determinar o erro percentual no valor medido com base no valor esperado, efetue o seguinte cálculo:

$$E_{\%} = \left| \frac{\text{Valor esperado} - \text{Valor medido}}{\text{Valor esperado}} \right| \times 100\%$$

Realizando este cálculo chegamos ao valor de 17%, um valor de erro consideravelmente baixo quando considerada as condições nas quais o experimento foi executado.

Realize a coleta de dados e conversão dos valores de tempo para o processo de descarga do capacitor. Entretanto utilize com forma da função a seguinte expressão:

$$y = a * \exp(- b * x)$$

Uma vez que a predição teórica nos indica que $V(t) = V_0 \cdot e^{-t/RC}$.

A.3.5 - Montagem do Circuito RC simples na Protoboard

Aqui você irá encontrar passo a passo como realizar a montagem de um circuito RC simples em uma protoboard, utilizando chaves para alternar entre malhas de carga e descarga do capacitor associado em série a um resistor linear.

Materiais:

- Uma placa de prototipagem (protoboard);
- Bateria 9V DC;
- Conector para baterias 9V;
- Fios jumper;
- Capacitor eletrolítico de 100 microF;
- Resistor linear 10 k Ω ;
- 2 Multímetros com conectores jacaré;
- Pinos jumpers para protoboard;

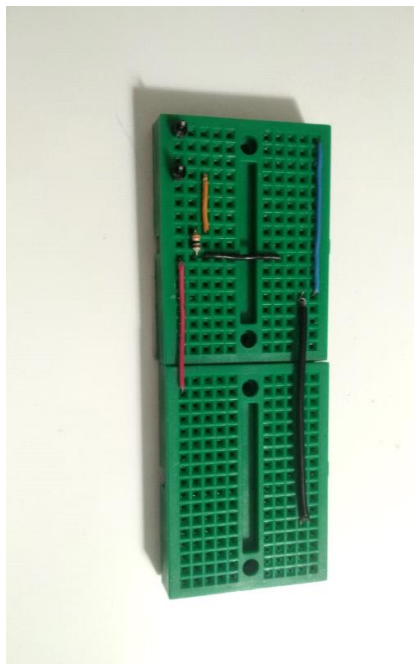
- 2 chaves seletoras.

A seguir, serão expostos as etapas, passo a passo, de construção do aparato experimental.

- De posse de uma placa de prototipagem (protoboard), realize as conexões indicadas na imagem abaixo utilizando fios e uma resistor de $10k\Omega$, respeitando as posições.

Para realizar as conexões, indica-se que faça uso de fios rígidos com ambas as extremidades desencapadas. Os fios rígidos podem ser substituídos por cabos de fiação comum com as extremidades estanhadas para torná-las rígidas, conforme exibido na figura 21.

Figura 21 – Passos para montagem do circuito na placa de prototipagem.

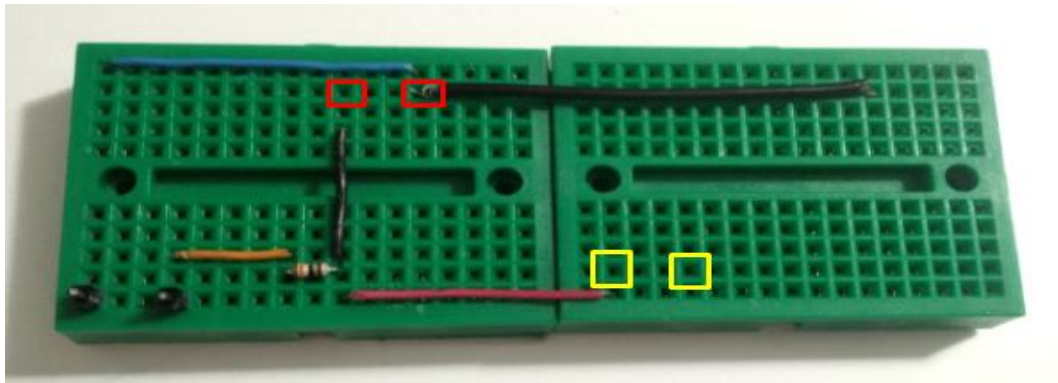


Fonte: (Autoria própria).

Note que no canto inferior esquerdo foram utilizados dois pinos jumpers para ligação do amperímetro. Este recurso pode ser substituído por fios jumpers comuns.

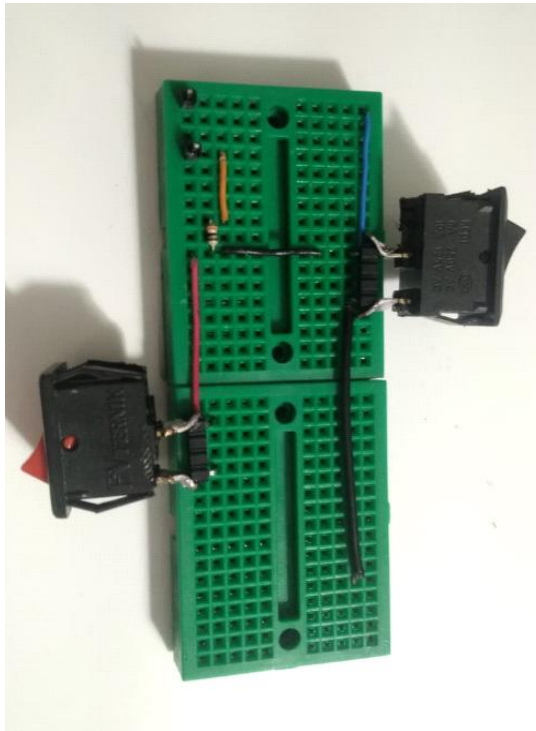
Conecte os terminais das chaves nos furos destacados em vermelho (chave para descarga) e nos furos destacados em amarelo (chave para carga), conforme indicado nas figuras 22 e 23.

Figura 22 – Passos para montagem do circuito na placa de prototipagem.



Fonte: (Autoria própria).

Figura 23 – Passos para montagem do circuito na placa de prototipagem.



Fonte: (Autoria própria).

Estes terminais de conexão podem ser feitos soldando pinos jumpers nos conectores das chaves, conforme pode ser visto na figura 24.

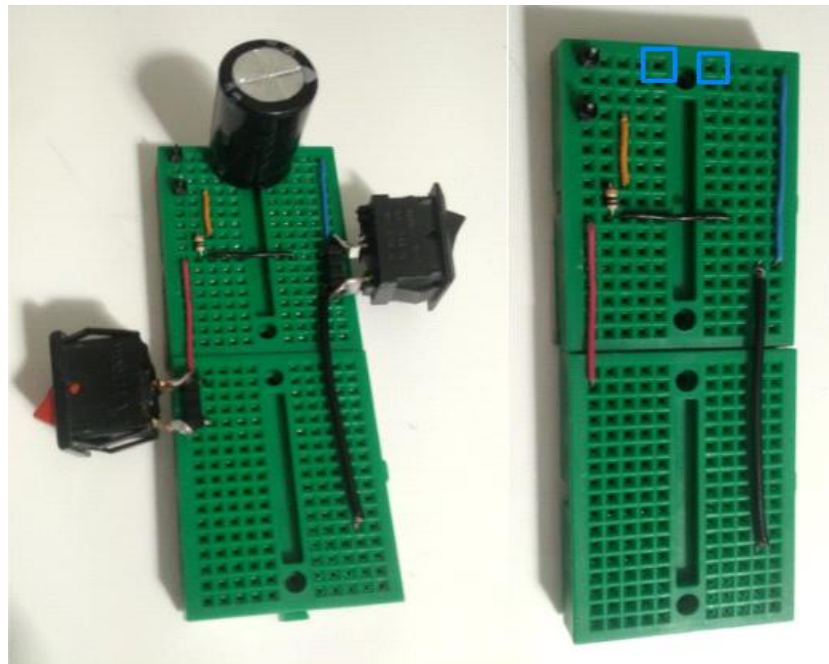
Figura 24 – Passos para montagem do circuito na placa de prototipagem.



Fonte: (Autoria própria).

- Conecte o capacitor eletrolítico de 2200 microfarads nos furos destacados em azul, de forma que o polo negativo esteja conectado ao fio azul, figura 25.

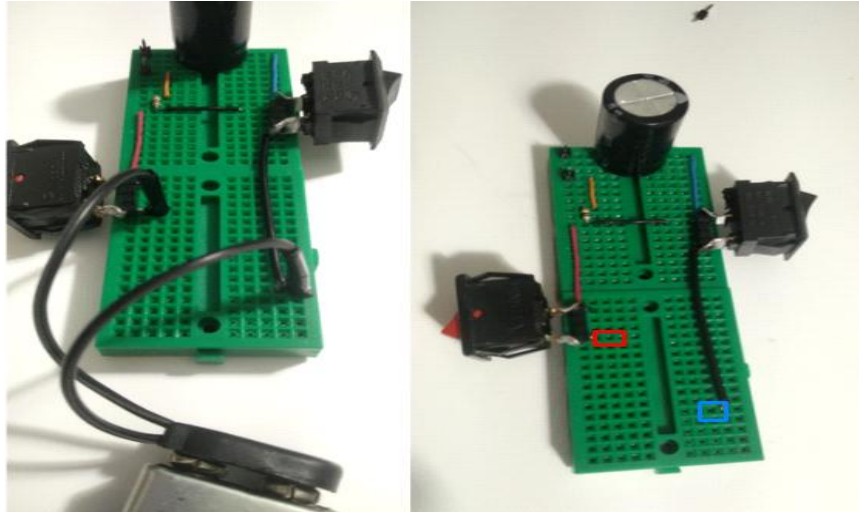
Figura 25 – Conexão do capacitor na placa de prototipagem.



Fonte: (Autoria própria).

- Conecte o polo positivo da bateria 9V ao furo destacado em vermelho na figura 26. De modo semelhante, conecte o terminal negativo da bateria ao furo destacado em azul.

Figura 26 – Conexão da bateria ao circuito na placa de prototipagem.

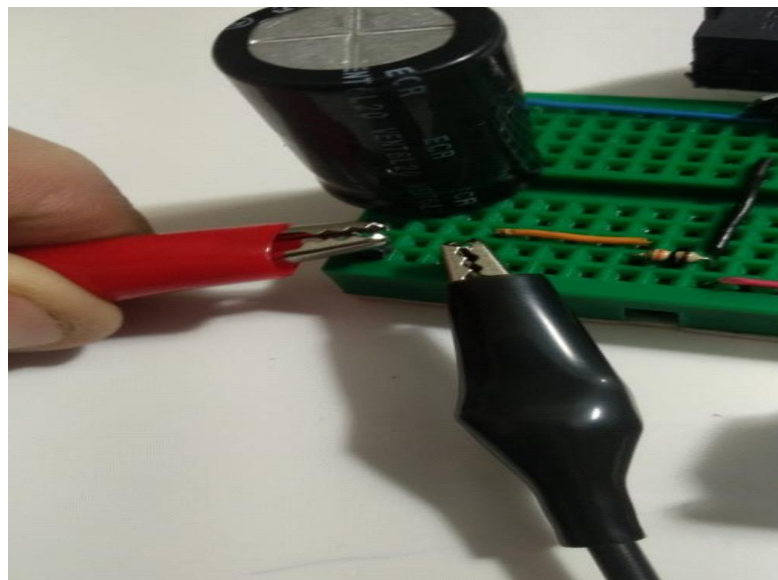


Fonte: (Autoria própria).

Note que o polo positivo está ligado diretamente à chave de carga (chave vermelha), enquanto o polo negativo está ligado diretamente ao terminal negativo do capacitor (fio azul).

- Conecte os terminais do amperímetro aos pinos jumper previamente dispostos na placa de prototipagem. Certifique-se que tal instrumento esteja em série com o resistor e o capacitor, conforme a figura 27.

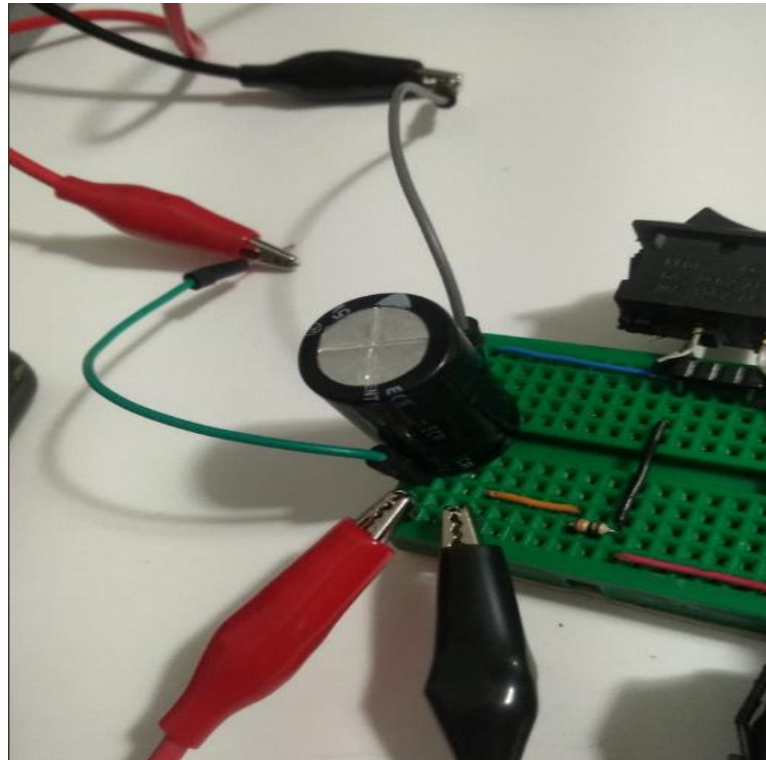
Figura 27 – Conexão do amperímetro.



Fonte: (Autoria própria).

- Conecte fios jumpers nos terminais do capacitor, e conecte a estes fios os terminais do voltímetro, conforme figura 28. Certifique-se que tal instrumento de medida esteja em paralelo com o componente.

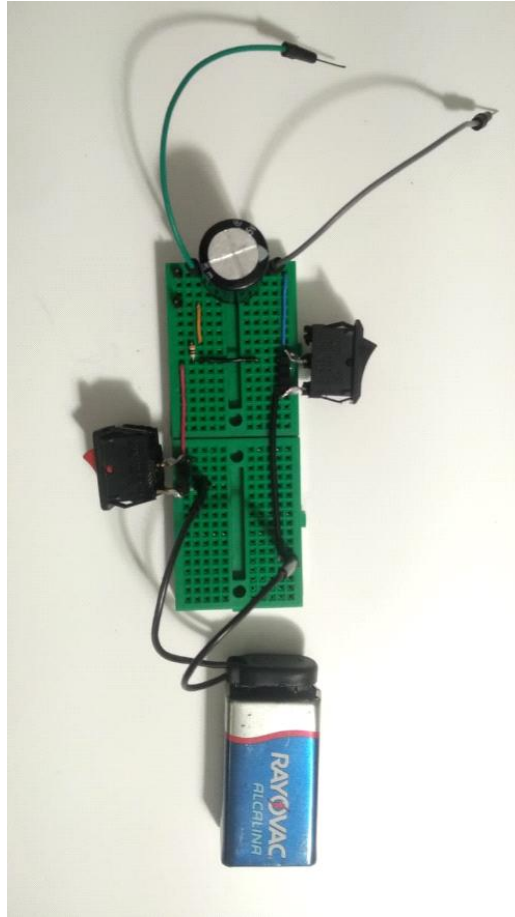
Figura 28 – Conexão do voltímetro.



Fonte: (Autoria própria).

- Uma vez executados todos os passos, o aparato (sem os multímetros) precisa estar disposto da forma como pode ser visto na figura 29.

Figura 29 – Imagem do circuito completo.



Fonte: (Autoria própria).

A.3.6 - Sugestões de atividades simultâneas:

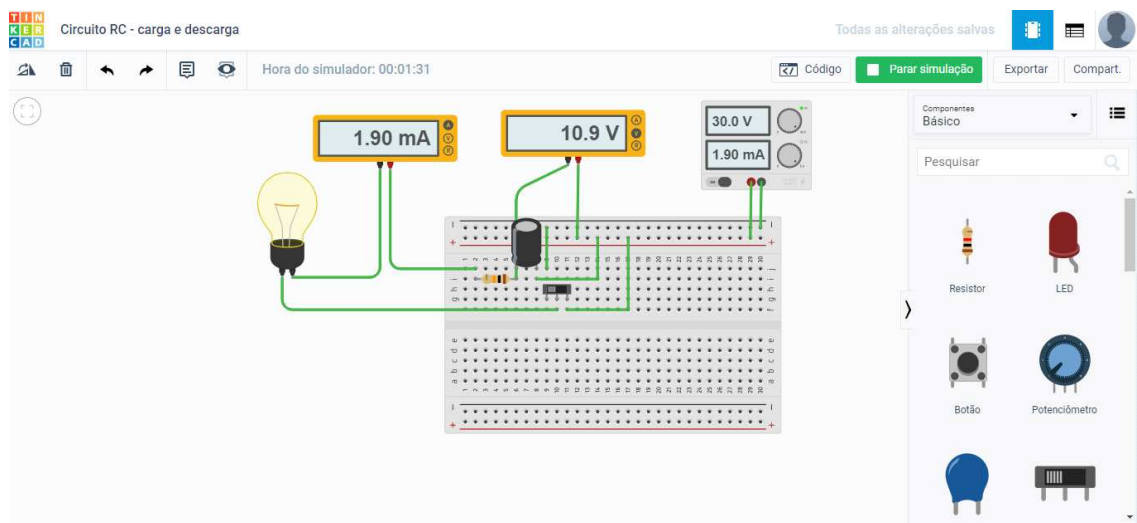
O Tinkercad é um aplicativo Web gratuito para projetos 3D, eletrônica e circuitos. ([Tinkercad](#)). Tal plataforma permite que circuitos eletrônicos sejam construídos e simulados.

Uma alternativa para a falta de materiais para aplicação da prática é solicitar que os estudantes reproduzam o circuito construído na plataforma, de forma a compreenderem a estrutura que constitui a malha do capacitor.

Na figura 30 é possível visualizar um circuito contendo uma malha de carga e uma malha de descarga de um capacitor associado a um resistor e uma lâmpada incandescente. Para que as tensões e correntes sejam medidas, são adicionados um voltímetro e um amperímetro ao circuito.

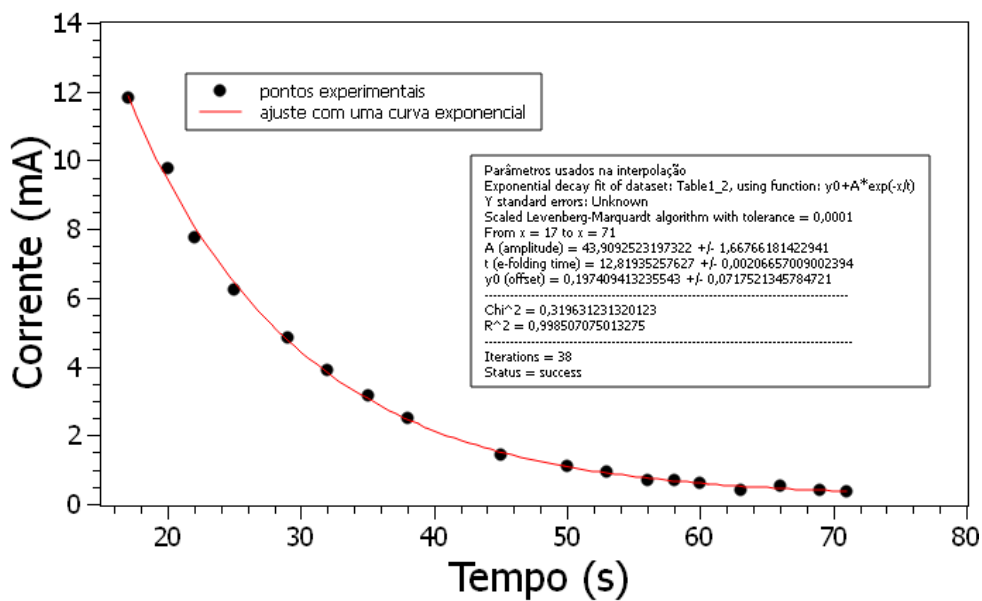
Para a realização da atividade, os estudantes podem realizar a captura da tela do computador, sendo possível assim coletar os valores de tensão e corrente em função do tempo do vídeo gravado, e partir destes dados construir o gráfico de carga e/ou descarga, para posteriormente determinar a capacitância do componente por meio do método de regressão exponencial, utilizado no software SciDavis, conforme foi apresentado na seção 3.4 deste apêndice.

Figura 30 – Imagem da tela do TINKERCAD com o circuito de carga e descarga montado.



Fonte: (Autoria própria).

Figura 31 – Gráfico ilustrando a corrente em função do tempo para dados obtidos de experimento simulado no TINKERCAD.



Fonte: (Autoria própria).

APÊNDICE B - Códigos de programação e circuitos do aparato IoT

B.1 - Código do Arduino Uno

O texto que se segue em itálico é o código utilizado no microcontrolador Arduino Uno.

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX = 2, TX = 3
void setup() {
  mySerial.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Iniciando Arduino UART...");
  //DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(8, INPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, HIGH);
}
void loop() {
  // Envia pro NodeMCU
  int tenbite1 = analogRead(A2);
  int tenbite2 = analogRead(A3);
  float tenmed1 = tenbite1*(5.0/1023);
  float tenmed2 = ((tenbite2-tenbite1)*(5.0/1023));
  mySerial.println(tenmed1);
  mySerial.println(tenmed2);
  Serial.print(tenmed1);

```

```

Serial.print(" / ");
Serial.println(tenmed2);
if (digitalRead(8) == HIGH){
  digitalWrite(13, HIGH);
} else {
  digitalWrite(13, LOW);
}
delay(250);
}

```

B.2 – Código do NodeMCU

O código que se segue (em itálico) foi utilizado no microcontrolador NodeMCU. Os dados de autenticação da rede e de acesso ao Blynk foram suprimidos por caracteres especiais.

```

#define BLYNK_PRINT Serial // DADOS DE CONEXÃO DO TERMINAL
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "aaaaaaaaaaaaaaaa"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "aaaaaaaaaaaaaaaa"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "aaaaaaaaaaaaaaaa"
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(14, 12); // RX = D5(GPIO14), TX = D6(GPIO12)
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
BlynkTimer timer;
char auth[] = "aaaaaaaaaaaaaaaa"; // TOKEN BLYNK
char ssid[] = "aaaaaaaaaaaaaaaa"; // NOME DA REDE WIFI
char pass[] = "aaaaaaaaaaaaaaaa"; // SENHA DE CONEXÃO COM A REDE
WIFI
void setup() {

```

```
Serial.begin(9600);    // para depuração via USB
mySerial.begin(9600);  // porta software
Serial.println("NodeMCU pronto!");
Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
timer.setInterval(100L, checkSerial);
pinMode (2, OUTPUT);
}
void loop() {
  Blynk.run();
  checkSerial();
  // timer.run();
  // delay(100);
}
```

```

void checkSerial() {
  if (mySerial.available()) {
    String str1 = mySerial.readStringUntil('\n');
    float tenmed1 = str1.toFloat();
    String str2 = mySerial.readStringUntil('\n');
    float tenmed2 = str2.toFloat();
    Serial.print("V1: ");
    Serial.print(tenmed1);
    Serial.print("/ V2: ");
    Serial.println(tenmed2);
    Blynk.virtualWrite(V1, tenmed1);
    Blynk.virtualWrite(V2, tenmed2);
  }
}

BLYNK_WRITE(V10){
  int comando = param.asInt();
  if (comando == 1){
    digitalWrite(2, HIGH);
  }
}

```

B.2.1 - Montagem e Configuração do Aparato Experimental.

O aparato experimental proposto tem como premissa permitir o controle de duas malhas de um circuito que possibilite a carga e descarga de um capacitor eletrolítico. Sua tensão é medida por um módulo voltímetro VCC responsável pelas leituras de tensão do capacitor. Simultaneamente estes dados são enviados pelo microcontrolador NodeMCU para a plataforma Blynk IoT, utilizando uma conexão WiFi com a internet.

Para carga e descarga do ramo do capacitor, optou-se por utilizar um módulo relé compatível com a saída de tensão dos terminais digitais do Arduino Uno. Para acionar remotamente, um sinal digital do NodeMCU comunica com o Arduino os

comandos obtidos da plataforma IoT, permitindo acionar os relés, e assim alterar o capacitor entre a malha de carregamento ou descarregamento.

As etapas confecção e configurações do aparato experimental se dividirá nas seguintes etapas:

- Construção do circuito
- Instalação de drivers e IDE arduino
- Programação dos microcontroladores
- Configuração Blynk IoT

B.3 - Materiais

Neste anexo você encontrará a relação de todos os materiais utilizados para se construir um aparato experimental conectivo capaz de medir a tensão num processo de carga e descarga de capacitores. Para tal tarefa serão necessários dois microcontroladores, um para controle e medição, e outro para comunicação com a internet, além do módulo relé para acionamento das malhas.

Para construção do segundo protótipo, foram utilizados os seguintes materiais.

- Microcontrolador Arduino Uno
- Microcontrolador NodeMCU
- 2 placas de prototipagem (protoboard) de 200 furos.
- Cabo USB Tipo-A para Tipo-B
- Cabo USB Tipo-A para Micro USB-B
- Chave interruptora
- 3 resistores de 1Kohm
- 1 resistor de 10Kohm
- 2 capacitores de 2200 microF
- 11 fios jumper M-M
- 3 fios jumper F-M

É importante ressaltar que o resistor de 10kohm e os capacitores de 2200 microF são opcionais, entretanto é necessário pensar que quanto menor for o

produto RC, mais rápido será o processo de carga, ou descarga, e consequentemente mais difícil será de se obter bons dados, devido a taxa de coleta de valores mínima dos microcontroladores. Em contrapartida RC muito grande resulta em práticas longas e monótonas, sendo assim valores estes pensados para equilibrar os dois aspectos.

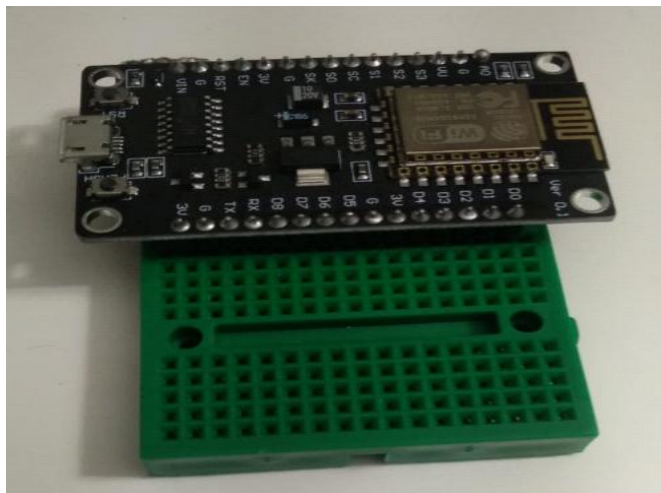
Para alimentar os microcontroladores, foi utilizado um computador, permitindo assim um acompanhamento detalhado do funcionamento dos dispositivos. Entretanto, pode ser utilizado carregadores de celular com saída USB para alimentar os dispositivos

B.3.1 - Construção do aparato

Nesta seção, será apresentado o passo a passo de montagem do aparato experimental conectivo com uma associação é série de capacitores. É importante ressaltar que a partir desta montagem, todas as associações podem ser estudadas. Para que a montagem seja simples, nos primeiros passos serão realizados os preparativos para conexão das placas ao módulo e malha com a associação.

- Conecte os terminais digitais do NodeMCU a um dos lados da placa de prototipagem, conforme pode ser visto na imagem a seguir.

Figura 32 – Na foto, a placa de prototipagem (verde) contendo NodeMCU conectado.

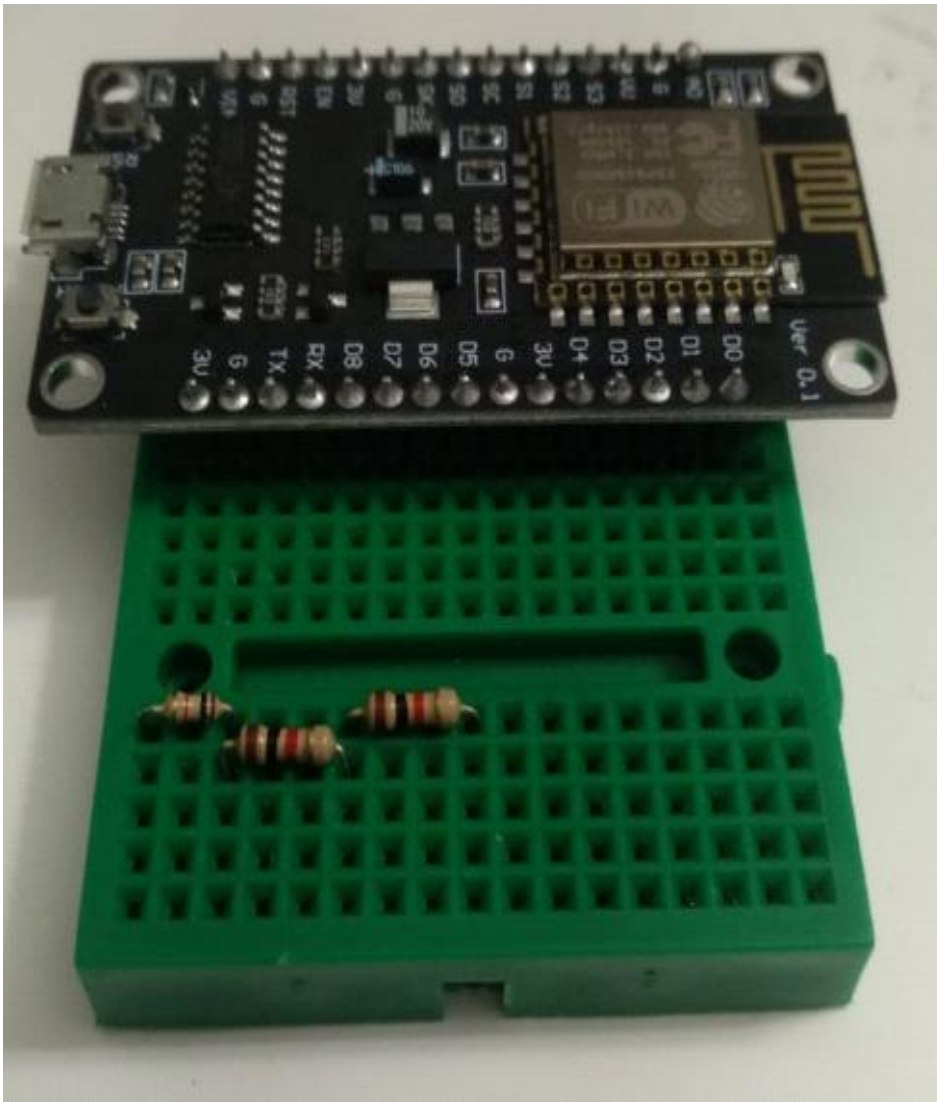


Fonte: (Autoria própria).

Note que cada terminal do NodeMCU está conectado a trilhas de furos independentes.

- Para realizar a recepção de dados do arduino, é necessário construir um divisor de tensão para reduzir os 5V do sinal arduino para 3,3V do NodeMCU, para tal, basta conectar três resistores de 1k ohm em série, no lado oposto da placa de prototipagem, conforme pode ser visto na imagem a seguir.

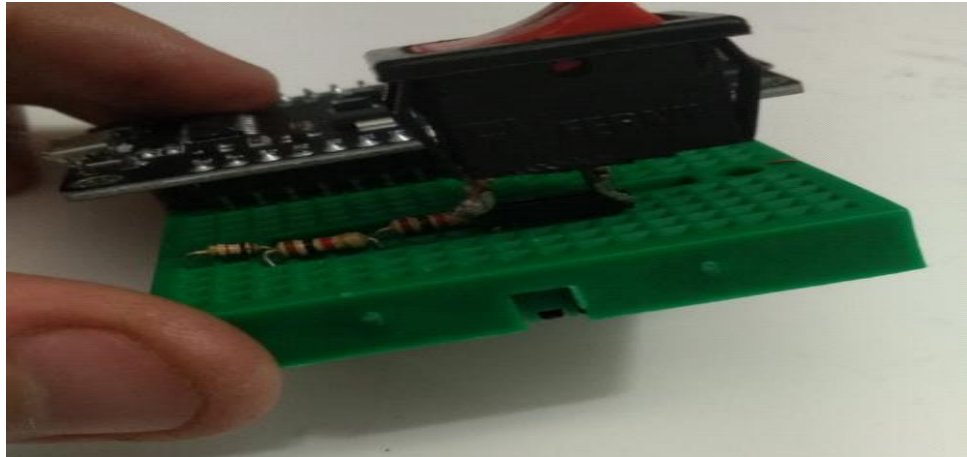
Figura 33 – Associação em série de resistores de $1k\Omega$ do divisor de tensão.



Fonte: (Autoria própria).

- Conecte a chave interruptora à extremidade da associação em série de resistores, conforme a imagem abaixo.

Figura 34 – Chave interruptora conectada em série com a associação de resistores.

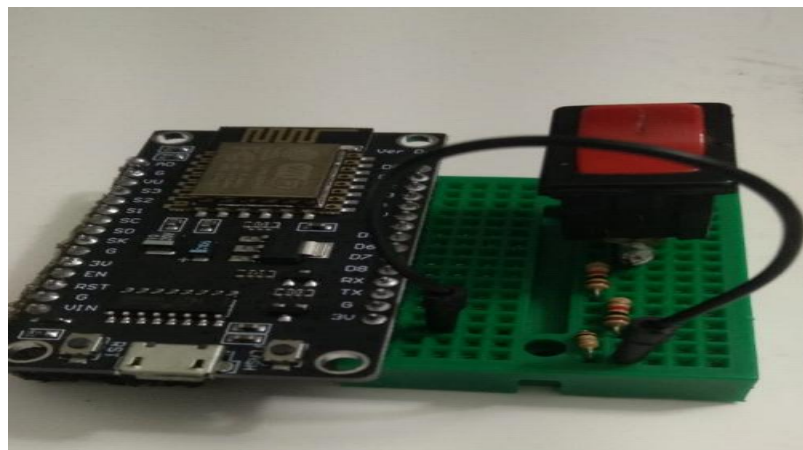


Fonte: (Autoria própria).

Note que um dos terminais da chave está na mestra trilha que o terminal livre de um dos resistores da associação.

- Utilizando um fio jumper(fio preto), conecte a trilha com o terminal do resistor oposto a chave ao GND (sinalizado G) do NodeMCU, conforme pode ser visto na imagem a seguir.

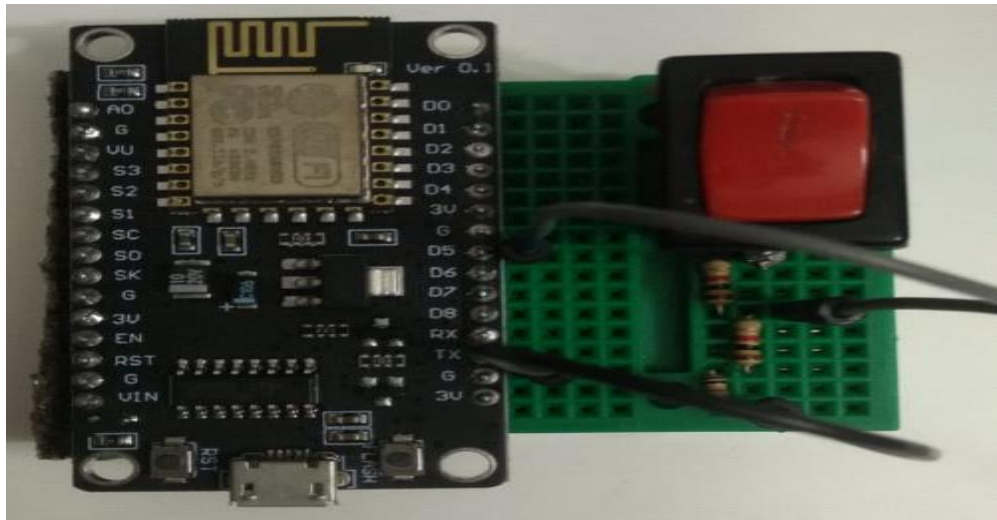
Figura 35 – Fio jumper conectando o GND do NodeMCU ao terminal livre da associação de resistores.



Fonte: (Autoria própria).

- Utilizando um fio jumper(cinza), conecte a saída digital D5 do NodeMCU na trilha que contém a conexão de dois resistores, sendo um deles o que está conectado diretamente a chave interruptora, conforme pode ser visto na imagem a seguir.

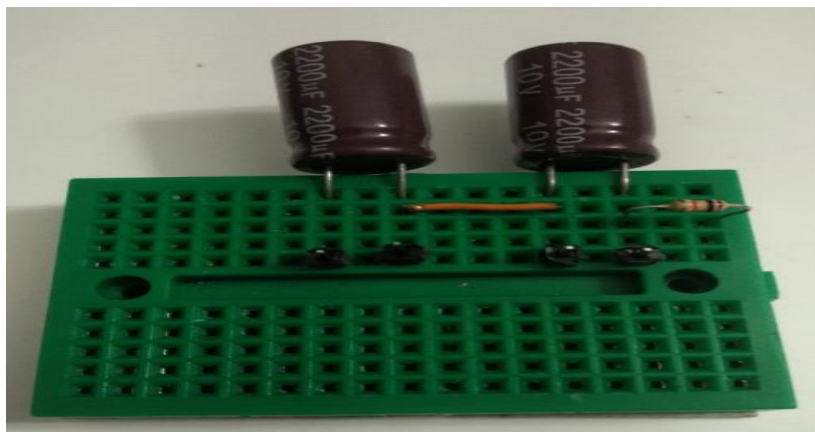
Figura 36 – Fio jumper conectando o terminal D5 do NodeMCU ao segundo resistor da associação.



Fonte: (Autoria própria).

- Em outra placa de prototipagem, prepare a malha do circuito contendo dois capacitores de 2200 microC, associados em série, ligados a um resistor de 10kohm, conforme pode ser visto na imagem abaixo.

Figura 37 – Circuito contendo dois capacitores eletrolíticos de 2200 μ F e um resistor de 10k Ω , dispostos em série.

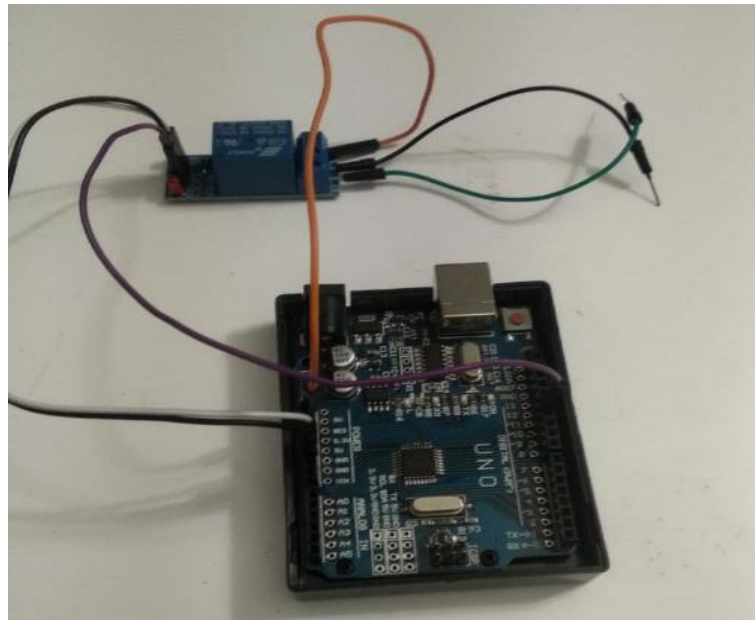


Fonte: (Autoria própria).

Observe que os capacitores foram conectados em série com um fio jumper (laranja). Note também que foram adicionados um pino jumper em cada trilha que há o terminal de um dos capacitores. Estes fios irão facilitar a conexão dos voltímetros.

- Utilizando um fio jumper (roxo) conecte o terminal IN do módulo relé ao pino digital 12 do arduino, em seguida conecte o VCC(jumper branco) e GND(jumper preto) do módulo relé ao 5V e GND do arduino, respectivamente. Ao final, conecte o fio jumper (laranja) do terminal *Normalmente Aberto* do relé ao 5V livre do Arduino, conforme pode ser visto na imagem abaixo.

Figura 38 – Conexões de alimentação do módulo relé.



Fonte: (Autoria própria).

- Conecte o terminal Comum do relé ao terminal livre do resistor de 10k Ω da malha, em seguida conecte (fio jumper verde) o terminal *Normalmente*

Fechado a terminal negativo do capacitor que não está conectado ao resistor, conforme a imagem abaixo.

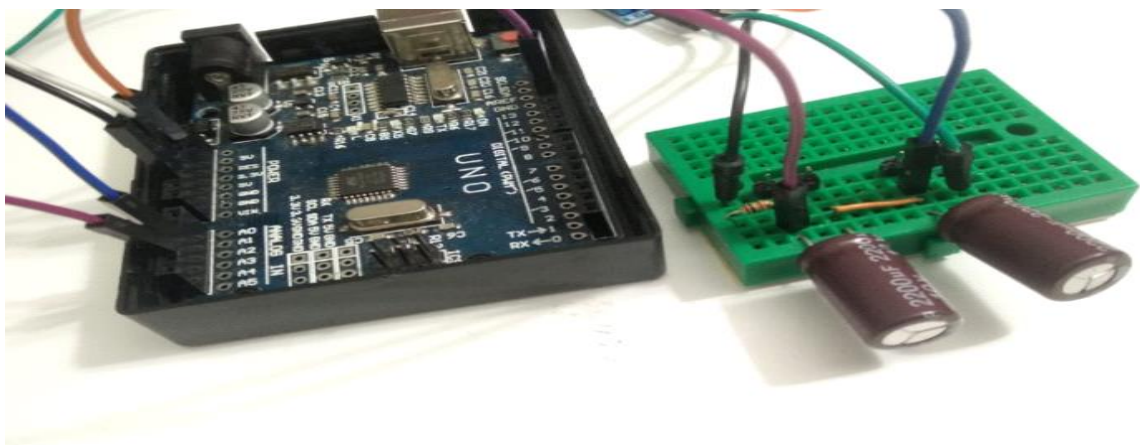
Figura 39 – Conexões dos terminais do relé no circuito RC.



Fonte: (Autoria própria).

- Conecte os pinos analógicos A2 (fio azul) e A3 (fio roxo) do arduino as trilhas onde estão os terminais positivos dos capacitores, como podemos observar abaixo.

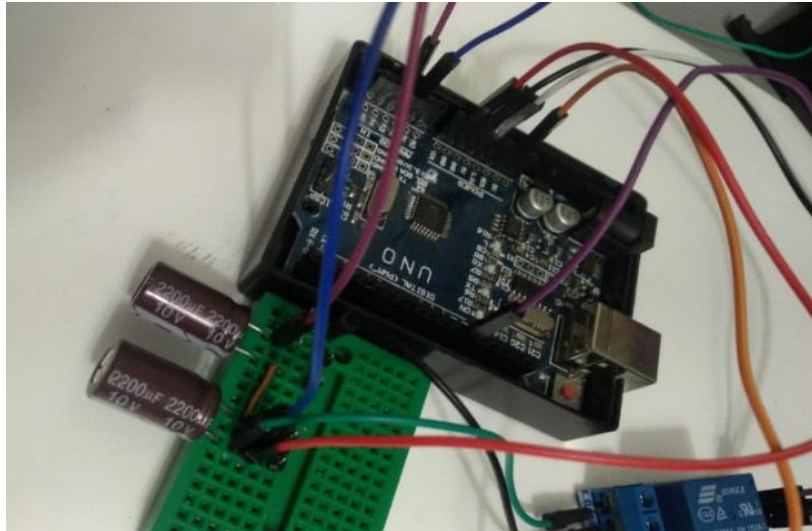
Figura 40 – Conexões dos pinos analógicos de medição de tensão nos terminais positivos dos capacitores.



Fonte: (Autoria própria).

- Conecte o terminal negativo (fio vermelho) do capacitor posicionado opostamente ao resistor, ao GND do arduino.

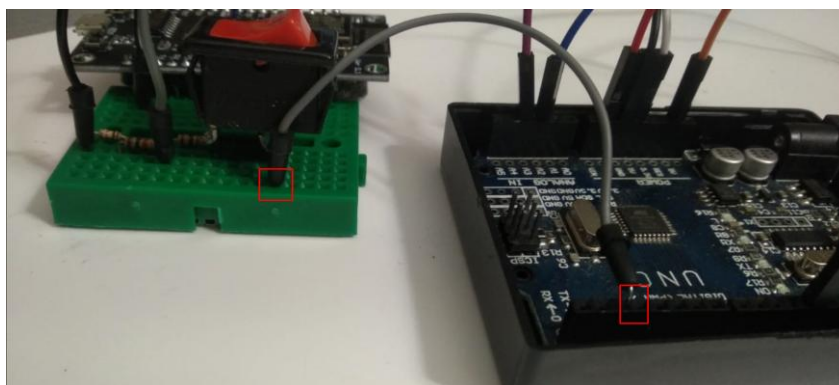
Figura 41 – Conexão do circuito RC com o GND do Arduino.



Fonte: (Autoria própria).

- Conecte com um fio jumper (fio cinza) o terminal digital D3 do arduino a extremidade livre da chave interruptora do divisor de tensão do NodeMCU.

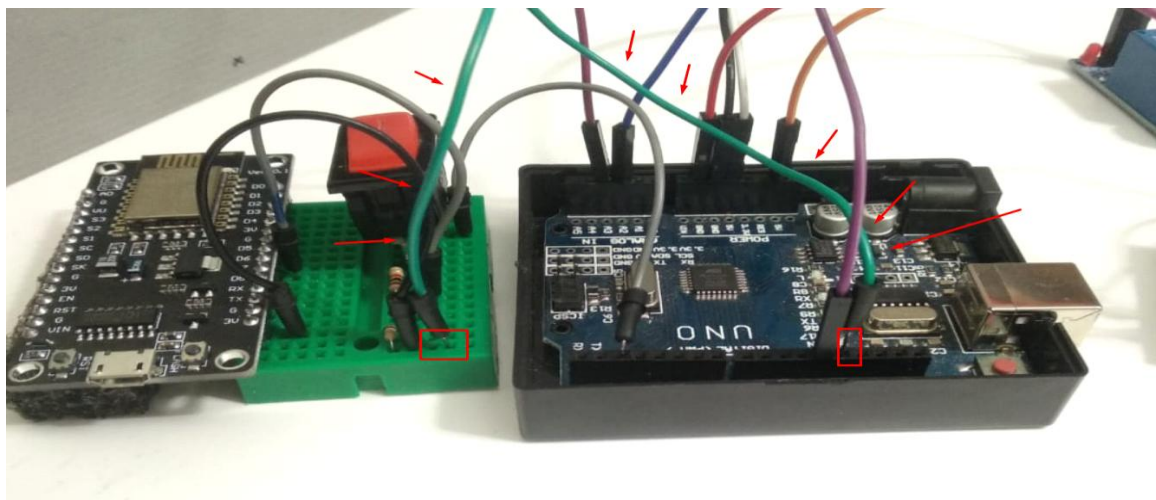
Figura 42 – Conexão do pino digital D3 à chave interruptora do divisor de tensão.



Fonte: (Autoria própria).

- Conecte a trilha do GND do NodeMCU ao GND do arduino utilizando um fio jumper (verde), conforme indicado na imagem abaixo.

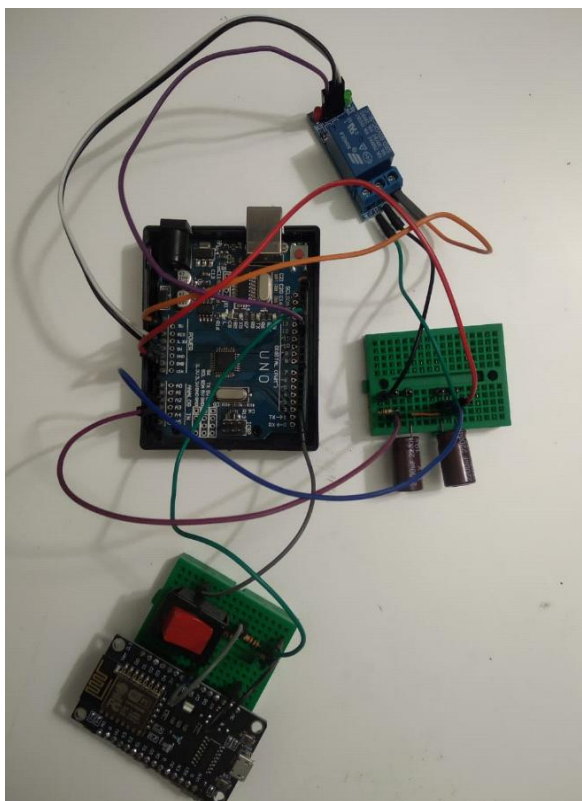
Figura 43 – Conexão dos terminais GND de ambos os microcontroladores.



Fonte: (Autoria própria).

Uma vez que todos os passos foram executados, o dispositivo irá se parecer como na imagem abaixo.

Figura 44 – Aparato conectivo contendo uma malha RC de capacitores em série.

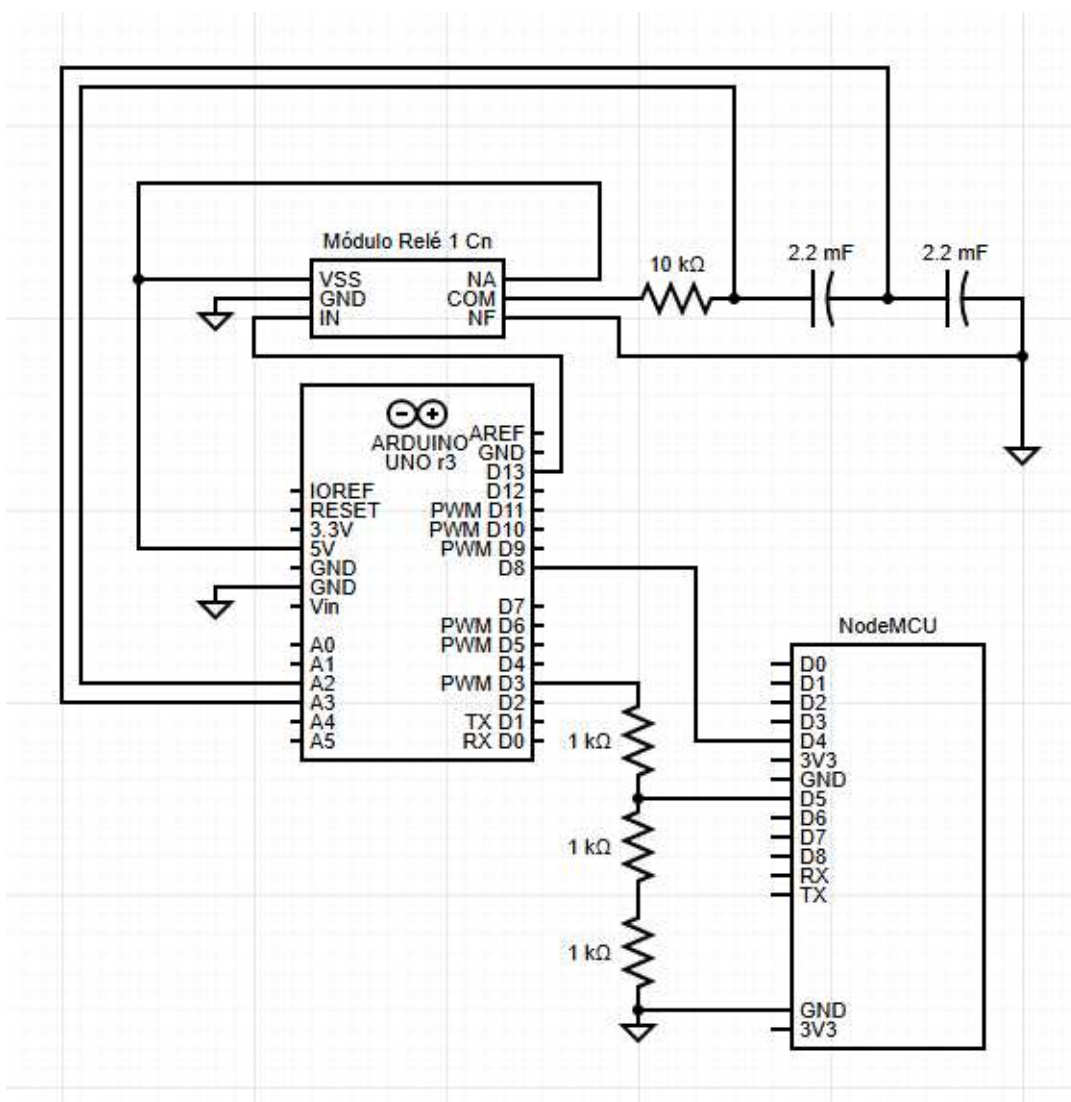


Fonte: (Autoria própria).

B.3.2 - Diagrama de circuito.

O diagrama abaixo contém todas as conexões entre os microcontroladores, módulo relé e a malha com a associação de capacitores em série com um resistor.

Figura 45 – Diagrama esquemático das ligações entre diferentes circuitos.



Fonte: (autoria própria).

B.3.3 - Instalação IDE Arduino e configuração de microcontroladores

Um software que será necessário para configurar e programar os microcontroladores Arduino Uno e NodeMCU deste projeto, é o IDE Arduino. Este ambiente de desenvolvimento integrado fornece um conjunto abrangente de ferramentas que facilitam o desenvolvimento de programas, permitindo assim o uso dos microcontroladores como sensores acoplados ao computador.

Os procedimentos de instalação da IDE são os seguintes:

- Procure em algum buscador o site oficial do Arduino;
- Uma vez no site, navegue até a seção de downloads e escolha a versão do seu sistema operacional.
- Uma vez realizado o download do instalador, prossiga até a pasta em que foi baixado o arquivo e abra o arquivo executável (.exe).
- Siga as instruções do assistente de instalação até finalizar a mesma;
- Após instalação, abra a IDE do Arduino;

Uma vez aberto a IDE Arduino, é necessário realizar algumas configurações para que o programa seja capaz de utilizar corretamente os microcontroladores. Para configurar cada microcontrolador, siga os respectivos procedimentos a seguir.

Configurando Arduino Uno:

- Na IDE do Arduino, vá até o menu “Ferramentas” (Tools);
- Em “Placa” (Board), selecione “Arduino Uno”;
- Ainda em “Ferramentas”, vá até “Porta” (Port) e selecione a porta COM que corresponde ao Arduino Uno e selecione esta porta;
- Feche as configurações e reinicie a IDE do Arduino.

Configurando NodeMCU V3:

- Conecte o microcontrolador a uma das saídas USB do computador;

- Na IDE do Arduino, vá para “Arquivo” (File), em seguida clique em “Preferências” (Preferences);
- Na caixa de diálogo que aparece, localize o campo “URLs Adicionais para Gerenciadores de Placas” (Additional Boards Manager URLs) e insira o seguinte URL:
http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json;
- Clique em “OK” para salvar preferências;
- Vá até o menu “Ferramentas”, em seguida em “Placa”, “Gerenciador de Placas”;
- Na janela do Gerenciador de Placas, digite “esp8266” na barra de pesquisa;
- Encontre o pacote “esp8266 by ESP8622 Community” e clique em “Instalar” e aguarde a instalação;
- Conecte o microcontrolador NodeMCU ao computador utilizando um cabo USB;
- Na IDE do Arduino, vá até o menu “Ferramentas”, em seguida clique em “Placa” e selecione “NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module)”;
- Ainda em “Ferramentas”, vá até “Porta” e selecione a porta COM que corresponde ao NodeMCU.
- Vá até a aba “Rascunho” (Sketch), em seguida clique em “Incluir Biblioteca” (Include Library), clicando em “Gerenciar Bibliotecas” (Manage Libraries), pesquise no campo de pesquisa “Blynk”; Por último instale esta biblioteca na sua IDE do Arduino.

Vale ressaltar que se há pretensão em utilizar os dois microcontroladores conectados simultaneamente ao computador, será necessário conectá-los a portas USB diferentes, sendo necessário assim consultar no Gerenciador de Dispositivos do Windows a respectiva porta de cada microcontrolador.

Ao final destes procedimentos, a IDE do Arduino já está apta para ser utilizada na programação de ambos os microcontroladores.

B.3.4 - Código dos microcontroladores.

Cada microcontrolador possui uma finalidade específica neste projeto, portanto cada código levará em consideração a funcionalidade desejada.

Neste projeto, foi conferido ao Arduino Uno a finalidade tanto de controlar o módulo relé, quanto alimentar o sensor voltímetro, devido às suas especificações de saída e entrada de tensão. Para tais tarefas, foi necessário implementar um código que faça a leitura digital do sinal de comando do NodeMCU, e a partir dela, acione os estados dos relés, através de duas saídas digitais. O código comentado do Arduino Uno pode ser visto no apêndice B, seção B.1.

O uso de um microcontrolador NodeMCU permite fazer uso de um módulo ESP8266 WiFi, que além de possuir compatibilidade com a IDE do Arduino, usa uma linguagem de programação muito semelhante à utilizada no Arduino.

Além de realizar conexão com a rede WiFi e com a plataforma Blynk IoT, o NodeMCU será responsável por realizar a leitura analógica do sensor voltímetro, ajustá-la ao divisor de tensão neste sensor, e enviar o valor de tensão medido para o Blynk. O código comentado do NodeMCU pode ser visto no apêndice B, seção B.2..

Vale ressaltar que os valores de Auth Token, Rede WiFi e Senha da Rede deverão ser preenchidos conforme as especificações da conexão Blynk do projeto ao qual o NodeMCU foi cadastrado na plataforma, e os dados de conexão da rede de internet utilizada pelo microcontrolador.

B.3.5 - Configurando a plataforma Blynk.

O controle remoto de microcontroladores que possuem módulos de conexão com a internet, como por exemplo o ESP 8266, pode ser realizado por plataformas IoT, como por exemplo o Blynk IoT, que permite computadores e smartphones se conectarem a dispositivos microcontroladores. Optou-se neste projeto utilizar esta plataforma Blynk IoT devido a sua gratuidade, qualidade de conexão e disponibilidade para múltiplas plataformas (windows, mac e android).

Para realizar o controle remoto do módulo relé e coletar os valores lidos pelo sensor voltímetro, será necessário definir duas variáveis virtuais no Blynk. A primeira variável será do tipo binária, fornecendo o valor 0 para o estado de descarga do

capacitor, e o valor 1 para o estado de carga do capacitor. Em contrapartida, a segunda variável será do tipo numérica, permitindo a leitura de valores decimais que serão enviados pelo NodeMCU.

Caso o usuário deseje utilizar a plataforma em um smartphone, será necessário fazer download do aplicativo do Blynk IoT. Em contrapartida, o uso da plataforma em um computador é feito por meio de um navegador comum.

Os seguintes procedimentos de configuração das variáveis virtuais, widgets de controle serão os mesmos para ambos os dispositivos.

- Inicie a seção com uma conta Blynk;
 - Uma vez logado a plataforma, procure por um botão com o símbolo “+ New Device” para criar um novo projeto, selecione a opção “From template”.
- Nomeie o projeto como desejar e clique em “Create”;

Figura 46 - Vista da tela do Blynk.

Fonte: [Blynk](#).

- Após criado o projeto, copie o Auth Token, um código único que permitirá que seu dispositivo esteja conectado à plataforma. Este código precisa ser inserido no código do NodeMCU;
- Uma vez na Zona de Desenvolvimento da plataforma, vá até a aba “Datastreams” e clique em “+ Datastreams”, selecionando a opção “Virtual Pin!”, veja figura 13;

- Uma vez na janela, defina o nome da variável e o PIN como V1. Selecione o DATA TYPE como “Integer”. Ao final clique em “Create”;

Figura 47 – Vista da tela do Blynk na aba Datastreams

Virtual Pin Datastream

NAME: CARREGAR ALIAS: CARREGAR

PIN: V1 DATA TYPE: Integer

UNITS: None

MIN: 0 MAX: 1 DEFAULT VALUE: 0

Enable history data

ADVANCED SETTINGS

Cancel Save

Fonte: [Blynk](#).

- Repita os procedimentos 6 e 7, para configurar a segunda variável, conforme a figura 48.

Figura 48 – Vista da tela do Blynk.

Virtual Pin Datastream

General Expose to Automations

NAME: TENSÃO ALIAS: TENS

PIN: V2 DATA TYPE: Double

UNITS: Volt, V

MIN: 0 MAX: 5 DECIMALS: ### DEFAULT VALUE: Default Value

Enable history data

ADVANCED SETTINGS

Cancel Save

Fonte: [Blynk](#).

- Uma vez criada as variáveis virtuais, retorne ao ambiente “Developer Zone”, selecione o projeto, vá até a aba “Web Dashboard” e clique em “Edit”;
- Neste momento, será possível adicionar um widget do tipo botão para a variável V1, e um widget do tipo “Chart” para a variável V2;

A configuração e personalização da dashboard do projeto é específica para cada usuário, portanto é aconselhado testar as possibilidades de widgets disponíveis para melhor experiência.

B.3.6 - Iniciando o dispositivo.

Antes de iniciar o dispositivo para utilização, é necessário configurá-lo para conectar à rede WiFi disponível, sendo assim necessário inserir em seu código a SSID WiFi (identificação da rede WiFi) e a chave de acesso. Para tal tarefa, é necessário primeiro possuir o código de autenticação AUTH TOKEN da plataforma Blynk, em seguida basta conectar o microcontrolador NodeMCU a um computador que possua a IDE do Arduino. Abra o arquivo do código do NodeMCU e edite o seguinte fragmento de código inserindo o nome da rede WiFi (SSID) e a chave de acesso (PASS):

```
char ssid[] = "NOME DA REDE WIFI"; // NOME DA REDE WIFI  
char pass[] = "SENHA DA REDE WIFI"; // SENHA DE CONEXÃO COM A  
REDE WIFI
```

Após editado o código, faça upload para o NodeMCU e acompanhe o protocolo de conexão que será mostrado no monitor serial da IDE do Arduino.

Uma vez conectado a rede WiFi, vá até a plataforma ou aplicativo do Blynk e verifique o status de conexão do dispositivo. Caso seja Online, basta acessar a interface do usuário que o dispositivo está pronto para uso.

Para iniciar devidamente o dispositivo, com a chave interruptora desligada, conecte o microcontrolador NodeMCU ao computador, ou fonte de tensão. Em seguida, após constatação que o dispositivo esteja online na plataforma Blynk,

conecte o Arduino Uno a um computador, ou fonte de tensão adequada. Após a correta inicialização do Arduino, acione a chave interruptora para que os dados de tensão sejam enviados ao NodeMCU.