

*Simulações no Ensino  
de Física*



**MACÁRIO CAETANO DE MENDONÇA FILHO**

PRODUTO EDUCACIONAL ORIENTADO PELO PROF. DR.  
RAIMUNDO VALMIR LEITE FILHO.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ  
UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ  
CAMPUS SOBRAL  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
POLO 56

Macário Caetano de Mendonça Filho

## PRODUTO EDUCACIONAL

SIMULAÇÕES NO ENSINO DE FÍSICA: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE  
CAPACITORES E ELETRODINÂMICA UTILIZANDO A PLATAFORMA *PhET* E A  
SEQUÊNCIA FEDATHI

Sobral/CE

2024

Macário Caetano de Mendonça Filho

## SIMULAÇÕES NO ENSINO DE FÍSICA:

Uma proposta para o ensino de capacitores e eletrodinâmica utilizando a plataforma *PhET* e a Sequência Fedathi

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ELETRODINÂMICA UTILIZANDO A SEQUÊNCIA FEDATHI E A PLATAFORMA PHET SOB UMA PERSPECTIVA AUSUBELIANA, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 56 – UVA/IFCE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Raimundo Valmir Leite Filho

Sobral/CE

2024

# Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus por me permitir vivenciar esta etapa desafiadora e tão esperada em minha vida.

Aos meus pais, Sr. Macário e D. Dilma pelo apoio, compreensão, incentivo e importância que sempre deram aos meus estudos e por cuidarem tão bem de mim e de meus irmãos nos momentos mais difíceis.

À minha esposa, Erine Magalhães, e ao nosso filho, Nicolas, expresso minha eterna gratidão e admiração. Agradeço pelo apoio, parceria e paciência que nunca faltaram em todos os momentos nos quais deixei de vivenciar momentos de lazer junto a eles para me dedicar a este projeto.

Ao Prof. Dr. Raimundo Valmir Leite Filho, meu orientador, por compartilhar um pouco de sua extensa e admirável experiência tanto em Física quanto no ensino dela em todos os níveis da educação, contribuindo indispensável e positivamente para minha carreira como docente e pesquisador na área da educação.

À D. Elenilda, mãe de minha esposa, pelo imenso apoio em diversos momentos aos quais precisei me ausentar de minhas obrigações paternas para me dedicar a este projeto.

Ao meu grande amigo e compadre, Daniel Rosendo, a quem admiro e agradeço pelos diálogos durante todo meu percurso acadêmico e profissional.

Aos colegas de profissão, Neusimar, Linneker, Carmirene e George, da Escola Doutor João Ribeiro Ramos, pela grande parceria na aplicação deste Produto Educacional.

Aos demais professores do programa do MNPEF do polo 56, à Sociedade Brasileira de Física e todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram positivamente para a existência deste mestrado.

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

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Teoria da Aprendizagem Significativa</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Sequência Fedathi (SF)</b>	<b>9</b>
2.2.1	Princípios da SF	9
2.2.2	Preparação	12
2.2.3	Vivência	13
<b>2.3</b>	<b>Teoria Física</b>	<b>15</b>
2.3.1	Capacitores e capacitância	15
2.3.2	Corrente elétrica	18
2.3.3	Resistência e Leis de Ohm	18
2.3.4	Potência elétrica e o efeito Joule	19
2.3.5	Associação de resistores em circuitos elétricos	20
<b>3</b>	<b>A PLATAFORMA PHET</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>A interface da Plataforma</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Conhecendo a interface de um simulador</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>SESSÕES DIDÁTICAS: EXECUÇÃO DO PRODUTO</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Capacitores e capacitância</b>	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Associação de capacitores</b>	<b>26</b>
<b>4.3</b>	<b>Corrente elétrica</b>	<b>28</b>
<b>4.4</b>	<b>Leis de Ohm</b>	<b>29</b>
<b>4.5</b>	<b>Associações de resistores</b>	<b>32</b>
<b>4.6</b>	<b>Circuito residencial simples: Aplicação das associações.</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>37</b>
	<b>APÊNDICE A – PRÉ-TESTE</b>	<b>38</b>
	<b>APÊNDICE B – PÓS-TESTE</b>	<b>39</b>

# 1 Introdução

O presente Produto Educacional trata-se da construção de uma sequência didática elaborada para auxiliar os professores de física no ensino de capacitores e suas associações e de alguns tópicos de eletrodinâmica. A sequência didática procura estabelecer uma sequência de passos organizadamente pensados e planejados para facilitar a aprendizagem do assunto. Esse é, na verdade o significado atribuído a uma sequência didática. O projeto é construído sobre a ótica da teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Como recurso pedagógico, utiliza-se uma plataforma virtual de simulações nas áreas de Matemática, Ciências Exatas e da Terra, a plataforma *PhET*. Sob a ótica da teoria ausubeliana, essa ferramenta encontra-se como uma Unidade Potencialmente Significativa, justificando, portanto, seu uso e destacando sua importância para o ensino. Como metodologia de ensino, adota-se a Sequência Fedathi, elaborada pelo professor Hermínio Borges Neto, da Faculdade de Educação do Ceará (FACED/UFC).

Os conteúdos físicos abrangidos neste projeto englobam os conceitos de capacitores e suas associações, corrente elétrica, leis de Ohm e resistores e suas associações. Ao longo da sequência didática, atividades são organizadas ao final de cada encontro proposto, que podem ser realizadas como exercícios em sala de aula ou como atividades para serem feitas em casa.

Há dois apêndices que se referem aos questionários pré-teste (apêndice [A](#)) e pós-teste (Apêndice [B](#)). Eles são partes fundamentais deste Produto Educacional, possuindo o *status* de avaliação, todavia, caso o professor deseje ou ache necessário, pode elaborar seu próprio questionário, adequando-os aos critérios que achar pertinente.

## 2 Fundamentação teórica

Aqui serão apresentados os pressupostos teóricos e metodológicos ao qual esse Produto Educacional é erguido, bem como sua teoria física.

### 2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa

A teoria da Aprendizagem Significativa representa uma das teorias de aprendizagem desenvolvida pelo Psicólogo da Educação David Paul Ausubel (1918-2008). Ausubel defendia que é a aprendizagem de significados (conceitos) que tem transmitido o conhecimento através de gerações, sendo o fator mais decisivo para o ser humano.

Para a ocorrência de Aprendizagem Significativa três requisitos são necessários: oferta da informação de forma organizada, identificação dos conhecimentos prévios do indivíduo e por fim, a atitude explícita dele de querer aprender. Para Ausubel, a Aprendizagem Significativa ocorre quando o novo conhecimento é relacionado aos conceitos ou ideias já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz de forma lógica e clara.

Quando falamos em Aprendizagem Significativa, alguns termos são específicos da teoria, alguns deles são:

- **Estrutura cognitiva:** Refere-se ao conjunto organizado de conhecimentos, crenças e valores que o indivíduo possui. É a estrutura mental na qual o novo conhecimento é incorporado e relacionado.
- **Subsunçores:** São os conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno e que servem como âncoras para a aquisição de novos conhecimentos. Eles desempenham um papel central na Aprendizagem Significativa, já que funcionam como pontos de referência para novas informações.
- **Aprendizagem por recepção:** Ausubel propõe que a Aprendizagem Significativa ocorre principalmente por meio de uma abordagem receptiva, onde o aluno recebe informações e as relaciona aos conceitos prévios. O papel do professor é fundamental nesse processo, sendo ele o responsável em apresentar o conteúdo de forma organizada e clara, facilitando a integração das novas informações com o conhecimento já existente do aluno.

Diante do trecho acima, ele compreende que a Aprendizagem Significativa é estruturada no processo fundamental da ancoragem (a nova informação se ancora nos conhecimentos prévios relevantes de cada indivíduo), sendo um processo idiossincrático, ou seja, particular de cada indivíduo, o que justifica o fato de uma mesma informação

ser compreendida de maneiras diferentes entre indivíduos, mesmo quando submetidos as mesmas condições.

Segundo Tavares (2004, p. 56), quando ocorre a “interação entre o conhecimento novo e o antigo, ambos serão modificados de uma maneira própria de cada aprendiz, devido a consequência de uma estrutura cognitiva particular de cada pessoa” (processo idiossincrático). Em contrapartida, se os novos conhecimentos são apresentados sem que haja uma conexão com o conhecimento prévio do aluno, haverá apenas, no máximo, um processo de memorização passiva da informação. Ausubel, define esse processo como Aprendizagem Mecânica, sendo um tipo de aprendizagem superficial, sem uma compreensão profunda do significado dos conceitos apresentados.

Na Aprendizagem Mecânica, o foco está na repetição e reprodução literal das informações sem que o aluno estabeleça relações significativas entre os conceitos. Esse tipo de aprendizagem tende a ser temporário, uma vez que o conhecimento é retido apenas de forma superficial e é facilmente esquecido ao longo do tempo quando não assimilado a algum subsunçor.

Apenas a Aprendizagem Significativa envolve a conexão dos novos conhecimentos com os conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno de forma eficiente, tornando o aprendizado mais relevante, coerente e duradouro. Se a ligação entre as informações nova e preexistentes na estrutura cognitiva do indivíduo estabelece apenas uma conexão frágil, tem-se uma aprendizagem por memorização, não integradora.

A Aprendizagem Mecânica, num certo sentido, pode ser útil na inserção de novas informações (inéditas) na estrutura cognitiva do indivíduo, servindo de novos subsunçores (embora frágeis) a serem fortalecidos com a Aprendizagem Significativa. Ausubel, entretanto, defende como forma mais adequada para a inserção de novos subsunçores os organizadores prévios, que representam materiais introdutórios ou informações fornecidas antes da apresentação do novo conteúdo, com objetivo explícito de ajudar o aluno a estabelecer conexões entre o que o ele já sabe (conhecimento prévio) e o que ele vai aprender (novo conhecimento). Entre exemplos, tem-se textos, palestras introdutórias (que apresentam conceitos-chave e ideias fundamentais relacionadas ao novo conteúdo), perguntas orientadoras, mapas conceituais e resumos.

Aplicando a teoria ausubeliana a prática docente, vemos que ela propõe formas de encorpar o planejamento docente do professor, tomando por base, a necessidade de obter informações que o assegure em que situação encontram-se seus alunos, e assim, permitindo conhecer ao máximo os subsunçores dos discentes e escolher meios de apresentar a nova informação, relacionando-a aos conhecimentos prévios e garantindo a alteração de ambos.

Para verificar evidências de Aprendizagem Significativa é preciso avaliar. Como na teoria ausubeliana, o foco deve estar na compreensão e aplicação do conhecimento ao invés

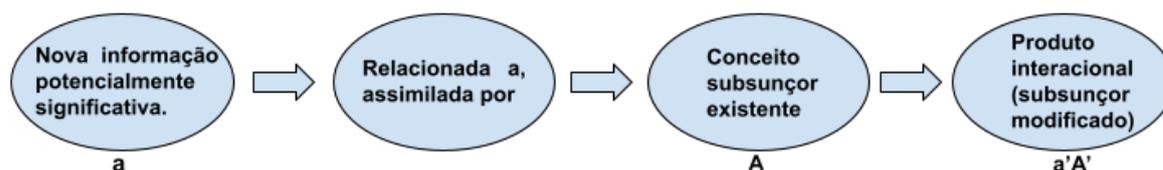
da memorização de informações, é necessário um processo contínuo. Uma avaliação bem projetada desempenha um papel essencial nesse processo. Nesse contexto, ela deve ir além da repetição de frases, fórmulas memorizadas ou tipos de problemas (características da Aprendizagem Mecânica). Moreira (1999) afirma que é preciso formular os problemas ou questões de forma diferente da que o discente está habituado (as do tipo acima), requerendo dele a máxima transformação do que já se encontra na sua estrutura cognitiva.

Diante da perspectiva da teoria de Ausubel, o processo de ensino-aprendizagem é por natureza desafiador. A somar com esse fato, tem-se ainda o problema do tempo de planejamento das aulas que o docente precisa para sintetizar todas as informações referentes a um grupo de alunos, geralmente expressivo. Diante de tudo já apresentado, qual a posição que o professor assume na teoria de Ausubel? A resposta, um mediador! Nesse sentido, o professor atua como um auxiliar na caminhada “apresentação da informação” à “transformação dela em conhecimento”. A Aprendizagem Significativa depende de como o professor vai mediar seu conteúdo, tomando como fatores fundamentais o que seu público sabe, o que ele precisa aprender e como isso deve ser mediado para que ele aprenda.

Ausubel propõe três tipos de aprendizagem significativa: representacional (de representações), conceitual (de conceitos) e proposicional (proposições). A primeira, mais elementar de todas, corresponde ao significado dos símbolos (geralmente palavras) por associação aos referentes concretos (objetos e acontecimentos). A aprendizagem conceitual se concentra na compreensão de conceitos-chave e suas relações. O sujeito é capaz de observar regularidades ou padrões sem a necessidade de associação aos referentes. Finalmente, a aprendizagem proposicional representa o nível mais elevado de compreensão, permitindo a formulação de proposições e inferências a partir do conhecimento adquirido.

Ausubel defende ainda a “teoria da assimilação” como fator que organiza os significados da estrutura cognitiva, representada esquematicamente abaixo.

Figura 1 – Processo esquemático de assimilação.



Fonte: Moreira (1999, p. 157). Adaptada.

Logo, a assimilação é o processo pelo qual novos conhecimentos são incorporados e conectados aos conceitos já existentes na mente de alguém, resultando na reorganização e enriquecimento da estrutura cognitiva do indivíduo.

A justificativa quanto à escolha da Sequência Fedathi como metodologia de ensino para este Produto Educacional está condicionada pela presença de aspectos característicos da teoria de Ausubel nesta metodologia, o que favorece uma Aprendizagem Significativa.

## 2.2 Sequência Fedathi (SF)

A SF é uma metodologia de ensino desenvolvida no início dos anos 1990 pelo grupo Fedathi, composto por professores, pesquisadores e alunos de pós-graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Ceará (FACED/UFC), tendo como seu principal idealizador o professor Hermínio Borges Neto.

Inicialmente, a proposta metodológica era voltada apenas para o ensino de matemática, focando especialmente na resolução de problemas. No entanto, ao longo do tempo, por meio de diversos trabalhos e publicações, a SF ampliou sua abrangência, passando a englobar outras áreas de conhecimento e da Educação. Atualmente esta metodologia compreende três pilares fundamentais: os princípios, a preparação e a vivência. Aqui, eles são tomados como essenciais para a utilização correta dessa metodologia. Uma descrição completa está na obra “Sequência Fedathi: Fundamentos”, organizada pelo professor Hermínio Borges Neto (Neto, 2018).

### 2.2.1 Princípios da SF

Nosso objetivo nesta seção é apresentar de forma sucinta, quais são os princípios da SF e como eles se apresentam na prática docente.

#### Mão no Bolso

A “mão no bolso“ pode até ser entendida como uma metodologia de ensino, ou como uma postura adotada pelo professor em momentos específicos da aula. Porém, na SF ela é considerada uma pedagogia, já que cria um ambiente provocativo e reflexivo no qual tanto o professor como os alunos são instigados a pensarem sobre suas ações e desafiarem-se mutuamente. A expressão refere-se ao momento onde o professor deve adotar uma posição mais observadora, permitindo que os alunos se engajem na solução dos problemas propostos enquanto ele apenas media algumas situações, ficando realmente com as mãos no bolso.

A pedagogia “mão no bolso” é sinônimo do aluno “colocar a mão na massa” e desafiar-se a resolver problemas e buscar soluções com base em seus próprios conhecimentos. Essa abordagem se estende por várias etapas da aplicação da SF, principalmente nas fases Maturação e Solução, na qual os alunos são estimulados a refletir, interagir e construir o conhecimento de forma ativa e significativa. Assim, a pedagogia “mão no bolso” se faz através da mediação de reflexões, sistematização e estruturação de um raciocínio, cujo objetivo é sempre a produção de conhecimentos e saberes usando a SF (Santana, 2018).

## Situação Adidática

Uma situação adidática é um conceito proveniente da teoria das situações didáticas de Guy Brousseau e configura-se como o momento em que os alunos não recebem orientação explícita do professor, desafiando-se a si mesmos e buscando soluções com base em seus conhecimentos prévios (Mendonça, 2018). Assim, uma situação adidática caracteriza-se como um contraponto a Aprendizagem Mecânica.

Uma situação adidática é vivenciada principalmente na etapa da Maturação, sendo o momento no qual os alunos trabalham autonomamente suas hipóteses. No que se refere ao professor, o mesmo atua como um mediador, facilitando discussões decorrentes das hipóteses construídas pelos alunos por meio da abordagem “mão no bolso”. Apesar do prefixo “a”, uma situação adidática ainda é uma situação didática, com uma intenção pedagógica implícita de permitir que o aluno seja o protagonista de seu próprio conhecimento. O termo “a” vem para dar sentido ao entendimento de uma situação não orientada pelo professor.

## A pergunta

O papel fundamental das perguntas no ensino é impulsionar a reflexão e a construção do conhecimento. Na Tomada de Posição, as perguntas devem estimular a participação ativa dos alunos. Todavia, para serem efetivas as perguntas devem ser abertas, problematizadoras e norteadoras, evitando respostas rasas como “sim” ou “não”. Isto promove o pensamento crítico e o engajamento dos estudantes no processo de aprendizagem.

Durante a aplicação da SF, Sousa (2015) destaca que

No contexto de vivência da Sequência Fedathi, a pergunta refere-se a uma situação em que o professor interpela, interroga, instiga o aluno a pensar sobre o problema proposto como desafio para sua aprendizagem ou outras situações de estudo. Nesse sentido, a pergunta é uma proposição instigativa, finalizada com o ponto de interrogação. (“Por que todo quadrado é também retângulo?”) (Sousa, 2015, p. 47).

O uso de perguntas não superficiais é fundamental no processo de ensino, pois através delas é possível estimular os conhecimentos prévios dos alunos, além disso, elas podem guiar descobertas (pergunta norteadora) e orientar a solução de problemas (pergunta orientadora) em todas as etapas do ensino, sendo portanto, um instrumento fundamental para um resultado satisfatório de uma avaliação.

## A mediação

Na Sequência Fedathi, a mediação ressignifica o papel do professor em sala de aula, relacionando-a com a pedagogia “mão no bolso”. Ela deve ser adotada pelo professor em

momentos específicos da aula proporcionando ao aluno a posição de um pesquisador e ao professor reconhecer sua prática como um processo em constante construção, onde ambos (professor e aluno) aprendem. Santana, Neto e Rocha (2004) afirmam que

No momento da relação ensino/aprendizagem o professor deveria ser gestor e observador do processo de modo que lhe seja possível analisar, compreender, motivar, intervir e formalizar o conhecimento desenvolvido pelos alunos considerando acertos e erros como parte do processo de aprendizagem dos alunos (Santana; Neto; Rocha, 2004, p. 10).

Em suma, a mediação entende que o binômio ensino-aprendizagem acontece quando os indivíduos envolvidos no processo (professor e aluno) assumem o posicionamento de pesquisadores, com o professor na função adicional de estabelecer condições favoráveis de inserção do aluno à prática de pesquisador, e com tal, de protagonista na construção do seu conhecimento.

### Contraexemplo

O contraexemplo na SF pode ser entendido como mais um dos meios de permitir ao professor a atuação de um agente mediador. Através dele é possível desafiar as afirmações dos alunos, estimular reflexões e aperfeiçoar ideias levantadas. Essa abordagem desestabiliza argumentos, permitindo a construção de novos conhecimentos e fortalecendo a aprendizagem. Na função de mediador, o professor deve evitar fornecer respostas acabadas, utilizando o contraexemplo para despertar a curiosidade e o pensamento crítico dos alunos.

Souza (2015, p. 119) afirma que “as perguntas dos alunos devem ser respondidas com contraexemplos, o professor não deve dar respostas prontas aos alunos, e nesse sentido, a aprendizagem passa a ser consequência”. Logo, o contraexemplo também permite ao aluno avaliar seu raciocínio e verificar possíveis erros (outro grande personagem estratégico para a SF).

### Acordo Didático

O acordo didático é uma construção democrática entre o professor e seus alunos no qual são estabelecidas as regras e formas de condução das sessões de ensino. Essa parceria permite adaptar o acordo ao ambiente e ao público estudantil, possibilitando aos alunos vivenciarem uma postura ativa na busca pelo conhecimento.

O diálogo desempenha um papel central na elaboração do acordo didático garantindo uma relação de cumplicidade e evitando imposições excessivas. Ao definir normas, atividades e avaliações, o acordo didático se torna uma base para a organização das aulas, preparando o terreno para um ambiente de aprendizagem colaborativo e engajador, onde cada aluno pode assumir o papel de protagonista em sua jornada educacional.

Uma observação importante é compreender que o acordo didático está profundamente condicionado ao tipo de ambiente em que a aula ocorrerá, um acordo estabelecido com uma dada turma pode não funcionar em outra, seja pelo tipo de conteúdo, nível da turma e etc. A essência está em determinar as normas da aula, tipos de atividade e até mesmo o modo de avaliação. Como o acordo didático precede o início da execução da aula, é conveniente estabelecê-lo antes da execução da aula, ou mesmo na etapa Tomada de Posição, muito embora não haja problemas em ajustá-lo durante a aula, desde que respeitando a construção bilateral democrática entre professor e aluno.

### A concepção do erro

Na Sequência Fedathi (SF), o erro é valorizado e colocado no centro das atenções como parte do processo de aprendizagem em construção. A metodologia desafia a visão comum de que o erro é um fracasso na educação e ao invés disso, reconhece-o como um saber que precisa ser lapidado. A investigação através do erro permite compreender e avaliar as aprendizagens dos alunos proporcionando ao professor identificar onde podem estar ocorrendo equívocos, e assim, permitindo aprimoramento do binômio ensino-aprendizagem.

A valorização do erro é mais um fator que coloca o aluno no papel de um pesquisador orientado pelo professor, o pesquisador mais experiente. A concepção do erro surge especialmente na etapa da Solução, onde as respostas dos alunos são confrontadas por contraexemplos elaborados pelo professor, incentivando-os a reavaliar suas soluções e consolidando a compreensão como um processo contínuo de descobertas e aprendizado.

### 2.2.2 Preparação

A etapa da preparação representa a parte na qual o docente avalia o ambiente no qual sua sequência de aulas será apresentada. Ela representa a etapa onde o docente planeja os encontros, e para tal, é necessário conhecer o que os discentes dominam ou o que é preciso dominarem afim de iniciar a aula a partir deste ponto, ou outro que o docente achar necessário. Os elementos dessa importante parte são Plateau e a concepção do termo Sessão Didática.

#### Plateau

Para realizar o planejamento de uma aula é preciso que o docente tenha à sua disposição informações sobre o que os alunos já conhecem, de modo a permiti-lo estruturar sua prática docente a partir desses conhecimentos identificados, refletindo o que será preciso construir em cada encontro. Estas informações são o ponto de partida de qualquer aula (encontro).

Chama-se Plateau o conjunto de conhecimentos compreendidos por todos os alunos, desde aqueles com maiores dificuldades até os de menores dificuldades (Bezerra, 2018). Para sua construção, Bezerra (2018, p. 69) destaca que várias são as possibilidades, como a “elaboração de um diagnóstico por questionário ou um conjunto de questões pelo professor, uma revisão dos principais pontos a serem discutidos no conteúdo ou até mesmo uma conversa informal entre professor e alunos”.

### Sessão Didática

Uma “Sessão Didática” é mais do que simplesmente a execução de uma aula, abrangendo o planejamento prévio e a reflexão pós-aula. É uma ação cuidadosamente planejada pelo professor levando em conta o ambiente e o público-alvo, buscando ajustar a abordagem do conteúdo e a mediação necessária para garantir uma aprendizagem significativa. Durante a aula o professor utiliza-se de recursos didáticos e estratégias de ensino adequadas ao contexto. Após a aula o docente reavalia o que deve ser aprimorado ou mantido nas futuras sessões didáticas permitindo a ressignificação do planejamento e o aprimoramento contínuo do processo de ensino-aprendizagem, especialmente em relação à Sequência Didática.

A “Sessão Didática” está atrelada a Sequência Didática, pois cada sessão anterior influencia a próxima. Através da reflexão sobre os momentos vivenciados em cada aula, o professor pode reajustar e melhorar o planejamento para as próximas sessões. Essa análise cuidadosa permite que o docente ressignifique sua abordagem, aprimore sua execução e construa uma sequência mais coesa e eficaz, proporcionando aos alunos uma experiência de aprendizagem mais significativa e alinhada com suas necessidades e conhecimentos prévios.

### 2.2.3 Vivência

Compreende a execução das Sessões Didáticas utilizando-se dos princípios da SF. A vivência compreende a Tomada de Posição, Maturação, Solução e a Prova.

#### Tomada de Posição

A “Tomada de Posição” é a etapa em que o professor escolhe e apresenta a problemática à turma de forma clara com o objetivo de provocar o desequilíbrio nos conhecimentos dos alunos. Esta etapa sucede o Acordo Didático e a elaboração Plateau, utilizado como o mínimo exigido na construção dos problemas apresentados na Tomada de Posição.

Essa etapa pode ser realizada de diversas formas, como verbalmente, por escrito, com recursos concretos, digitais (plataformas e *softwares*), desde que se apresente como um problema cuja solução não seja imediata, permitindo a reflexão e discussão entre os

alunos, porém, não sendo excessivamente complexa. É partir dessa etapa o discente recorre aos seus conhecimentos prévios para auxiliá-lo na construção das soluções.

### Maturação

É o momento onde os alunos amadurecem suas ideias em relação a problemática proposta na Tomada de Posição. O professor-mediador recorre a pedagogia “mão no bolso” para estimular os alunos. Através de perguntas e contraexemplos, ele promove um ambiente de ensino não verticalizado, onde hipóteses são criadas pelos discentes com base em seus conhecimentos prévios. Essa etapa promove um desequilíbrio cognitivo e propicia uma Aprendizagem Significativa, reformulando e consolidando os conhecimentos (novos e antigos) dos alunos.

Fontenele (2018, p. 89) desenvolveu um quadro que apresenta de forma sucinta os posicionamentos e suas principais características do professor e do aluno na Maturação.

Quadro 1 – Atuação do professor e do aluno na Maturação.

PROFESSOR	ALUNO
Iniciar discussões com o aluno sobre a atividade proposta na tomada de posição.	Adotar posição investigativa diante da atividade proposta pelo professor.
Adotar a pedagogia mão no bolso para observar como os alunos desenvolvem suas ações.	Debruçar-se sobre a atividade proposta mobilizando seus conhecimentos prévios, analisando a situação proposta.
Respeitar o tempo de maturação do aluno para que ele chegue a solução.	Identificar e compreender as variáveis envolvidas no problema.
Instigar a participação ativa dos estudantes, buscando manter a motivação provocada na tomada de posição.	Exercitar seu raciocínio: levantar hipóteses, testar estratégias, questionar, etc.
Usar contraexemplos e perguntas para esclarecer dúvidas e dificuldades dos alunos.	Ter iniciativa para expor dúvidas e dificuldades ao professor.
Propor a colaboração em equipe entre os alunos (a separação da sala em equipes também é uma proposta comum discutida no estabelecimento do acordo didático).	Identificar formas de organizar informações e planejar estratégias, identificando o que precisa ser melhorado no seu modo de aprender.
Saber analisar possíveis erros dos alunos (concepção do erro).	Compreender que as dificuldades e erros fazem parte da aprendizagem, porém precisam ser superados.

Fonte: Fontenele (2018, p.89). Adaptada.

Um aspecto importante da Maturação é que ela pode ser desenvolvida através de pequenos grupos que dialogam entre si, com o exercício cognitivo da exposição e contraposição de ideias entre eles. Esses são elementos que tipificam a cada grupo de alunos, características de um grupo de pesquisadores que colaboram entre si, com a aprendizagem se evidenciando através da relação aluno-grupo e grupo-professor.

## Solução

É o momento no qual os alunos devem chegar a um modelo acabado, isto é, encontrarem a solução do problema proposto na Tomada de Posição. É crucial a continuidade do posicionamento do professor como mediador para estimular a reflexão e a construção de respostas embasadas. Nesta etapa, o uso de contraexemplos e perguntas é fundamental para consolidar argumentos e redirecionar possíveis hipóteses equivocadas.

O professor pode reconduzir a turma de volta à Tomada de Posição ou Maturação, se necessário, para garantir uma compreensão adequada das etapas anteriores e o progresso da aprendizagem. Uma abordagem interessante é realizar a “Solução” através de grupos, promovendo a socialização das soluções encontradas pelos discentes, permitindo o diálogo entre os grupos e uma exploração mais profunda de erros ou conceitos equivocados, o que exemplifica o uso do erro para promover a aprendizagem nessa etapa.

## Prova

A “Prova” é a etapa final da vivência da SF no qual o professor formaliza todo o conteúdo apresentado e discutido nas etapas anteriores. Nesta fase, são apresentados os conceitos, modelos e generalizações associados ao saber abordado. A prova deve estar relacionada às etapas anteriores, incorporando o que foi construído pelos alunos em conjunto com o professor até a etapa da Solução, considerando aspectos relevantes para a aprendizagem, como o erro, o contraexemplo, a pergunta, a pedagogia mão no bolso e a inserção dos alunos em situações adidáticas.

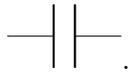
No ensino de Física, essa etapa pode contar com o auxílio de experimentos ou *softwares*. Esses recursos embasam os conceitos físicos e mostram a relação entre a formalização do conteúdo e os resultados obtidos. O uso de experimentos reais ou virtuais pode ser aplicado em diferentes etapas da vivência da SF, ficando a critério do professor.

## 2.3 Teoria Física

Este capítulo é dedicado a uma breve discussão, a nível médio, sobre conceitos físicos associados a capacitores e alguns tópicos de eletrodinâmica. Seguiremos a ordem que geralmente é adotada nos livros didáticos de nível médio, começando por capacitores e suas associações, seguido da formulação conceitual e matemática de corrente elétrica, leis de Ohm e resistores e suas associações.

### 2.3.1 Capacitores e capacitância

Segundo Yamamoto e Fuke (2013, p. 83) “um capacitor é um dispositivo cuja função é a de acumular ou descarregar rapidamente quantidades de energia ou carga

elétrica”. Sua construção consiste de dois condutores (armaduras ou placas) carregados e separados por um material isolante (ar, plástico, etc.). Num circuito, um capacitor é representado por .

Analisando a equação que representa o potencial elétrico<sup>1</sup> na superfície de uma esfera condutora de carga  $Q$  e raio  $R$ ,

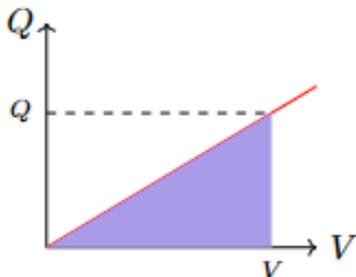
$$\mathcal{V} = k_0 \frac{Q}{r} \quad \text{onde,} \quad k_0 = 9 \cdot 10^9 \quad \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2, \quad (2.1)$$

vemos que ao dobrarmos o valor da carga o potencial dobra pelo mesmo fator, ou seja, há uma relação de proporcionalidade entre  $V$  e  $Q$ , e assim, a razão

$$\frac{Q}{\mathcal{V}} \equiv C = \text{constante}. \quad (2.2)$$

A constante de proporcionalidade é denominada *capacitância*, cuja unidade no SI é o farad ( $1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$ ). Essa equação nos diz que para dois condutores submetidos ao mesmo potencial, armazenará mais cargas aquele que tiver maior capacitância.

Figura 2 –  $Q$  versus  $\mathcal{V}$ .



Fonte: Próprio autor.

A relação  $Q = C\mathcal{V}$  representa uma reta com abscissa  $\mathcal{V}$ , ordenada  $Q$  e inclinação  $C$  (Figura 2). Gráficamente,  $\mathcal{V}$  e  $Q$  estão relacionados pela capacitância  $C$ , que delimita a área do triângulo azul ( $A = Q\mathcal{V}/2$ ). Além disso, o produto  $Q\mathcal{V}/2$  (numericamente igual a área do triângulo em azul) possui dimensão de energia, o qual definimos como energia potencial elétrica  $U_{el}$ . Assim,

$$U_{el} = \frac{Q\mathcal{V}}{2}. \quad (2.3)$$

Variações da equação acima são obtidas, lembrando que,  $Q = C\mathcal{V}$  ou  $\mathcal{V} = Q/C$ ,

$$U_{el} = \frac{C\mathcal{V}^2}{2} \quad \text{e} \quad U_{el} = \frac{Q^2}{2C}.$$

É possível demonstrar, através de argumentos que vão além da proposta deste trabalho, que a capacitância para um capacitor de placas paralelas é

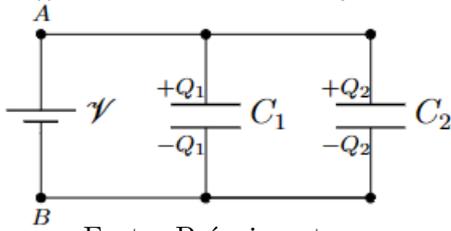
$$C = \epsilon \frac{A}{d},$$

com  $A$  e  $d$ , sendo a área e a distância entre as placas, respectivamente, e  $\epsilon$  a constante de permissividade do meio. No vácuo, seu valor é aproximadamente  $\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ .

<sup>1</sup> Aqui, nos referimos a diferença de potencial (d.d.p), mas, por convenção, o potencial é nulo no infinito, sendo indiferente falar d.d.p ou potencial.

Combinações entre capacitores são úteis para obter um maior aproveitamento de uma ou mais de suas características (carga armazenada, resistência, etc). Em geral, são dois os tipos de associações: *paralelo* e *série*. É possível também fazer um arranjo em que ambas as *ligações* estejam presentes. Para carregar um capacitor é preciso uma fonte de cargas (bateria), tal que, elétrons são retirados de uma placa (ânodo) e transferidos à outra placa (cátodo). O movimento cessa quando as placas *ligadas* diretamente a bateria atingem o mesmo potencial da bateria.

Figura 3 – Conexão em paralelo



Fonte: Próprio autor.

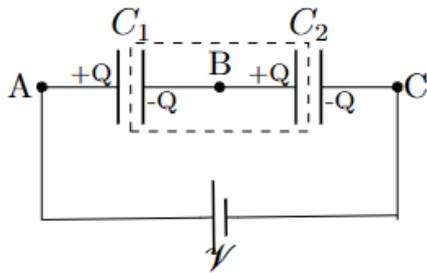
Uma *associação em paralelo* é aquela no qual *todos os capacitores estão conectados ao mesmo polo da bateria* (Figura 3). A diferença de potencial  $\mathcal{V}$  entre as placas de ambos os capacitores é a mesma. A carga total do arranjo (a que saiu da bateria) é  $Q = Q_1 + Q_2$ , e assim

$$Q = C_{eq}\mathcal{V} = Q_1 + Q_2 = C_1\mathcal{V} + C_2\mathcal{V} \Rightarrow C_{eq} = C_1 + C_2 \quad (2.4)$$

onde  $C_{eq}$  é a capacitância de um único capacitor que seria equivalente ao conjunto. Esse resultado nos diz o que fazer quando queremos armazenar uma maior quantidade de cargas sob mesma d.d.p.

Numa *associação em série*, uma placa do conjunto é ligada ao terminal positivo e a outra ao negativo, de modo que os demais elementos são condutores neutros carregados por indução.

Figura 4 – Conexão em série



Fonte: Próprio autor.

Analisando a Figura 4, vemos que o condutor limitado pela região tracejada é neutro (não está ligado *diretamente* a bateria). Quando a carga da placa esquerda do capacitor 1 for  $+Q$  e a da direita do capacitor 2 é  $-Q$ , cargas  $-Q$  e  $+Q$  serão induzidas nas placas opostas de cada um, respectivamente, por indução. Logo, numa associação em série, todos os capacitores ficam com a mesma carga, e nesse caso a d.d.p

$\mathcal{V} = \mathcal{V}_{AB} + \mathcal{V}_{BC}$ . Tomando um circuito com um capacitor equivalente

$$\mathcal{V} = \mathcal{V}_{AB} + \mathcal{V}_{BC} = \frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Em particular, para  $C_1 = C_2 = 2\mu\text{F}$ ,  $C_{eq} = 1\mu\text{F}$ , ou seja, a capacitância é reduzida neste tipo de associação. Em uma associação mista, separamos o circuito em associações em série e em paralelo separadamente, e aplicamos os passos acima discutidos.

### 2.3.2 Corrente elétrica

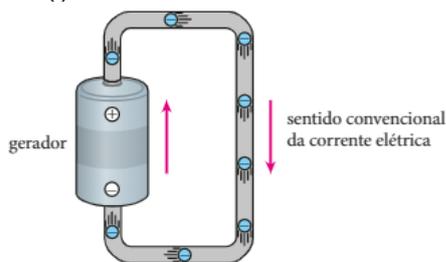
Segundo Yamamoto e Fuke (2013, p. 103) “a corrente elétrica é o movimento ordenado de elétrons livres no interior de um condutor metálico”. Matematicamente, sua intensidade é dada por

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (2.5)$$

No SI, a unidade de corrente é o ampère (A), onde  $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ . Além disso, “por razões históricas, convencionou-se definir como sentido da corrente aquele que corresponderia ao deslocamento de cargas positivas (oposto ao sentido do movimento dos elétrons)” (Nussenzveig, 1997, p. 99).

A Figura 5 representa o sentido real do movimento das cargas num condutor e o sentido adotado para a corrente. Esta convenção não altera os resultados físicos associados

Figura 5 – Sentido da corrente



Fonte: Biscuola, Bôas e Doca (2016).

aos efeitos oriundos da passagem da corrente por um fio condutor. Entre estes efeitos há o efeito magnético, capaz de desviar o sentido de uma bússola quando um fio é percorrido por uma corrente  $i$ , o efeito fisiológico, associado ao choque elétrico e o efeito Joule, quando um condutor se aquece devido sua *resistência* a passagem de corrente elétrica. Há ainda outros efeitos associados a passagem de corrente elétrica, como o luminoso e o químico.

Correntes produzida por pilhas, baterias, carregadores de celulares e *notebooks*, são exemplos de *corrente contínua* (CC), isto é, cujo valor  $i$  mantém-se constante. Em fios residenciais, de alta tensão e, outras aplicações, utiliza-se *corrente alternada* (CA), no qual a intensidade  $i$  varia de forma senoidal com o tempo.

### 2.3.3 Resistência e Leis de Ohm

Há materiais como a borracha, que não conduzem eletricidade, ou seja, não são facilmente atravessados por corrente elétrica. Eles são denominados isolantes. Em oposição, há aqueles que permitem facilmente a passagem de corrente elétrica (fio de cobre, por exemplo), denominados condutores, e portanto possuem baixa resistência.

A resistência  $R$  é entendida como a capacidade que um material possui de opor-se a passagem de corrente elétrica quando submetido a uma d.d.p (Yamamoto e Fuke, 2013). Isso se deve ao fato de elétrons livres se chocarem uns com os outros ou serem desviados enquanto percorrem o material. Em circuitos elétricos, a representação  é usada para um resistor de resistência  $R$ . A unidade de  $R$  é o ohm ( $\Omega$ ).

## 1ª lei de Ohm

Consideremos um resistor de resistência  $R$  submetido a uma d.d.p, cujo valor é  $\mathcal{V}$ , atravessado por uma corrente  $i$ . É um fato experimental que o valor de  $R$  independe do valor de  $\mathcal{V}$  usado para medi-lo (Halliday; Resnick, 1994). Essa lei empírica é denominada primeira lei de Ohm. Resistores que a obedecem são denominados resistores ôhmicos. Graficamente, estes resistores representam uma linha reta passando pela origem<sup>2</sup>. Matematicamente,

$$\mathcal{V} = Ri. \quad (2.6)$$

Analisando esta equação, sabemos que  $\mathcal{V}$  representa a diferença de potencial (positiva) entre as extremidades do resistor cuja corrente  $i$  percorre-o no sentido + para – (Figura 5). Isso significa que, para uma corrente elétrica passando por um resistor, uma queda de potencial  $\mathcal{V} = Ri$  deve ocorrer.

## 2ª lei de Ohm

A resistividade  $\rho$  é uma propriedade da matéria que está associada a resistência  $R$  de um resistor. Para um fio de comprimento  $l$  e área transversal  $A$ ,

$$R = \rho \frac{l}{A}. \quad (2.7)$$

Esta expressão é comumente denominada 2ª lei de Ohm. Essa equação nos diz que, aumentando a área de um fio, sua resistência será diminuída, e menor serão as perdas por calor. Para um fio de cobre, não faz sentido falar em resistividade do fio. A resistividade é uma propriedade do material do qual o fio é feito. Fisicamente, falamos em resistividade do cobre e resistência do fio de cobre.

### 2.3.4 Potência elétrica e o efeito Joule

Sabemos que para movimentar cargas é preciso de um agente que realize esse *trabalho*. Em alguns casos essa energia é proveniente de uma bateria ou pilha. A energia  $U_{el}$  que “sai” da bateria, por unidade de tempo  $\Delta t$  é o que denominamos de potência  $P$ . Como  $U_{el} = \Delta q \mathcal{V}$ ,

$$P = \frac{\Delta q \mathcal{V}}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \mathcal{V} \Rightarrow P = i \mathcal{V}. \quad (2.8)$$

Considerando o caso particular de um resistor pelo qual passa uma corrente  $i$ , um aquecimento é ocasionado gerando uma perda por calor, dizemos que houve uma *dissipação na forma de calor*. Conforme já foi obtido para um resistor,  $\mathcal{V} = Ri$ , e assim, a *potência dissipada*  $P_{dis}$  é dada por:

$$P_{dis} = i \mathcal{V} = i^2 R. \quad (2.9)$$

<sup>2</sup> Veja por exemplo, Yamamoto e Fuke (2013, p. 116).

Em resumo, a potência dissipada (e portanto, a energia dissipada) aumenta, quanto maior a resistência ou a corrente. Além das duas últimas equações, uma outra forma de obter a potência  $P_{dis}$  é trocando  $i$  por  $\mathcal{V}/R$  na equação  $P = i\mathcal{V}$ , obtendo-se:

$$P = \frac{\mathcal{V}^2}{R}. \quad (2.10)$$

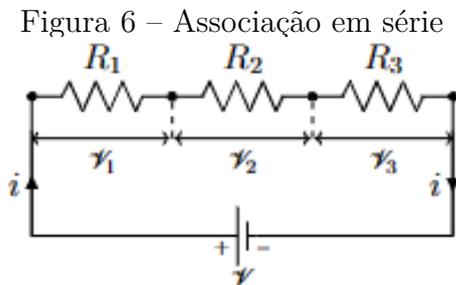
O efeito Joule é um efeito intrínseco a passagem de corrente por qualquer condutor. Dispositivos como ferro de passar, chuveiro elétrico, lâmpadas de filamento e fusíveis são exemplos que funcionam através da aplicação do efeito Joule. No caso dos fusíveis, geralmente constituídos de um filamento de estanho ou chumbo, sua principal função é proteger circuitos elétricos de correntes elevadas. Quando a corrente é muito intensa, a potencia dissipada ( $P_{dis} = i^2R$ ) é alta o suficiente para fundir o fio, rompendo-o e, portanto, interrompendo a passagem de corrente elétrica, evitando possíveis danos a outros elementos.

### 2.3.5 Associação de resistores em circuitos elétricos

Resistores podem ser associados da mesma forma que ocorre com capacitores, ou seja, em série ou em paralelo. Essas associações são necessárias para ajustes no valor da resistência de um circuito específico, afinal, não se produzem resistores com todos os valores de resistência que desejamos. O resistor a ser obtido por meio dessas associações é denominado *resistor equivalente*. Isso significa que toda a associação de resistores é equivalente a único resistor de resistência  $R_{eq}$ .

#### Associação em série

Uma associação de resistores em série *consiste num conjunto de resistores ligados em seqüência, formando um único caminho para a passagem da corrente elétrica* (Fig. 6).



Fonte: Próprio autor.

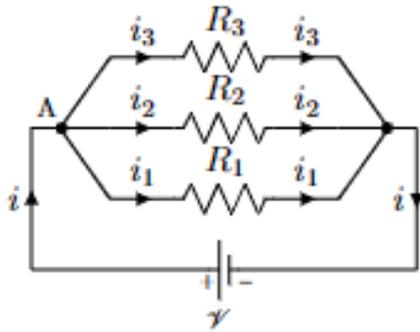
Nosso objetivo é encontrar um resistor único, equivalente a todo o conjunto de resistores associados. A d.d.p total  $\mathcal{V}$  é a soma de cada d.d.p ao longo de cada resistor. Lembre-se que a passagem de uma corrente gera uma queda de potencial  $\mathcal{V} = Ri$  ao atravessar um resistor (1ª lei de Ohm). Assim,  $\mathcal{V}_1 = R_1i$ ,  $\mathcal{V}_2 = R_2i$  e  $\mathcal{V}_3 = R_3i$ . Somando cada valor e analisando a figura 6, a d.d.p total  $\mathcal{V}$  é dada por,

$$\mathcal{V} = \mathcal{V}_1 + \mathcal{V}_2 + \mathcal{V}_3 = (R_1 + R_2 + R_3)i = R_{eq}i. \quad (2.11)$$

Logo, para resistores associados em série, a resistência equivalente é a soma das resistências individuais.

## Associação em paralelo

Figura 7 – Associação em paralelo



Fonte: Próprio autor.

Uma associação de resistores em paralelo, *consiste num conjunto onde todos os resistores ligados estão sob a mesma d.d.p., e portanto, há mais de um caminho para passagem de corrente elétrica* (Figura 7). Novamente, procuramos por um resistor equivalente a todo o conjunto.

Como a corrente que entra pelo ponto A (nó A) é  $i$  e as que saem são  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ , então devemos ter  $i = i_1 + i_2 + i_3$ . Aplicando a 1ª lei de Ohm a cada corrente, obtemos

$$\begin{cases} i_1 = \frac{\mathcal{V}}{R_1} \\ i_2 = \frac{\mathcal{V}}{R_2} \\ i_3 = \frac{\mathcal{V}}{R_3} \end{cases} \Rightarrow i = i_1 + i_2 + i_3 \Rightarrow \frac{\mathcal{V}}{R_{eq}} = \mathcal{V} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (2.12)$$

Comparando os resultados de uma associação em série e em paralelo, vemos que, numa associação em série, a resistência é aumentada, ao passo que quando associamos resistores em paralelo, a resistência do conjunto é reduzida. É possível também associar um conjunto de resistores usando as associações em série e em paralelo simultaneamente; neste caso, a associação é denominada *mista*. Solucioná-la é apenas aplicar de forma separada os resultados já obtidos para as associações em série e em paralelo até chegarmos a único circuito com um resistor equivalente a todo o conjunto.

## 3 A Plataforma *PhET*

O *PhET* (*Physics Education Technology*)<sup>1</sup> é um projeto educacional desenvolvido pela Universidade do Colorado em Boulder, nos Estados Unidos. Ele foi criado com o objetivo de melhorar o ensino e aprendizado de ciências, especialmente física, química, biologia e matemática, por meio de simulações interativas e gratuitas. A ideia era desenvolver simulações que permitissem aos estudantes explorar e compreender conceitos científicos complexos de forma prática e visual.

As simulações *PhET* são projetadas para serem intuitivas e fáceis de usar. Os alunos podem manipular variáveis, realizar experimentos virtuais e observar como as mudanças afetam os sistemas simulados. Isso permite uma experiência de aprendizagem ativa, ajudando os estudantes a construir uma compreensão mais profunda dos princípios científicos.

Algumas características-chave das simulações *PhET* são:

- **Interatividade:** Os alunos podem experimentar diferentes cenários e ver instantaneamente os resultados das mudanças que fazem nas simulações.
- **Flexibilidade:** As simulações são projetadas para vários níveis de conhecimento, desde estudantes do ensino fundamental até universitários.
- **Acessibilidade:** As simulações são gratuitas e amplamente acessíveis a estudantes, educadores ou qualquer pessoa interessada em ciência.
- **Amplas opções de temas:** O *PhET* oferece uma ampla variedade de simulações abrangendo vários tópicos das áreas das ciências.

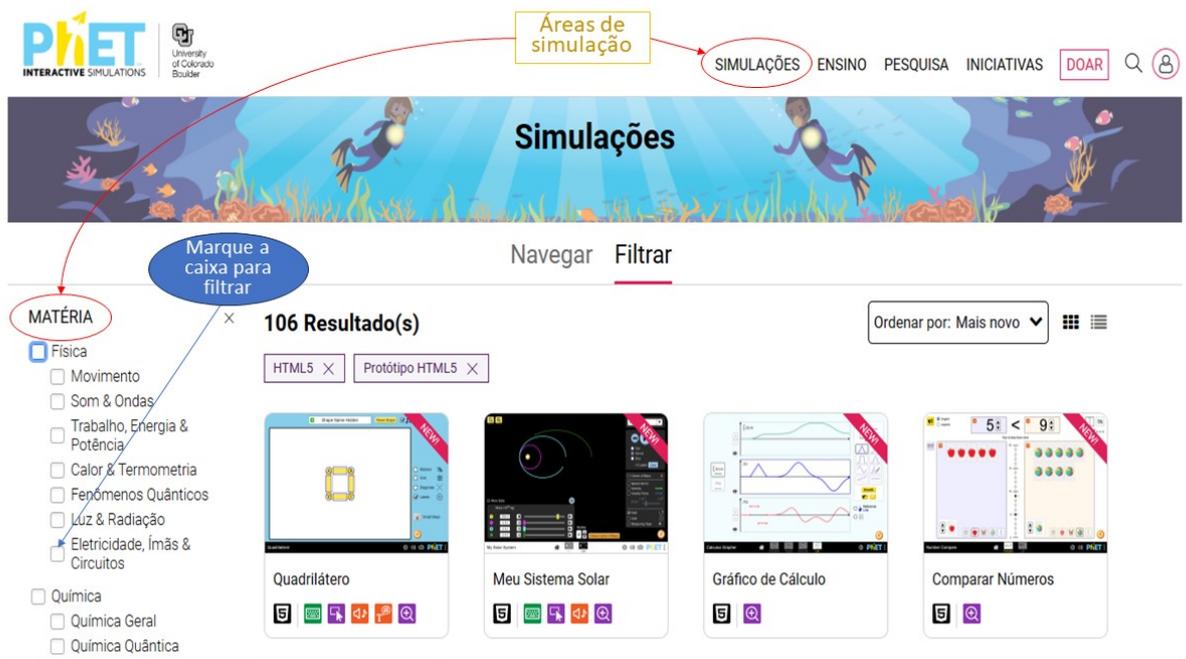
A plataforma também oferece materiais de apoio sobre as simulações para educadores, facilitando a integração das simulações em práticas de ensino. Esses materiais são fornecidos por outros educadores que fizeram ou fazem uso da plataforma.

### 3.1 A interface da Plataforma

A interface básica da plataforma é apresentada abaixo. Nela, estão expostos de forma intuitiva as áreas de aplicação, tipos de simulações e os demais recursos disponíveis. Note que para facilitar é útil marcar a disciplina (área) ao qual o assunto tratado está relacionado. Além disso, dentro de cada área é possível ainda explicitar em qual ramo está incluso o tipo de simulação. Todo esse processo é facilmente realizado pela escolha da caixa correspondente.

---

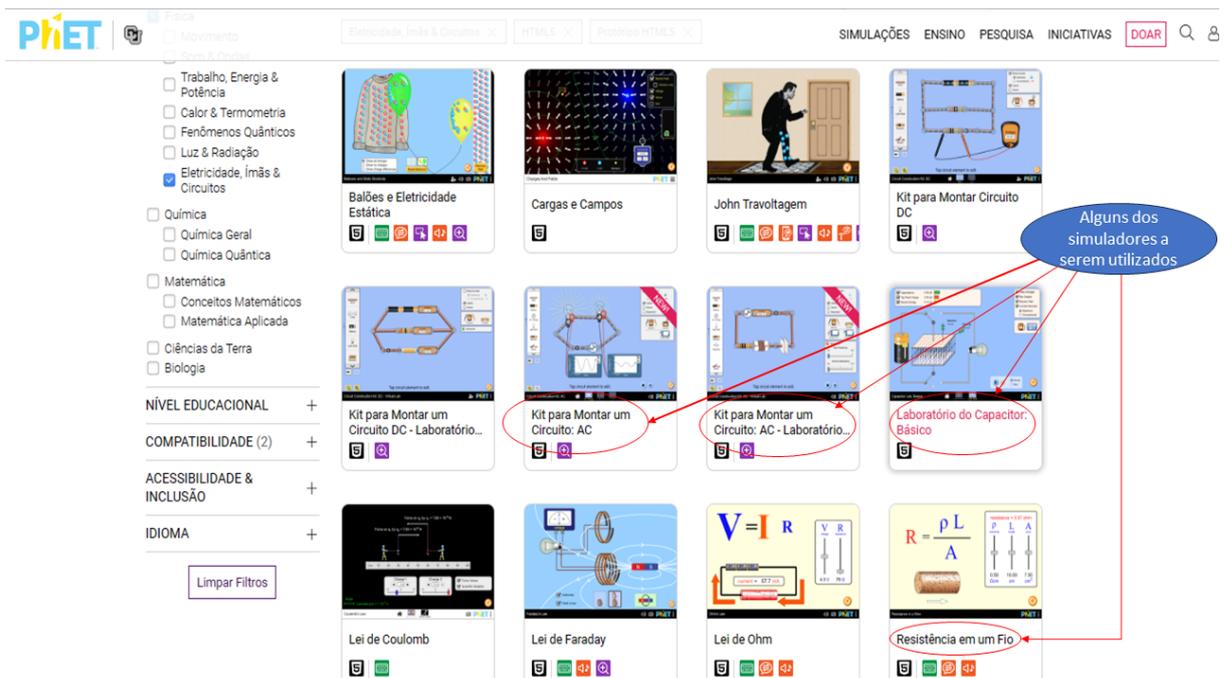
<sup>1</sup> Para acessar, veja Colorado (2023).

Figura 8 – Interface da plataforma *PhET*.

Fonte: Próprio autor.

A figura seguinte ilustra alguns simuladores que este Produto Educacional utiliza. Cada simulador é organizado dentro do que se limita a aula. Observe que a figura mostra quais caixas estão seleccionadas no canto superior esquerdo, representando a área de ensino e seu respectivo ramo ao qual o simulador desejado está vinculado.

Figura 9 – Interface da caixa “Eletricidade, ímãs &amp; Circuitos”.

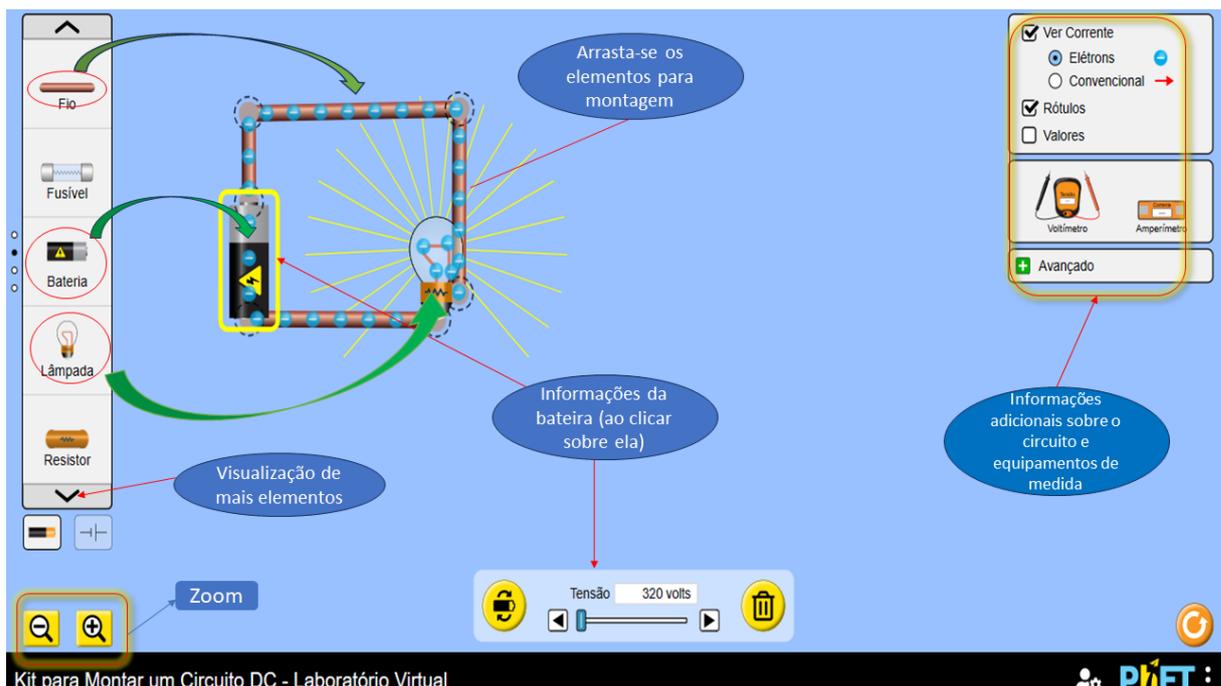


Fonte: Próprio autor.

### 3.2 Conhecendo a interface de um simulador

Para montagem da simulação desejada, basta clicar e arrastar no elemento desejado para a posição escolhida. A figura abaixo mostra como proceder para a montagem de um circuito com uma lâmpada em funcionamento. Alguns elementos podem ter suas propriedades mostradas e alteradas através de um clique sobre ele (veja o caso da d.d.p da bateria).

Figura 10 – Tela do simulador *Kit para montar um Circuito DC - Laboratório Virtual*.



Fonte: Próprio autor.

Neste projeto, dentre os simuladores marcados na figura 9, utilizaremos o simulador *Kit para montar um Circuito AC - Laboratório Virtual* em vez do simulador da figura 10. Isso se deve ao fato de o primeiro possuir mais recursos disponíveis para trabalhar em sala e se adaptar melhor a esse trabalho, como a possibilidade de associar capacitores, entre outros.

## 4 Sessões Didáticas: Execução do Produto

Propõe-se que a turma seja dividida em grupos menores antes de iniciar a aula propriamente dita. Essa divisão fica a critério do estabelecido no Acordo Didático, feito entre o professor e seus alunos. Geralmente, grupos muito numerosos podem tornar mais difícil a mediação das discussões. O propósito da organização em grupos é sempre a de promover discussões entre seus próprios membros (Maturação) e entre os grupos (Solução). Isso pode facilitar a compreensão e a aplicação dos conceitos discutidos em sala de aula.

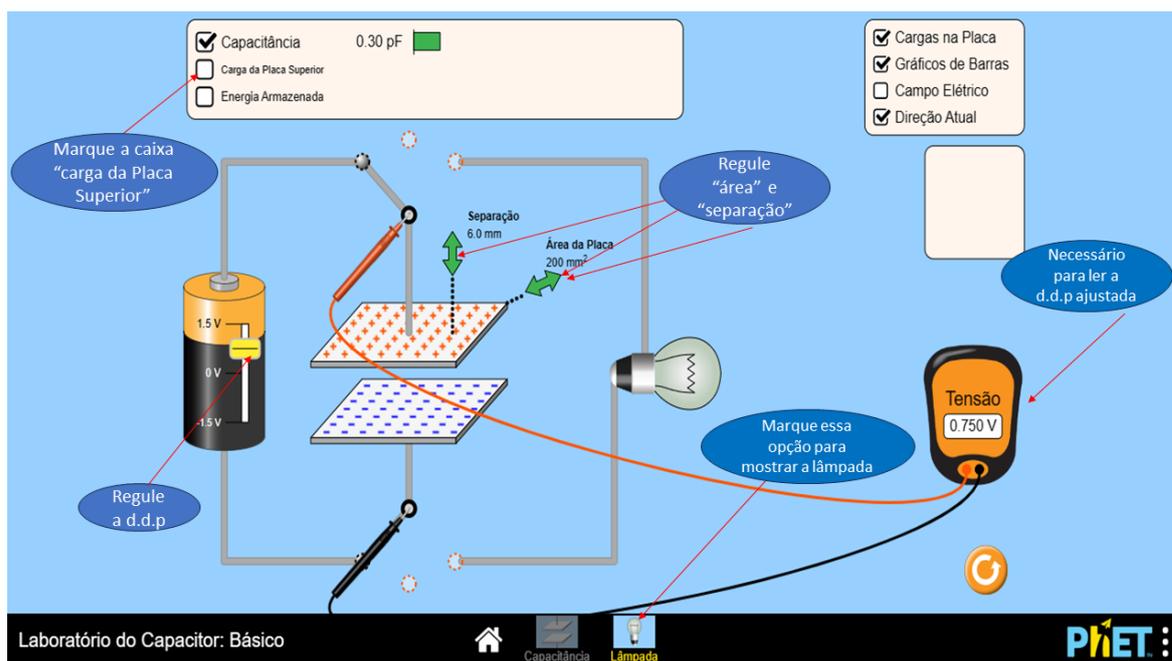
### 4.1 Capacitores e capacitância

Como principal objetivo, utiliza-se a fotografia de “desfibrilador de utilização” para exemplificar o uso de um capacitor, e o simulador “Laboratório do Capacitor: Básico” (Figura 11) para investigar as propriedades associadas a este dispositivo (como o acumulo de cargas e sua dependência com a área ou a distância entre as placas). Essa é a problemática da Tomada de Posição. O tempo estimado é de 50 min.

#### Montagem da modelagem

- Oriente aos grupos que mudem a voltagem e façam as anotações do valor de  $\mathcal{V}$  e  $Q$ . Faça o mesmo para a distância  $d$  e a área  $A$  entre as placas;
- Ligue uma lâmpada ao capacitor carregado e sugira aos grupos anotarem o observado.

Figura 11 – Interface do simulador “Laboratório do Capacitor: Básico”.



Fonte: Próprio autor.

## Analise dos dados da simulação

As etapas Maturação e Solução consistirá nos grupos investigarem e discutirem o que ocorre com a grandeza “Capacitância” ( na parte superior da interface do simulador) quando se alteram parâmetros como a d.d.p da bateria. Para chegar a definição de  $C = Q/V$ , oriente aos grupos que montem a tabela abaixo, com o uso do simulador.

Tabela 1 – Dados: Capacitores e capacitância.

Capacitância $C$	$Q$	$\mathcal{V}$	Razão $\frac{Q}{\mathcal{V}}$
0, 20 pF			
0, 40 pF			
0, 60 pF			
0, 80 pF			

## Exercícios

- 01-) Baseado nos dados da tabela, o que você pode inferir da relação entre a capacitância  $C$  e a razão  $\frac{Q}{\mathcal{V}}$ ?
- 02-) O que é armazenado num capacitor? O que ocorre com um capacitor carregado ao ser ligado a lâmpada? Em que isso diferencia-o de uma bateria?
- 03-) Qual a relação entre a área do capacitor e sua capacitância? E entre a distância entre as placas e a capacitância?

## 4.2 Associação de capacitores

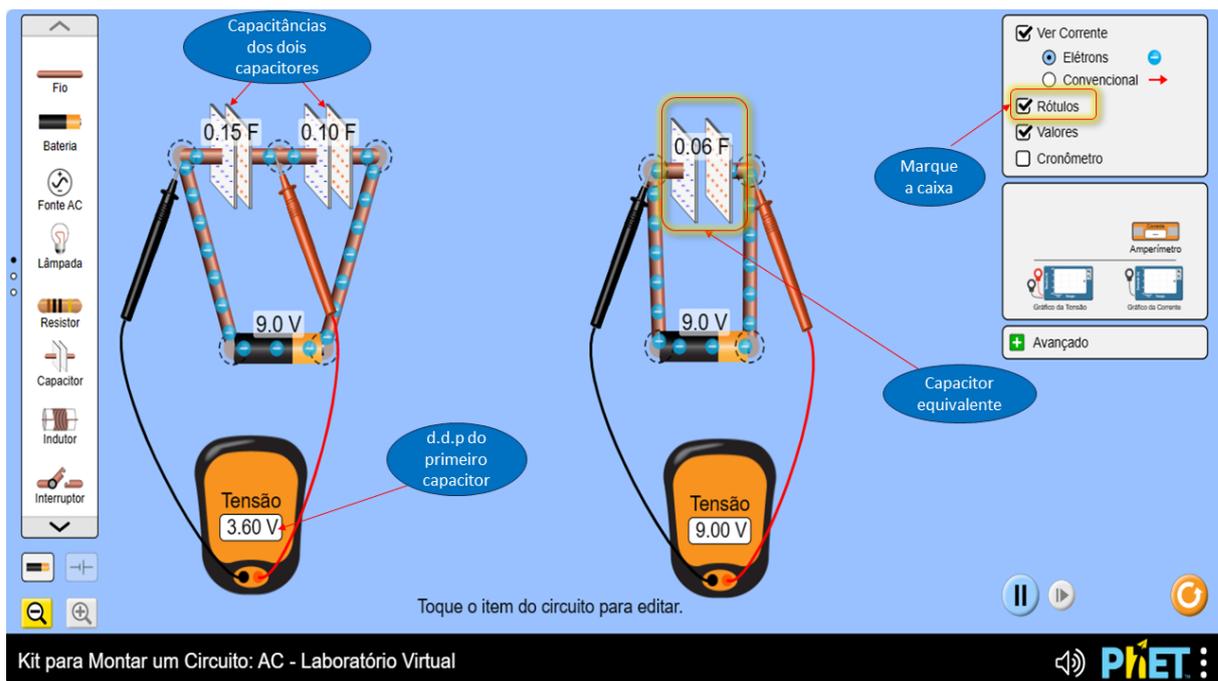
O principal objetivo da aula é capacitar os alunos a distinguirem uma associação em série de uma associação em paralelo, utilizando o “Kit para Montar um Circuito: AC - Laboratório Virtual”. A Tomada de Posição consiste nos grupos encontrem a capacitância de um capacitor equivalente a cada associação. O tempo estimado é de 100 min.

### Montagem da modelagem

- Oriente aos grupos que construam um circuito com dois capacitores ligados um no outro por um dos seus terminais (ligação em série) e marquem a opção “Valores” no simulador.
- Fixado o valor de  $\mathcal{V}$ , e portanto de  $\mathcal{V}_1$  (d.d.p no capacitor 1) e  $\mathcal{V}_2$  (d.d.p no capacitor 2), a relação  $\mathcal{V} = \mathcal{V}_1 + \mathcal{V}_2$  deve ser encontrada. Com capacitâncias  $C_1$  e  $C_2$  definidas (use as da figura abaixo, se desejar), obtenha a carga total  $Q$  do conjunto (a mesma que sai da bateria) através da relação  $Q = C\mathcal{V}$ ;

- Construa, na mesma interface, um outro circuito com a mesma d.d.p, porém, com um ÚNICO capacitor de mesma carga  $Q$ . Use a relação  $Q = C\mathcal{V}$  para encontrar a capacitância equivalente, ajustando seu valor com um clique sobre ele (Figura 12).
- Repita todas as etapas dos itens anteriores para uma associação em paralelo (obs.: nesse caso, a d.d.p é a mesma para os dois capacitores).

Figura 12 – Interface do simulador “Kit para Montar um Circuito: AC - Laboratório Virtual” para uma associação em série de capacitores.



Fonte: Próprio autor.

## Análise dos dados da simulação

Com os dados coletados, é o momento dos grupos entenderem o que significa um capacitor equivalente e qual sua função em cada caso. Além disso, como foco, devem procurar as relações matemáticas entre a capacitância equivalente com as capacitâncias individuais para os dois tipos de associações. Essas são as etapas da Maturação e Solução.

## Exercícios

- 01-) Construa um diagrama que represente capacitores com capacitâncias  $C_1 = 2 \text{ pF}$  e  $C_2 = 4 \text{ pF}$  associados em série. Encontre a capacitância equivalente.
- 02-) Faça o mesmo processo do caso anterior para uma associação em série.
- 03-) Desejamos elevar a capacitância de um conjunto de vários capacitores através de associações. Qual o tipo de associação é apropriado? Justifique sua resposta.

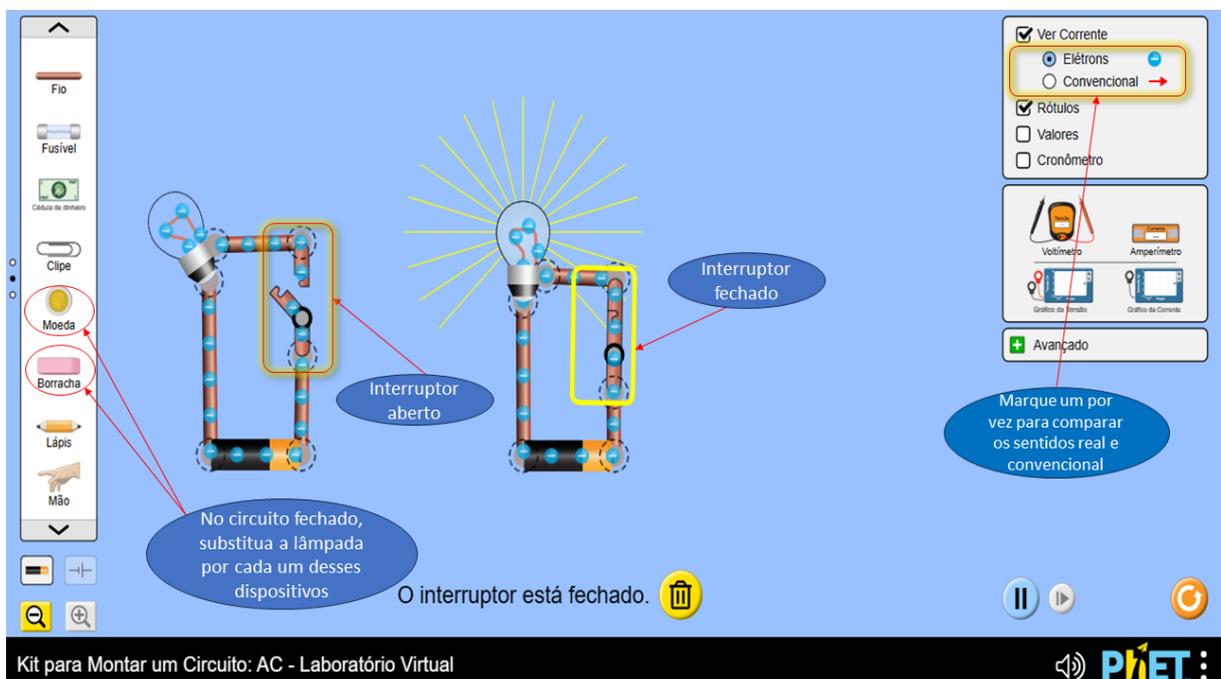
### 4.3 Corrente elétrica

O objetivo é que os alunos compreendam a corrente elétrica como uma propriedade relacionada a condutores, conceituando-a como um movimento ordenado de cargas, com o sentido convencional oposto ao real. Utiliza-se o simulador “Kit para Montar um Circuito: AC - Laboratório Virtual”. A Tomada de Posição consiste nos grupos investigarem o que é corrente elétrica, o que é necessário para sua existência e diferenciar o sentido real das cargas do sentido convencional adotado. O tempo estimado é de 50 min.

#### Montagem da modelagem

- Construa dois circuitos idênticos de uma lâmpada (Figura 13). Feche o interruptor de apenas um deles. No que está com interruptor fechado, troque a lâmpada por uma moeda e depois por uma borracha.
- No canto superior direito, marque a opção “convencional” e peça aos grupos que anotem o observado e que associem os terminais da bateria ao sentido da corrente.
- Varie a d.d.p e associe o valor da corrente a velocidade dos elétrons.

Figura 13 – Circuitos montados para o estudo relacionado a corrente elétrica.



Fonte: Próprio autor.

## Análise dos dados da simulação

Das observações procedimentais orientadas acima, cada grupo discutirá que o fato de haver cargas livres para se movimentar não garantirá a existência de corrente, além disso, devem concluir que nem todos os materiais permitem a passagem de corrente elétrica (Maturação e Solução). O professor deve formalizar o conteúdo utilizando os argumentos apresentados pelos alunos e observados na simulação (Prova).

### Exercícios

01-) Qual a carga que atravessa um fio condutor durante um tempo  $\Delta t = 5$  s quando a corrente  $i = 2$  A.

02-) Explique porquê os fios de instalações residenciais são envoltos por uma camada de plástico? Você diria que o plástico é um isolante ou um condutor de eletricidade?

## 4.4 Leis de Ohm

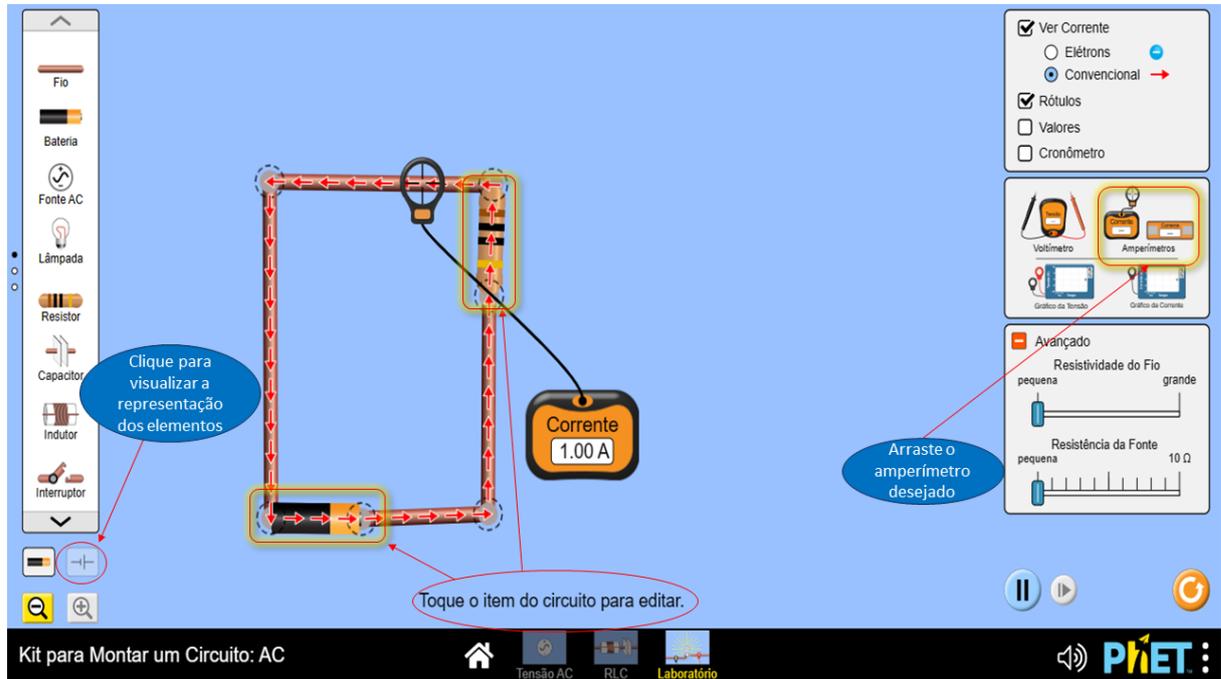
Espera-se que os alunos compreendam o que é a resistência elétrica de um dispositivo e sua relação com a d.d.p (1ª lei de Ohm), bem como sejam capazes de compreender a 2ª lei de Ohm. Utiliza-se os simuladores “Kit para Montar um Circuito: AC<sup>1</sup>” e “Resistência de um fio”. O tempo estimado é 100 min.

### Montagem das modelagens

- Monte um circuito como o da figura abaixo. Varie a d.d.p da bateria de modo que cada grupo preencha a Tabela 2 com os dados obtidos.
- Mude o valor da resistência (ainda não definido para os alunos) do resistor e avalie o comportamento da corrente.
- Apresente a 1ª lei de Ohm e, através da Tabela 2, defina a resistência de um dispositivo. Troque o resistor por uma lâmpada para exemplificar sua aplicação. Mostre a representação de um resistor num circuito.
- Utilize o simulador “Resistência de um fio” para construir a 2ª lei de Ohm. Altere os parâmetros envolvidos e solicite aos grupos que analisem o que ocorre com a resistência mediante essas variações.
- Diferencie resistividade de um material da resistência de um dispositivo. Use aplicações para dar maior contundência a essa diferença.

<sup>1</sup> Apenas aqui utilizamos esse simulador, justificado pela ludicidade adicional quanto ao tipo de amperímetro apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Interface do simulador “Kit para Montar um Circuito: AC”. Simulação de um circuito para a construção da 1ª lei de Ohm.



Fonte: Próprio autor.

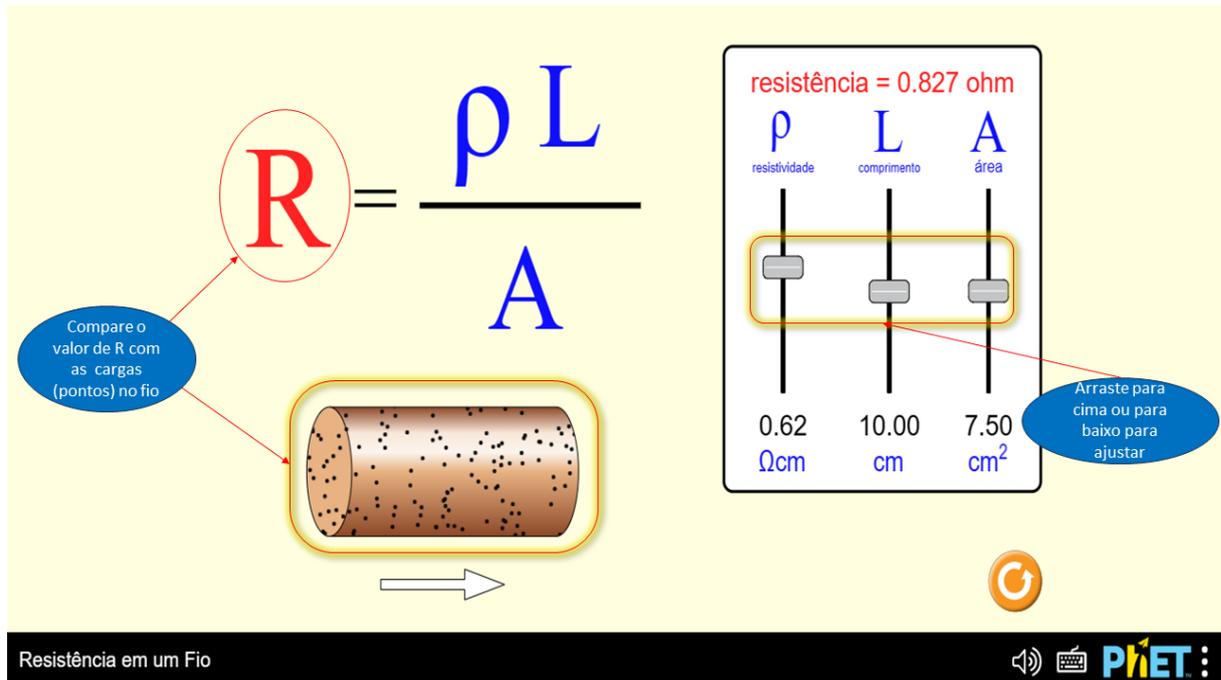
## Análise dos dados da simulação 1

A simulação 1 consistirá nos grupos explorarem apenas a construção dos conceitos envolvidos na 1ª lei de Ohm. Sugere-se que essa atividade seja primeiramente concluída para iniciar a simulação associada a 2ª lei de Ohm. Cada grupo deverá preencher a tabela abaixo com valores obtidos da simulação realizada em sala. Além disso, os grupos deverão ser capazes de observar que a razão  $\mathcal{V}/i$  se mantém constante e portanto, a grandeza associada a ela independe dessa razão (Maturação e Solução). A prova poderá realizada através dos dados da tabela.

Tabela 2 – Dados da simulação

diferença de potencial $\mathcal{V}$	Intensidade da corrente $i$	Razão $\frac{\mathcal{V}}{i}$

Figura 15 – Interface do simulador “Resistência em um Fio”.



Fonte: Próprio autor.

## Análise dos dados da simulação 2

Com a área fixa (digamos,  $A = 7,5 \text{ cm}^2$ ), cada grupo deverá preencher a tabela abaixo variando o comprimento  $l$  do fio. O que se pode concluir da relação entre  $R$  e  $l$ ?

Tabela 3 – Dados da simulação

Resistência $R$	Comprimento $l$

Com o comprimento fixo (digamos,  $l = 10 \text{ cm}$ ), cada grupo deverá preencher a tabela abaixo variando a área  $A$ . O que se pode concluir da relação entre  $R$  e  $A$ ?

Tabela 4 – Dados da simulação

Resistência $R$	Área $A$

## Exercícios

- 01-) Baseado nos dados da Tabela 2, desenhe um gráfico colocando os valores de  $\mathcal{V}$  no eixo vertical e de  $i$  no eixo horizontal. Qual o nome da curva obtida e o que ela representa?
- 02-) Uma lâmpada é atravessada por uma corrente  $i = 0,5 \text{ A}$  quando a d.d.p é  $220 \text{ V}$ . Qual a resistência da lâmpada?
- 03-) Aplica-se uma d.d.p de  $220 \text{ V}$  num fio de  $10 \text{ m}$  de comprimento, cuja área transversal é  $A = 2,2 \text{ mm}^2$ . Se a intensidade da corrente é  $i = 10 \text{ A}$ , qual o valor da resistividade  $\rho$  desse material? (Lembre-se de trabalhar com as mesmas unidades).

## 4.5 Associações de resistores

O objetivo principal é que ao final da aula os alunos sejam capazes de identificar e diferenciar uma associação de resistores em paralelo de uma associação em série. Além disso, devem ser capazes de calcular a resistência equivalente em cada caso e compreender a finalidade de cada tipo de associação. Utiliza-se o simulador “Kit para Montar um Circuito: AC - Laboratório Virtual”. O tempo estimado é  $100 \text{ min}$ .

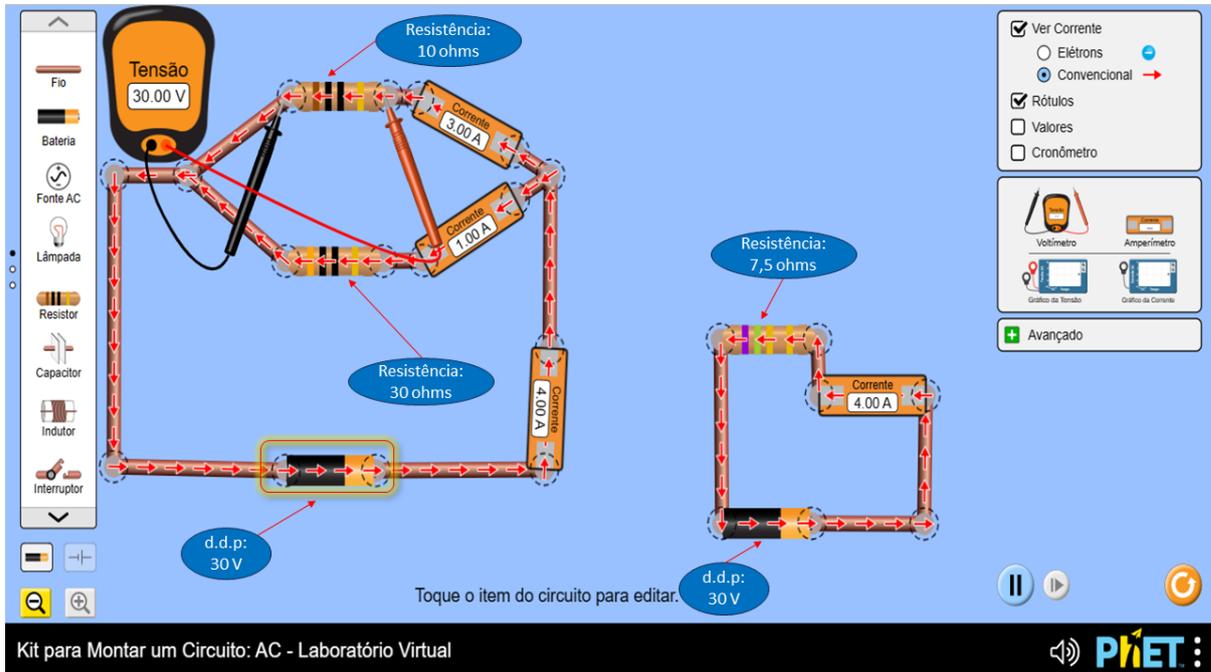
### Montagem das modelagens

- Os grupos deverão construir um circuito com dois resistores ligados sob a mesma d.d.p (ligação em paralelo), conforme a Figura 16 (se desejar, use os valores dela).
- Verifique que a soma das correntes que saem de um nó é igual a corrente que entra. Posicione um voltímetro nas extremidades de cada resistor e verifique que a d.d.p neles é a mesma da bateria.
- Construa outro circuito com os mesmos valores da d.d.p e corrente do primeiro circuito, ajustando a resistência do resistor equivalente.
- Faça o mesmo processo para resistores em série. Como só há um caminho para a corrente, ao invés de dois amperímetros, são necessários dois voltímetros (Figura 17).

### Análise dos dados da simulação (Associação em paralelo).

Com os dados coletados é o momento dos grupos procurarem a relação matemática entre a resistência equivalente e as resistências individuais para esse tipo de associação (Maturação e Solução). Para a formalização do conteúdo (Prova) de uma associação em paralelo, utilize as observações do item 2 e aplique a 1ª lei de Ohm aos dois circuitos: circuito com associação em paralelo e o circuito equivalente.

Figura 16 – Interface do simulador “Kit para Montar um Circuito: AC - Laboratório Virtual” para uma associação de resistores em paralelo.

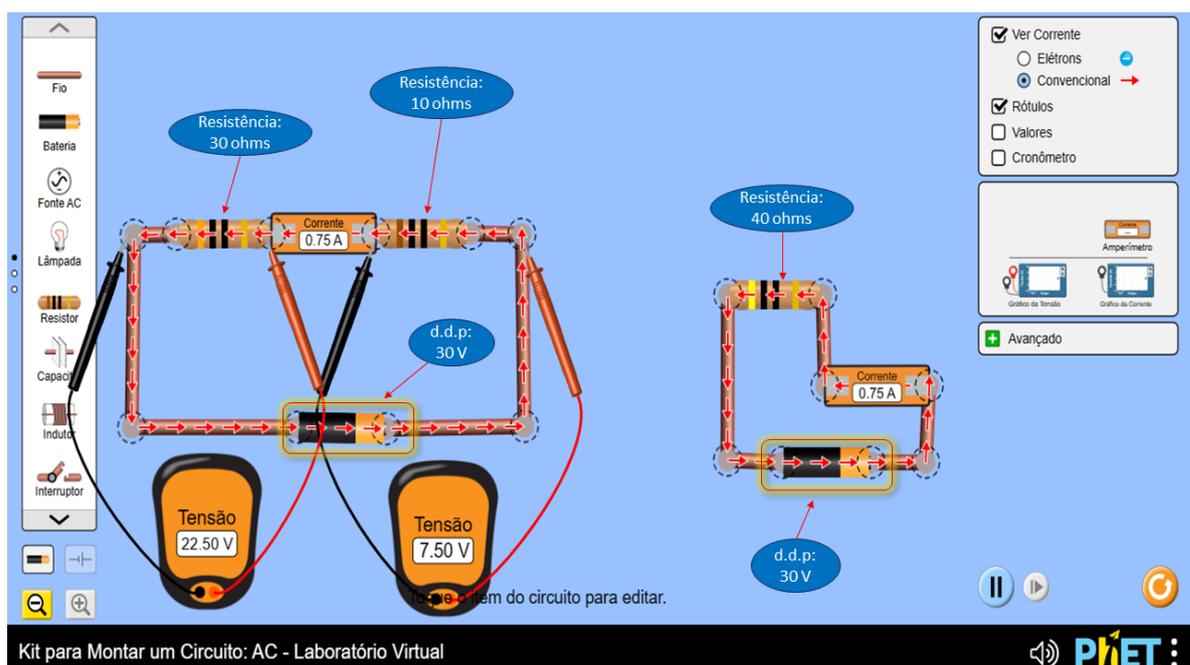


Fonte: Próprio autor.

## Análise dos dados da simulação (Associação em série).

Nesse caso, pode não ser necessário utilizar a 1ª lei de Ohm. Intuitivamente, cada grupo pode inferir que a soma das resistências individuais é a resistência equivalente.

Figura 17 – Interface do simulador “Kit para Montar um Circuito: AC - Laboratório Virtual” para uma associação de resistores em série.



Fonte: Próprio autor.

## Exercícios

01-) Analisando os dados das simulações, o que ocorre com a d.d.p e com a corrente quando associamos dois ou mais resistores em paralelo? E em série?

02-) Preencha a tabela abaixo com a resistência equivalente para dois resistores associados em paralelo.

Tabela 5 – Dados da simulação

Resistências individuais	Resistência equivalente
10 $\Omega$ e 30 $\Omega$	
30 $\Omega$ e 70 $\Omega$	
100 $\Omega$ e 220 $\Omega$	

03-) Faça o mesmo para a tabela abaixo, mas desta vez com os resistores associados em série.

Tabela 6 – Dados da simulação

Resistências individuais	Resistência equivalente
10 $\Omega$ e 30 $\Omega$	
30 $\Omega$ e 70 $\Omega$	
100 $\Omega$ e 220 $\Omega$	

## 4.6 Circuito residencial simples: Aplicação das associações.

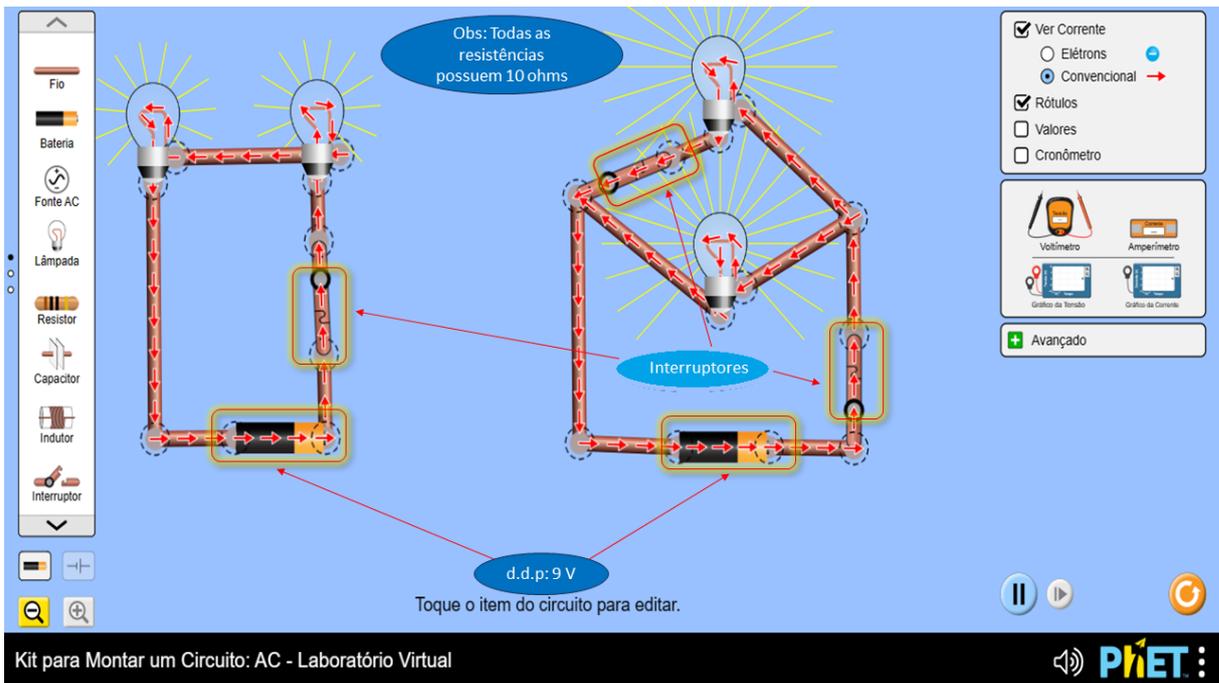
O objetivo principal é que ao final da aula os alunos sejam capazes de identificar o tipo de ligação apropriada para uma associação de duas ou mais lâmpadas numa residência. Também aborda-se de forma conceitual a ideia de conversão de energia elétrica em outras formas de energia e apresenta-se o efeito Joule como exemplo de conversão em energia térmica. Utiliza-se os simulador “Kit para Montar um Circuito: AC - Laboratório Virtual”. O tempo estimado é 50 min.

### Montagem das modelagens

- Cada grupo deve construir um circuito com duas lâmpadas ligadas em série. Varie a d.d.p associando qualitativamente o brilho observado à potência das lâmpadas.
- Instigue os grupos a analisarem por que uma bateria ligada a uma lâmpada tende a descarregar e para onde vai a energia da bateria. Exemplifique também a conversão de energia elétrica em térmica (efeito Joule).

- Na mesma interface, construa outro circuito com duas lâmpadas associadas em paralelo. Compare os resultados das duas associações para uma mesma d.d.p. Conecte e desconecte umas das lâmpadas associadas em paralelo e explique o observado em cada caso.

Figura 18 – Lâmpadas associadas em série e em paralelo.



Fonte: Próprio autor.

## Análise dos dados da simulação

Cada grupo deverá discutir e ser capaz de argumentar qual o tipo de associação de lâmpadas é mais apropriado para ligar duas ou mais lâmpadas residenciais. Além disso, deverão compreender o que ocorre ao desligar um interruptor numa associação em série e em paralelo (Maturação e Solução). A formalização do conteúdo (Prova) poderá ser construída através de observações levantadas da própria simulação.

## Exercícios

- 01-) Desenhe um circuito que represente uma instalação residencial com três lâmpadas (Obs.: Lembre-se do tipo de associação indicada para esse caso).
- 02-) Pesquise exemplos de dispositivos que funcionam como aplicação direta do efeito Joule.
- 03-) Um resistor ôhmico cuja resistência  $R = 30 \Omega$  é atravessado por uma corrente de  $i = 3 \text{ A}$ . Qual a energia dissipada na forma de calor durante 1 min?

## 5 Considerações Finais

Embora este Produto Educacional tenha sido desenvolvido para o ensino médio, é possível utilizar algumas de suas orientações didáticas para aplicá-lo a nível de fundamental II. Obviamente, apenas com o intuito de estabelecer o entendimento de alguns conceitos físicos, dando uma maior importância a informações do ponto de vista qualitativo, evitando ao máximo a inserção de formalismos (fórmulas), o que não é exigido nesta etapa da Educação Básica.

Uma análise semelhante talvez possa ser inferida ao nível técnico. Todavia, neste caso, tanto os conceitos físicos quanto o formalismo deles são explorados em maior profundidade, de modo que o tratamento dado a física está além do aqui apresentado. Nesse caso, talvez, a forma como as simulações estão organizadas sirvam, no máximo, para uma introdução ou revisão dos conceitos a serem discutidos.

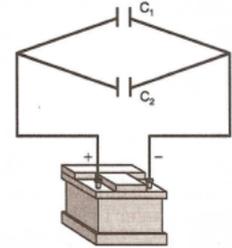
# Referências

- BEZERRA, A. M. A. O plateau como elemento de reflexão e melhoria das práticas escolares. In: NETO, B. (Org.). *Sequência Fedathi: fundamentos*. Curitiba: CRV, 2018. cap. 8, p. 67–71.
- BISCUOLA, J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. *Física 3: eletricidade, física moderna*. São Paulo: Saraiva, 2016.
- BONJORNO, R. A.; BONJORNO, J. R.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M. Física completa: ensino médio: volume único. *São Paulo: FTD*, 2000.
- COLORADO, U. *Phet Interactive Simulations*. 2023. Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/)>. Acesso em: 30 jul. 2023.
- FONTENELE, F. C. F. Maturação. In: NETO, B. (Org.). *Sequência Fedathi: fundamentos*. Curitiba: CRV, 2018. cap. 11, p. 87–92.
- HALLIDAY D.; RESNICK, R. *Física 3*. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.
- MENDONÇA, A. F. Situação adidatica. In: NETO, B. (Org.). *Sequência Fedathi: fundamentos*. Curitiba: CRV, 2018. cap. 2, p. 23–26.
- MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.
- NETO, H. B. Sequência fedathi: fundamentos. *Curitiba: Crv*, 2018.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Basica 3 - Eletromagnetismo*. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.
- SANTANA, A. C. S. Mão no bolso: postura, metodologia ou pedagogia? In: NETO, B. (Org.). *Sequência Fedathi: fundamentos*. Curitiba: CRV, 2018. cap. 1, p. 15–21.
- SANTANA, J. R.; NETO, H. B.; ROCHA, E. M. A seqüência fedathi: uma proposta de mediação pedagógica no ensino de matemática. SBEM, p. 11p., 2004.
- SOUSA, F. E. E. *A pergunta como estratégia de mediação didática no ensino de matemática por meio da Sequência Fedathi*. 2015. Tese (Doutorado em Educação) — Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/14363>>. Acesso em: 10 mai. 2023.
- SOUZA, A. M. *A Sequência Fedathi para uma Aprendizagem Significativa da função afim: uma proposta didática com o uso do software Geogebra*. 2015. 55-120. p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) — Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/12959>>. Acesso em: 25 jun. 2023.
- TAVARES, R. Aprendizagem significativa. *Revista conceitos*, v. 10, n. 55, p. 55–60, 2004.
- YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. *Física para o Ensino Médio 3*. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.



Nome:	Turma:
Escola:	Data:

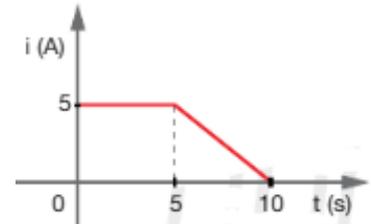
01-) (UFES) Dois capacitores, de capacitâncias  $C_1 = 2 \mu\text{F}$  e  $C_2 = 1 \mu\text{F}$  estão ligados a uma bateria, conforme mostra a figura ao lado. A diferença de potencial entre as placas de  $C_1$  é  $V = 6 \text{ V}$ . A diferença de potencial entre as placas de  $C_2$  e sua carga é dada por:



- (A) 3 V e  $12 \mu\text{C}$  (D) 12 V e  $12 \mu\text{C}$   
 (B) 6 V e  $6 \mu\text{C}$  (E) 12 V e  $24 \mu\text{C}$   
 (C) 6 V e  $24 \mu\text{C}$

Fonte: Bonjorno et al. (2000, p.645).

02-) (FAFEOD-MG) Uma corrente elétrica atravessa um condutor cuja intensidade varia no tempo e está descrita no gráfico ao lado. Qual é a quantidade de carga que atravessa esse condutor no intervalo de 5 s à 10 s?



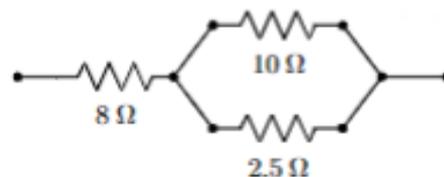
- (A) 37,5 C (D) 12,5 C  
 (B) 25,0 C (E) 7,5 C  
 (C) 50,0 C

Fonte: Bonjorno et al. (2000, p.646).

03-) (Unisinos-RS) Nas campanhas para alertar a população sobre a importância de economizar energia, sugere-se não ligar eletrodomésticos no horário de pico, entre 18 h e 21 h (*Zero Hora*, 03/11/97). A energia elétrica consumida por um ferro de engomar, de 900 W, ao permanecer ligado durante 10 min, é de:

- (A) 0,15 kW/h (B) 1,5 W/s (C) 540.000 kWh (D) 540.000 J (E) 540.000 cal.

04-) Três resistores, de resistências elétricas  $R_1 = 8,0 \Omega$ ,  $R_2 = 10,0 \Omega$  e  $R_3 = 2,5 \Omega$ , estão associados conforme a figura abaixo. A resistência elétrica equivalente da associação é:

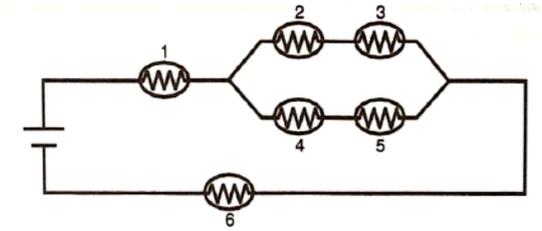


- (A)  $1,6 \Omega$   
 (B)  $10 \Omega$   
 (C)  $20,5 \Omega$   
 (D)  $30 \Omega$   
 (E)  $43 \Omega$

Fonte: Bonjorno et al. (2000, p.521). Adaptada.

05-) (UFES) Uma árvore de Natal é iluminada com um circuito de lâmpadas semelhantes, conforme indicado na figura. Considerando que a lâmpada 2 se queima, quais as lâmpadas que permanecerão acesas?

- (A) Todas as outras
- (B) As lâmpadas 1, 4 e 5.
- (C) As lâmpadas 1 e 6
- (D) As lâmpadas 1, 4, 5 e 6
- (E) Nenhuma lâmpada permanecerá acesa.



Fonte: Bonjorno et al. (2000, p.648).

06-) Suponha que você deseje ligar duas lâmpadas de filamento a uma fonte de alimentação (bateria) ou acioná-las por um interruptor (tomada). Baseado no que você aprendeu, é mais apropriado ligá-las em série ou em paralelo? Faça um esquema (desenho) representando essa situação. Coloque o sentido convencional da corrente com as lâmpadas em funcionamento.