

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO FEDERAL SUDESTE DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

Sérgio Luiz França

**QUADRO AC PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO:
UM RECURSO DIDÁTICO PARA AULAS PRÁTICAS EM TURMAS COM
MUITOS ALUNOS**

**Juiz de Fora
2021**

Sérgio Luiz França

**QUADRO AC PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO:
UM RECURSO DIDÁTICO PARA AULAS PRÁTICAS EM TURMAS COM
MUITOS ALUNOS**

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador : Prof. Dr. Bruno Gonçalves
Coorientador: Prof. Dr. Bruno Ferreira Rizzuti

Juiz de Fora
2021

França, Sérgio Luiz.

QUADRO AC PARA O ENSINO DO ELETROMAGNETISMO: UM RECURSO DIDÁTICO PARA AULAS PRÁTICAS EM TURMAS COM MUITOS ALUNOS. / Sérgio Luiz França. -- 2021.

118 f.

Orientador: Bruno Gonçalves

Coorientador: Bruno Ferreira Rizzuti

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Física, 2021.

1. Circuitos Elétricos.. 2. Eletricidade.. 3. Quadro Didático.. I. Gonçalves, Bruno, orient. II. Rizzuti, Bruno Ferreira, coorient. III. Título.

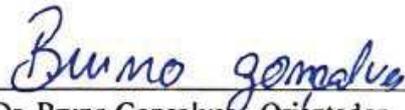
Sérgio Luiz França

**QUADRO AC PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO:
UM RECURSO DIDÁTICO PARA AULAS PRÁTICAS EM TURMAS COM
MUITOS ALUNOS**

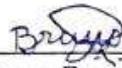
Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Aprovada em 17 de MARÇO de 2021

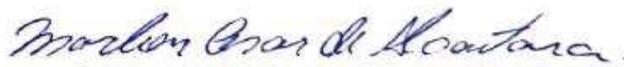
BANCA EXAMINADORA



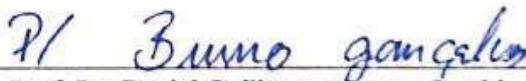
Prof. Dr. Bruno Gonçalves - Orientador
Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais



Prof. Dr. Bruno Ferreira Rizzuti - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Marlon César de Alcântara
Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais



Prof. Dr. Daniel Guilherme Gomes Sasaki
Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro

Dedico esta dissertação aos meus filhos Victor e Guilherme na esperança de que eles entendam que um obstáculo é na verdade uma mola propulsora que nos lança de encontro ao objetivo que projetamos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus a oportunidade e de ter me amparado nas horas mais difíceis da minha jornada permitindo que eu evoluísse mais um pouco.

Agradeço a minha querida mãe pela logística, o companheirismo e a compreensão dispensada durante a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu saudoso pai (*in memoriam*) pelos ensinamentos deixados por ele em nossa curta convivência.

Agradeço, em especial, ao meu orientador, Prof. Dr. Bruno Gonçalves pela competência, disponibilidade, companheirismo e dedicação que dispensou na orientação para a construção desta dissertação.

Agradeço, de forma também especial, ao meu coorientador Prof. Dr. Bruno Ferreira Rizzuti pela competência e comprometimento que ajudaram muito para que eu chegasse ao final do mestrado.

Agradeço muito a colaboração dos amigos Mário Márcio, Márcio Fernandes e José Francly que colaboraram muito na construção do produto que gerou este trabalho.

Agradecimento também a todos os professores envolvidos no Pólo 24 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física que sempre foram companheiros e dispensaram grande atenção ao meu aprendizado.

Agradeço a todos os professores do IF SUDESTE MG, *campus* Juiz de Fora, que me forjaram no professor que sou hoje.

Agradeço a todos, mesmo àqueles que não foram citados aqui, mas que trilharam comigo essa caminhada, pela companhia na jornada.

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

“Tanto quanto a educação, a investigação que a ela serve tem de ser uma operação simpática, no sentido etimológico da expressão. Isto é, tem de constituir-se na comunicação, no sentir comum, uma realidade que não pode ser vista mecanicistamente compartimentada, simplistamente bem “comportada”, mas na complexidade de seu permanente vir a ser.” (FREIRE, 1987)

RESUMO

Nesta dissertação apresentamos o Quadro AC (AC é a sigla em inglês para Corrente Alternada). É uma tecnologia educacional que tem a finalidade de facilitar o ensino de circuitos elétricos com corrente alternada. Com ele pode-se realizar vários experimentos como ligações em série, em paralelo e mistas; medir a tensão e a intensidade da corrente elétrica durante os experimentos; explorar o funcionamento de um fotosensor, de um potenciômetro, de um transformador e do anel de Thomson. Além disso, com o Quadro é possível abordar também a lei das malhas, a lei do nós (leis de Kirchhoff) e a lei da indução de Faraday de forma investigativa. Ele pode ser utilizado em cursos regulares do Ensino Médio, cursos técnicos e superiores. Os seus pontos principais são a segurança para o usuário, o fácil manuseio e sua replicação. Apresentamos ainda um manual que detalha sua construção e permite ao professor construí-lo com a utilização de um ferramental doméstico e o uso de materiais de baixo custo. Explicamos o funcionamento detalhado de cada parte do produto através do seu manual e apresentamos um método de aplicação em sala de aula com uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI) própria para o Quadro AC. A SEI permite a utilização do quadro por uma turma com muitos alunos de tal forma que todos participem durante toda a aula. Foi notável o engajamento da turma na atividade de construção dos experimentos. Os alunos exploraram de forma investigativa os elementos que compõem o Quadro AC e interagiram de forma ativa na discussão dos resultados produzidos por cada grupo ao executar as tarefas. As análises da aula foram feitas pelo professor com a utilização de diagramas de Venn. Essa análise permitiu visualizar a interação entre os componentes do Quadro e pode fornecer ao professor subsídios para tomada de decisões em relação ao aproveitamento da aula experimental com base nos conteúdos teóricos apresentados. A análise pode mostrar a necessidade de mudanças nos procedimentos como a teoria foi apresentada em sala de aula.

Palavras-chave: Circuitos elétricos. Eletricidade. Quadro didático.

ABSTRACT

In this dissertation, we present the Quadro AC (AC is the acronym in English for Alternating Current). It is an educational technology which aims to facilitate the teaching of electrical circuits with alternating current. With it, several experiments can be performed such as serial, parallel and mixed connections; to measure the tension and intensity of electric current during the experiments; explore the operation of a photosensor, a potentiometer, transformer and Thomson ring. It is also possible to approach in an investigative manner the Kirchhoff's laws and the law of Faraday's induction. It can be used in high school, technical and higher courses. Its main points are the user safety, easy handling and replication. The Quadro has a manual that details its construction and allows the teacher to build it with a household tooling and the use of low-cost materials. We explain the detailed operation of each part of the product through its manual and we present a method of application in the classroom with an Investigative Teaching Sequence (ITS) for the Quadro AC. The ITS allows the use of the Quadro by a class with many students in such a way that everyone participates throughout its application. The engagement of the class in the construction of experiments was remarkable. The students explored in an investigative way the elements that compose the Quadro and interacted actively discussing the results produced by each group when performing the proposed tasks. The class analysis were made by the teacher using Venn diagrams. This analysis allowed visualizing the interaction between the components of the Quadro and can provide the teacher with subsidies to make decisions regarding the use of experimental activities based on the theoretical contents presented. The analysis may show the need of changes in procedures as the theory was presented in the class.

Keywords: Electrical circuits. Electricity. Didactic board.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Protótipo do Quadro AC, antes do MNPEF.....	01
Figura 2 – Quadro AC, após o MNPEF.....	02
Figura 3 – Vista traseira do Quadro mostrando a armazenagem dos componentes.....	16
Figura 4 – Nomeação dos itens do Quadro.....	17
Figura 5 – Associação de resistores em série.....	18
Figura 6 – Associação de resistores em série no Quadro.....	19
Figura 7 – Associação de resistores em paralelo.....	20
Figura 8 – Associação de resistores em paralelo no Quadro.....	21
Figura 9 – Associação mista simples de resistores.....	22
Figura 10 – Adaptador para nó.....	22
Figura 11 – Associação mista de resistores no Quadro.....	22
Figura 12 – Ligação do voltímetro.....	23
Figura 13 – Ligação do voltímetro no Quadro.....	24
Figura 14 – Ligação do amperímetro.....	25
Figura 15 – Ligação do amperímetro no Quadro.....	26
Figura 16 – Ponte de diodos.....	27
Figura 17 – Gráfico da voltagem original (senoidal).....	29
Figura 18 – Gráfico da voltagem retificada.....	30
Figura 19 – Sensor fotoelétrico.....	31
Figura 20 – Potenciômetro.....	32
Figura 21 – Anel desligado.....	33
Figura 22 – Bobina desligada.....	34
Figura 23 – Bobina ligada (anel saltante).....	35
Figura 24 – Montagem das bobinas primária e secundária.....	36
Figura 25 – Medições com a utilização do transformador.....	37
Figura 26 – Graus de liberdade oferecido aos alunos.....	40
Figura 27 – Local no formulário para registro do problema.....	42
Figura 28 – Local no formulário para registro da crítica sobre a hipótese utilizada.....	44
Figura 29 – Local no formulário para registro das informações para a aula de reflexão..	45
Figura 30 – Parte superior da tabela criada com os dados obtidos.....	46
Figura 31 – Professor mostrando o funcionamento do Quadro AC.....	50
Figura 32 – Protoboard do Quadro AC.....	51
Figura 33 – Alunos preenchendo o formulário do Anexo 1.....	54

Figura 34 – Alunos realizando o experimento.....	54
Figura 35 – Quadro de itens para as questões.....	57
Figura 36 – Questão formulada: exemplo 01.....	58
Figura 37 – Questão formulada: exemplo 02.....	59
Figura 38 – Percentual de utilização de cada elemento nos experimentos.....	60
Figura 39 – Participação dos Grupos na formulação das questões.....	61
Figura 40 – Componentes do Grupo 4 usados na formulação das questões.....	62
Figura 41 – Diagrama de Venn para medidores, ligações em série e em paralelo.....	64
Figura 42 – Diagrama de Venn para voltímetro e amperímetro.....	67
Figura 43 – Diagrama de Venn para ligações em série e em paralelo.....	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	01
2	REVISÃO DE ALGUNS TÓPICOS DO ELETROMAGNETISMO.....	06
2.1	Corrente Elétrica.....	06
2.2	Resistência Elétrica.....	07
2.3	Efeito Joule	09
2.4	Força Eletromotriz	10
2.5	Indução Eletromagnética	12
3	A FÍSICA DO QUADRO AC.....	15
3.1	Características externas do Quadro.....	15
3.2	As funcionalidades que podem ser exploradas pelo Quadro.....	16
3.2.1	Realização de ligações em série.....	18
3.2.2	Realização de ligações em paralelo.....	20
3.2.3	Realização de ligações mistas.....	22
3.2.4	Medir a tensão elétrica.....	23
3.2.5	Medir a intensidade da corrente elétrica.....	25
3.2.6	A ponte de diodos.....	27
3.2.7	Explorar o funcionamento de um sensor fotoelétrico.....	31
3.2.8	Explorar o funcionamento de um potenciômetro.....	32
3.2.9	Mostrar o funcionamento do anel de Thomson.....	33
3.2.10	Mostrar o funcionamento de um transformador.....	36
4	FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	39
5	APLICAÇÃO EM SALA DE AULA.....	49
5.1	Organização da sala.....	49
5.2	Montagem no local do experimento.....	49
5.3	Ligação do Quadro.....	51
5.4	Dispositivo de segurança.....	52
5.5	Realizando experimento em grupo.....	53
5.6	Finalizando a aula experimental.....	55
5.7	A avaliação pós-aula.....	55

6	ANÁLISE / REFLEXÃO.....	57
6.1	Exemplos de questões formuladas.....	58
6.2	Resultado compilado da aplicações realizadas.....	59
6.3	O uso de diagramas de Venn para o Quadro.....	63
6.3.1	Diagrama de Venn para medidores, ligações em série e em paralelo.....	64
6.3.2	Diagrama de Venn para voltímetro e amperímetro.....	67
6.3.3	Diagrama de Venn para ligações em série e em paralelo.....	70
6.4	Análise dos formulários preenchidos.....	73
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77
	ANEXO 1 - Formulário utilizado na aula para a formulação das questões.....	80
	ANEXO 2 – Manual do produto.....	84

1 Introdução

Na elaboração de uma aula de Física, em particular uma aula que envolve o conteúdo sobre eletricidade, o professor enfrenta um grande desafio quando os componentes e materiais necessários para realização de experimentos não estão à sua disposição. Foi essa ausência de componentes e materiais para complementação dessas aulas que motivou a criação de um protótipo que minimizasse essa dificuldade.

Figura 1 – Protótipo do Quadro AC, antes do MNPEF



Fonte: arquivo do autor (2012)

A Figura 1 mostra o protótipo desenvolvido inicialmente e que foi utilizado de maneira informal (sem uma sequência didática definida), com a intenção de aumentar a atenção, a compreensão e o engajamento dos alunos nas aulas sobre construção de circuitos elétricos. A inserção desse protótipo nas aulas como um complemento experimental, despertou nos alunos o senso de investigação dos fenômenos abordados nas aulas teóricas. O protótipo inicial foi recebendo novos elementos e componentes até se transformar no Quadro AC produto dessa dissertação de mestrado.

As alterações efetivadas no protótipo da Figura 1 foram motivadas pelos trabalhos desenvolvidos durante o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) que transformaram o protótipo da Figura 1 no Quadro AC mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Quadro AC, após o MNPEF



Fonte: arquivo do autor (2019)

Essa transformação se deu com a colocação no Quadro de mais um multímetro para medir a intensidade da corrente, duas bobinas (primária e secundária) e um núcleo de ferro que agregado à bobina primária possibilita a apresentação do fenômeno sobre o anel de Thomson e a utilização de um potenciômetro para acender uma lâmpada através da indução provocada na bobina secundária. O engajamento e a interação entre os alunos tiveram um aumento considerável, e então, o ensinar Física através da apresentação de problemas que devem ser resolvidos apenas com o uso de fórmulas, passou a ser uma ação desestimulada, conforme consta na edição dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) que apontam para uso do ensino por investigação, metodologia que é dificilmente trabalhada nas escolas, como uma das soluções capazes de capacitar nossos alunos para um processo de aprendizagem como uma atitude mais reflexiva e a formulação de uma autocrítica mais eficiente diante de possíveis erros de raciocínio por eles cometidos (BRASIL, 2016).

A elaboração de uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI) própria para uso no Quadro AC teve como objetivo principal o aumento da liberdade intelectual e da construção

científica dos alunos (CARVALHO, 2108). A atividade investigativa, dificilmente trabalhada nas escolas, esteve presente no contexto do ensino de ciências em diferentes épocas e com diferentes propósitos; vinculada, por exemplo, ao desenvolvimento de habilidades científicas; ao entendimento de problemas sociais, como o aquecimento global e a poluição. Atualmente, com vistas ao desenvolvimento de habilidades cognitivas nos alunos, a atividade investigativa foca nos procedimentos como a elaboração de hipóteses, anotação e análise de dados e o desenvolvimento de argumentação (STRIEDER & WATANABE, 2018).

Mesmo sendo a utilização do Quadro uma forma inovadora de elaborar uma aula experimental investigativa, essa atividade esteve presente em diferentes épocas no ensino da ciências, há um bom tempo que reflexões a respeito do laboratório didático no ensino da Física têm sido mais contundentes no que diz respeito ao laboratório por autodescoberta. Diversos estudos têm sua atenção centrada em conteúdos específicos de laboratório, como a questão da medida e das diversas abordagens didáticas que um experimento pode fornecer. Outros estudos enfatizam mais o desenvolvimento de habilidades, como o uso e a manipulação acurada dos instrumentos e técnicas laboratoriais (LABURÚ, 2005).

A utilização de um produto didático através de uma forma inovadora, como a que é feita com o Quadro AC, vem reforçar os estudos que concentram sua atenção nos conteúdos específicos de laboratório e mostram que o ensino por investigação é uma ferramenta indispensável para ensino de ciências. As estruturas das aulas investigativas favorecem a problematização dos conteúdos a serem ensinados, fazendo com que o educando interaja com o objeto de estudo durante toda a prática escolar. Essa interação se faz efetiva quando o professor sai do papel de transmissor de conceitos e assume a postura de fomentador da investigação. Nessa modalidade de ensino, em todo o processo de construção dos conteúdos, o estudante interage com o objeto de estudo e é levado a correlacioná-lo com suas práticas diárias (GIL PEREZ et al., 1999).

Com foco nessa interação entre o objeto de estudo e o aluno, o Quadro AC participa como uma ferramenta que promove essa interação. Ele foi desenvolvido com a finalidade de implementar as aulas experimentais que tratam do conteúdo “eletromagnetismo” onde o aluno pode criar circuitos elétricos e explorar outros fenômenos ligados à eletricidade. O Quadro foi projetado e construído para ser utilizado pelo professor na sala de aula em locais onde não há laboratórios de Física. Ele é alimentado com uma tensão elétrica de 127,0V e possui em sua estrutura dispositivos de segurança que agem como protetores para os alunos com relação a choques elétricos.

Utilizando elementos como cabos, adaptadores para criação de nós, lâmpadas incandescentes, voltímetro, amperímetro, sensor fotoelétrico, bobinas (primária e secundária), um anel de alumínio para realização do experimento do anel de Thomson e um potenciômetro (*dimmer*), o Quadro permite a elaboração de vários experimentos. A solução dos problemas propostos em sala de aula com a utilização desses vários componentes presentes no Quadro, faz com que os alunos passem a questionar mais os conhecimentos adquiridos e não aceitem argumentações que já estão elaboradas e que não lhes dão oportunidade de criação e de inovação no desenvolver de suas atividades, principalmente experimentais (GALIAZZI & MORAES, 2002).

O Quadro AC foi apresentado em vários Congressos, Seminários e Encontros relacionados à Física em várias cidades do Brasil. Atualmente ele é utilizado nas aulas de Física experimental III, é apresentado em eventos nacionais e em feiras relacionadas à divulgação científica através de convites enviados por colégios de Juiz de Fora e região. Essas apresentações motivam o aluno, o qual passa a exercer grande influência sobre uma aula, quando ele utiliza a investigação e a experimentação e deixa de ser apenas um observador. Nesse sentido, mesmo que a aula em questão seja apenas uma aula experimental, ela deixa de ser apenas expositiva e o aluno começa a argumentar, pensar, agir, interferir e fazer parte efetiva da construção do conhecimento (SANTOS, 2016).

Com o objetivo de proporcionar ao aluno essa influência, foi elaborada uma metodologia específica de aplicação do Quadro AC que proporciona aos alunos realizarem a avaliação do trabalho executado. Essa avaliação é realizada por todos os grupos que participam da aula e as informações são registradas em formulário próprio constante da SEI que posteriormente serão a base para uma análise da aula realizada. A SEI coloca o professor como mediador da aula e é o aluno a parte ativa. O aluno elabora o exercício a ser resolvido, resolve o exercício a que foi submetido e por fim avalia os resultados dos experimentos realizados. A avaliação é sempre feita por todos os membros de todos os grupos participantes.

Essa SEI propõe a divisão da turma em grupos onde cada membro do grupo tem a possibilidade de elaborar um problema para que outro grupo, previamente designado pelo professor, resolva. Logo após, todos os grupos fazem a avaliação do problema proposto e da sua própria elaboração, ou seja, se o mesmo foi elaborado com a utilização correta dos conceitos físicos aprendidos nas aulas teóricas. Pesquisadores defendem que os alunos devem participar ativamente no processo de pesquisa do objeto de estudo. A participação ativa coloca os alunos na posição de sujeitos das atividades. Nessa posição os alunos agem como autores na construção de seus próprios conhecimentos e assim os experimentos realizados na

aula se conectam diretamente com o que eles pensam e fazem (GALIAZZI & MORAES, 2002).

Todo esse processo fica registrado em um formulário para posterior análise e avaliação pelo professor. Sugerimos, como mostrado no Capítulo 5 que trata da Análise/Reflexão, que sejam utilizados diagramas de Venn para as referidas análises. Os diagramas fornecem uma visão clara da interação entre os componentes presentes no Quadro. Essa interação entre os componentes utilizados em cada experimento fornece ao professor informações que lhe dão subsídios para tomadas de decisões quanto ao conteúdo abordado. O professor pode inclusive observar qual o conteúdo necessita de uma maior atenção na aula teórica.

A SEI utilizada para realização da aula experimental de aplicação do Quadro AC provocou nos alunos um forte engajamento em todas as etapas da aula: na proposição do problema a ser resolvido, na execução da resolução do problema proposto e na avaliação da resolução do problema. Além de promover esse forte engajamento a SEI também se mostrou eficaz com relação à interação entre os alunos. Como não há a possibilidade de repetição de um experimento já realizado, a comunicação entre os grupos deve ser feita de forma constante.

Essa dissertação apresenta a Física que está envolvida no Quadro AC mostrando em primeiro plano suas características externas e as funcionalidades que podem ser exploradas com a sua utilização. Dentre essas funcionalidades temos: a realização de ligações em série, em paralelo e mistas; a medição da tensão elétrica e da intensidade da corrente elétrica; o funcionamento da ponte de diodos que integra o Quadro para que o uso de um amperímetro de baixo custo seja viabilizado; o funcionamento do sensor fotoelétrico, do potenciômetro, do transformador e do anel de Thomson. Apresenta também o referencial teórico, agregado com a metodologia de aplicação em sala de aula, onde é abordada a criação da SEI, a organização da sala de aula, a montagem e ligação do Quadro, seus dispositivos de segurança, a realização dos experimentos em grupo, a finalização da aula e a avaliação pós-aula. Após a avaliação é feita a análise e a reflexão pelo professor através da utilização de diagramas de Venn.

Por fim, são mostrados os principais resultados alcançados durante a realização deste trabalho: a efetiva interação entre os alunos durante a aula e dos alunos com o Quadro AC utilizado como incremento da aula experimental; a forma correta dos conceitos físicos na elaboração de problemas; o método correto de utilização do voltímetro e do amperímetro; a conectividade entre os elementos que compõem o Quadro e a possibilidade de os alunos realizarem avaliações sobre os experimentos durante a aula.

2 Revisão de alguns tópicos do eletromagnetismo

Neste capítulo fazemos uma revisão dos conceitos de alguns tópicos do eletromagnetismo relacionados à corrente elétrica, à resistência, ao efeito joule, à força eletromotriz e à indução eletromagnética. Além disso, serão feitas observações sobre as abordagens experimentais desses conceitos em turmas do Ensino Médio.

2.1 Corrente elétrica

Definimos a corrente elétrica como o fluxo total de cargas elétricas (Q) através de um condutor por unidade de tempo. Logo, se uma carga líquida dQ flui através de uma área em um intervalo de tempo dt , a corrente i através da área é dada por (HALLIDAY & RESNICK, 2009)

$$i = \frac{dQ}{dt}. \quad (1)$$

No sistema internacional de medidas (SI) a unidade de corrente elétrica é o Ampère (A), expressa por

$$1 A = \frac{1 C}{1 s}, \quad (2)$$

onde C e s representam as unidades de carga (Coulomb) e tempo (segundos), respectivamente.

Nas turmas de Ensino Médio com muitos alunos, o professor ao planejar uma aula experimental onde a tarefa será a medida da intensidade da corrente elétrica, ele encontra algumas dificuldades. Essas dificuldades são geradas, basicamente, pela quantidade de material e equipamentos usados nos experimentos como fontes de energia, *protoboards*, *jumpers*, resistores e amperímetros; o transporte desse material para a sala (quando não há um laboratório de física na escola) e o tempo gasto em realizar a distribuição desse material para a turma. Para minimizar essas dificuldades encontradas em uma aula experimental faz-se a utilização do Quadro AC.

Uma das alterações efetivadas no protótipo da Figura 1, que o transformou no Quadro AC, Figura 2, foi a introdução de um segundo multímetro, como mostrado no capítulo 3, item 3.2, para a realização da medida da intensidade da corrente elétrica. O primeiro multímetro, que funciona como um voltímetro é utilizado apenas para medidas

da tensão elétrica nos experimentos. Para a utilização desse segundo multímetro, que funciona como um amperímetro, foi necessário o desenvolvimento e a introdução no protótipo de uma ponte de diodos que tem sua montagem e utilização detalhada no capítulo 3, item 3.3.6, desta dissertação.

Com a utilização do Quadro AC, em turmas com muitos alunos, todo o processo torna-se mais ágil (todos os equipamentos já estão montados no Quadro) e a utilização desses equipamentos se dá apenas com a ligação dos mesmos pelos cabos que acompanham o Quadro, como mostrado na Figura 2. A ligação do multímetro, que tem a finalidade de agir como um amperímetro e faz parte do Quadro, está mostrado no capítulo 3, item 3.2.5. Essa transformação do multímetro em amperímetro, bem como a transformação do outro multímetro em voltímetro, foi possível, pois o rotor dos multímetros foram “colados” na posição onde eles só podem ser utilizados na função de amperímetro ou de voltímetro. Essa transformação (colagem do rotor) é mais um facilitador para o professor que, agora não precisa se preocupar com a utilização incorreta do multímetro pelos alunos, principalmente se a aula fosse ministrada sem a utilização do Quadro AC. A utilização incorreta pode causar a queima do multímetro.

2.2 Resistência elétrica

Para um resistor com resistividade ρ , a densidade de corrente \vec{J} em um ponto que possui um campo elétrico \vec{E} é dado por

$$\vec{E} = \rho \vec{J}. \quad (3)$$

Esta é a forma local da lei de Ohm. Ela indica que um condutor deixa passar uma densidade de corrente ao ser submetido a um campo elétrico.

Geralmente estamos mais interessados em saber o valor total da corrente i que o valor de \vec{J} e mais interessados em saber o valor da diferença de potencial (ddp) V que o valor de \vec{E} .

A razão disso é que as medidas da corrente e da ddp são mais fáceis de serem realizadas que as medidas de \vec{J} e \vec{E} (HALLIDAY & RESNICK, 2009). Supondo que os módulos da densidade de corrente \vec{J} e do campo elétrico \vec{E} sejam uniformes através do condutor, a corrente total i é dada por

$$i = \vec{J} \cdot \vec{A} = J A, \quad (4)$$

onde A é a seção reta do condutor.

A ddp então será

$$V = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{l} = E L. \quad (5)$$

Na equação (5) $d\vec{l}$ é um elemento de linha que indica o caminho de integração tomado para ir do ponto P_1 a P_2 no circuito.

Podemos unir as expressões (3), (4) e (5), chegando a

$$\frac{V}{L} = \frac{\rho i}{A} \quad \text{ou} \quad V = \frac{\rho L}{A} i. \quad (6)$$

A equação (6) mostra que, quando ρ é constante, a corrente i é proporcional à ddp V . A razão entre V e i é uma constante. Essa constante é denominada de resistência R que pode ser expressa por

$$R = \frac{V}{i}. \quad (7)$$

A expressão (6) para a resistência do material é razoável e compatível com a nossa intuição: quanto maior L , maior a resistência à passagem de corrente. Além disso, aumentando a seção reta, esperamos que a resistência diminua, conforme obtido.

A equação (7) é chamada lei de Ohm na sua forma global. Essa denominação é correta somente quando R é constante. A unidade de resistência no SI é o ohm (Ω).

Medir a resistência elétrica de um dispositivo em uma sala de aula do Ensino Médio com muitos alunos implica o transporte de materiais e equipamentos como fontes de energia, *protoboards*, *jumpers*, resistores e voltímetros, como foi descrito no item 2.1, em quantidade necessária para atender toda a turma na realização dos experimentos. Esse fato gera no professor uma falta de motivação para realização da aula experimental causada pela falta de materiais (muito comum nas escolas que não possuem laboratórios de física) para uma aula satisfatória, bem como o transporte desse material. Com a utilização do Quadro AC o laboratório é levado para a sala de aula e a resistência pode ser calculada com os dados obtidos durante os experimentos e por vários alunos em cada experimento, atingindo dessa forma um dos propósitos do produto didático desenvolvido nesta dissertação.

2.3 Efeito Joule

A conversão de energia elétrica em energia térmica (calor) que faz que a bobina, apresentada no capítulo 3 item 3.2.3, se aqueça é dada da seguinte forma: para uma carga dQ atravessar uma diferença de potencial V , é preciso fornecer-lhe uma energia VdQ e para manter, durante um tempo dt , uma corrente $i = dQ/dt$ atravessando V há necessidade de fornecer uma energia

$$dW = (i dt) V. \quad (8)$$

A expressão (8) corresponde a energia por unidade de tempo, ou seja, a potência

$$\frac{dW}{dt} = i V \equiv P. \quad (9)$$

Na expressão (9) quando $i = 1\text{A(ampère)}$ e $V = 1\text{V(volt)}$, obtemos $P = 1\text{ W}$ (watt).

Em um condutor (enrolamento da bobina) de seção S e comprimento dl , onde a queda de potencial é dV e i não varia com dl , temos

$$dP = i \frac{dV}{dl} dl = i dl E = j S dl E = \vec{J} \cdot \vec{E} dv. \quad (10)$$

Na equação (10) o volume do elemento de condutor é $dv = S \cdot dl$ e \vec{J} (densidade de corrente) é paralelo a \vec{E} (campo elétrico). Dessa forma a potência por unidade de volume (densidade de potência) é dada por

$$\frac{dP}{dv} = \vec{J} \cdot \vec{E}. \quad (11)$$

Devido ao atrito que surge no condutor (enrolamento da bobina) pela passagem da corrente essa potência é dissipada em forma de calor. Essa conversão de energia elétrica em calor é conhecida como *efeito Joule* (NUSSENZVEIG, 2015).

Realizar um experimento em sala de aula com muitos alunos para demonstrar o efeito Joule não é uma atividade trivial. Em uma aula experimental desse tipo, apesar do professor poder citar vários equipamentos elétricos que podem ser utilizados para ilustrar a existência desse efeito, vários desses experimentos podem envolver a utilização de fontes elétricas e dispositivos de apoio para a realização dos mesmos como *protoboards*, *jumpers* e resistores diversos, que podem gerar uma logística com potencial de comprometer o sucesso da aula, como a organização dos materiais e equipamentos, o transporte e a distribuição desses dispositivos e materiais entre os alunos.

O Quadro AC mitiga estes empecilhos, além de explicar o efeito Joule de forma simples. Ele se manifesta na bobina primária apresentada no capítulo 3, item 3.2.9, na realização do experimento sobre o anel de Thomson. Nesse experimento quando o aluno aciona o *push botton* e o enrolamento da bobina é percorrido pela corrente fornecida pela fonte, o efeito Joule pode ser observado quando o aluno, ao tocar a bobina com os dedos da mão, poderá sentir seu aquecimento. Esse aquecimento, pelo fato do *push botton* ser acionado por um período de tempo curto (o professor deve supervisionar com atenção essa atividade), faz com que o aquecimento da bobina não provoque qualquer dano à integridade física do aluno, como por exemplo, uma queimadura.

2.4 Força Eletromotriz

Para que um condutor possua uma corrente estacionária, ele deve ser parte de uma trajetória fechada ou “circuito completo”. Quando um campo elétrico \vec{E}_1 é aplicado no interior de um condutor isolado com resistividade ρ , que não seja parte de um circuito completo, uma corrente começa a fluir com uma densidade de corrente (YOUNG & FREEDMAN, 2016) dada por

$$\vec{J} = \frac{\vec{E}_1}{\rho}. \quad (12)$$

Em decorrência disso, uma carga positiva se acumula rapidamente em uma das extremidades e uma carga negativa se acumula na outra extremidade. Por sua vez essas cargas produzem um campo elétrico \vec{E}_2 no sentido oposto de \vec{E}_1 , fazendo diminuir o campo elétrico e, portanto, a corrente.

O campo elétrico resultante no interior do condutor é

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \quad (13)$$

Na equação (5) quando $P_1 = P_2$ temos $\vec{E} = \vec{0}$ e por consequência $\vec{J} = \vec{0}$ e a corrente para de fluir. É impossível haver uma corrente estacionária em tal circuito incompleto (YOUNG & FREEDMAN, 2016).

Para mantermos uma corrente estacionária em um circuito completo devemos ter uma carga Q que percorre um circuito completo e retorna ao seu ponto de partida. A energia potencial no final da trajetória é igual à energia potencial no início da mesma trajetória.

Em algum ponto de um circuito elétrico, deve existir um dispositivo onde a carga se desloca “para cima”, de uma energia potencial mais baixa para uma mais elevada. O sentido da corrente elétrica nesse dispositivo é do potencial mais baixo para o mais elevado, sentido exatamente oposto ao que ocorre em um condutor comum.

O agente que faz que a corrente flua do potencial mais baixo para o potencial mais elevado denomina-se “**força eletromotriz (fem)**”.

O dispositivo que fornece a fem denomina-se “fonte de fem”. A unidade de força eletromotriz é a mesma de potencial, ou seja,

$$1V = \frac{J}{C}. \quad (13)$$

Na equação (13), J = Joule e C = Coulomb.

Para designar uma fem usamos o símbolo ε . Todo circuito completo por onde passa uma corrente estacionária deve possuir uma fonte de fem (pilhas, baterias, geradores elétricos, células solares etc). Esses dispositivos convertem algum tipo de energia (mecânica, química, térmica etc) em energia potencial elétrica e a transfere para o circuito no qual o dispositivo esteja conectado.

Quando uma carga Q se move de um ponto b para um ponto a no interior de uma fonte, a força não eletrostática \vec{F}_n realiza um trabalho $W_n = Q\varepsilon$ sobre a carga Q . Esse deslocamento é oposto ao da força eletrostática \vec{F}_e , de modo que a energia potencial associada à carga cresce em uma quantidade igual a QV_{ab} , em que

$$V_{ab} = V_a - V_b. \quad (14)$$

A equação (14) expressa o potencial (positivo) do ponto a em relação ao ponto b . O aumento da energia potencial é exatamente igual ao trabalho não eletrostático W_n , de modo que $Q\varepsilon = QV_{ab}$

$$V_{ab} = \varepsilon = IR. \quad (15)$$

A equação (15) representa uma “fonte ideal de fem”.

Uma fonte real de fem em um circuito não se comporta exatamente como descrevemos até aqui. A diferença de potencial entre os terminais de uma fonte real não é igual à fem como mostra a equação (15). A razão disso é que a carga que se move no interior do material de qualquer fonte real encontra uma resistência chamada de **resistência interna** da fonte, designada por r . Quando essa resistência segue a lei de Ohm, r deve ser constante e independente de I .

À medida que a corrente se desloca através de r , ela sofre uma queda de potencial igual a Ir . Quando a corrente flui de b (negativo) para a (positivo) a ddp V_{ab} entre os terminais é dada por

$$V_{ab} = \varepsilon - Ir. \quad (16)$$

A ddp V_{ab} é chamada de voltagem nos terminais e é menor que a fem ε em virtude do termo Ir (YOUNG & FREEDMAN, 2016).

No Quadro AC essa queda pode ser simulada ao conectarmos a fonte de energia a uma associação em série, digamos, de três lâmpadas. Interpretamos a primeira lâmpada como a própria resistência interna da nossa bateria. Com isso emulamos a equação (16).

2.5 Indução Eletromagnética

A maioria dos aparelhos e dispositivos modernos como máquinas de lavar roupas, furadeiras, batedeiras e outros tantos que nos rodeiam, possui circuitos elétricos no seu interior. Vimos em 2.4 que uma força eletromotriz produz uma corrente elétrica em um circuito. Como a maioria dos equipamentos e dispositivos que ligamos não são ligados a uma bateria e sim nas tomadas que dispomos em nossas casas, a fonte da força eletromotriz não é uma bateria e sim uma usina geradora de energia elétrica.

A usina produz energia elétrica através da conversão de outras formas de energia como por exemplo a energia potencial gravitacional de uma usina hidrelétrica, da energia química em uma usina termelétrica que queima carvão ou óleo e energia nuclear em uma usina nuclear. Essa conversão de energia ocorre através do fenômeno chamado “indução eletromagnética”. Esse fenômeno ocorre quando um fluxo magnético varia através de um circuito (HALLIDAY & RESNICK, 2009).

Em uma usina geradora de energia elétrica, o movimento de um ímã em relação a uma bobina produz um fluxo magnético que varia através das bobinas e, portanto, surge uma força eletromotriz (fem). O princípio central dessa indução eletromagnética é a lei de Faraday. Essa lei relaciona a fem ao fluxo magnético variável em qualquer tipo de espira, incluindo um circuito fechado. Segundo a indução eletromagnética, um campo magnético que varia em função do tempo pode atuar como uma fonte de campo elétrico.

Quando movemos um ímã através de uma bobina ou quando movemos uma bobina através de um ímã detectamos uma corrente. Essa corrente é chamada de corrente

induzida e sua respectiva fem é chamada de fem induzida. Esse resultado também é obtido se substituirmos o ímã por uma segunda bobina (uma bobina secundária). O movimento da bobina “secundária” gera também uma corrente e uma fem induzidas e mais, ao passar uma corrente pela bobina “primária” uma corrente é induzida na bobina “secundária”. Essa experiência pode ser realizada no Quadro AC como mostrado nas Figuras 24 e 25 do item 3.2.10 desta dissertação. Neste caso, reproduzimos o funcionamento de um transformador.

Para um elemento de área infinitesimal $d\vec{A}$ e um campo magnético \vec{B} , o fluxo magnético $d\Phi_B$ através da área é dado por

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_{\parallel} dA = B dA \cos \phi. \quad (17)$$

Na equação (17) B_{\parallel} é o componente de \vec{B} paralelo à superfície e ϕ é o ângulo entre \vec{B} e $d\vec{A}$. Daí,

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B dA \cos \phi. \quad (18)$$

Quando \vec{B} é uniforme ao longo da área plana \vec{A} , temos

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = B A \cos \phi. \quad (19)$$

A lei da indução de Faraday é

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}. \quad (20)$$

A fem induzida em uma espira fechada é dada pela variação do fluxo magnético, com o sinal negativo, através da área delimitada pela espira.

A introdução do sinal negativo é uma convenção de sinais para a fem e está ligado com conservação de energia (NUSSENZVEIG, 2015). Os componentes para esse experimento já fazem parte do Quadro e podem ser utilizados em conjunto com o potenciômetro, mostrado no capítulo 3 item 3.28, ou com a anel de Thomson, apresentado no capítulo 3 item 3.2.9.

As aplicações práticas de fenômenos magnéticos estão presentes no nosso cotidiano em muitos aparelhos e dispositivos e têm na indução eletromagnética a base para o seu funcionamento. Como exemplo, temos o alto-falante, o microfone de indução, o detector de metais e as guitarras elétricas. Com tantos itens do nosso dia a dia envolvendo esse fenômeno parece fácil para o professor planejar uma aula experimental sobre o assunto. Elaborar uma aula experimental que envolva esse tema para uma turma com muitos alunos do Ensino Médio remete o professor a uma situação onde ele não

pode realizar experimentos com esses equipamentos. Os objetos citados como exemplos, mantêm esse fenômeno, o da indução eletromagnética, fora do alcance de visão do aluno, ou seja, o aluno sabe que existe, mas não observa o fenômeno. O professor tem, então, que obter, transportar e distribuir outros materiais e equipamentos para os alunos, como bobinas, fontes de energia, *protoboards*, lâmpadas, *jumpers*, ferro para o núcleo das bobinas e lâmpadas. Além organizar esses materiais o professor ainda terá que distribuí-los aos alunos para que sua aula experimental se realize de forma organizada e dentro do tempo disponível.

O Quadro AC, por possuir vários equipamentos montados, permite a realização de um experimento dessa natureza com a utilização de duas bobinas. A bobina primária e a bobina secundária, conforme mostrado no capítulo 3, item 3.2.10. No experimento realizado no Quadro pode-se inclusive medir a tensão e a intensidade da corrente fornecida pela bobina secundária capaz de acender uma das lâmpadas instaladas na parte superior do Produto didático desta dissertação.

3 A Física do Quadro AC

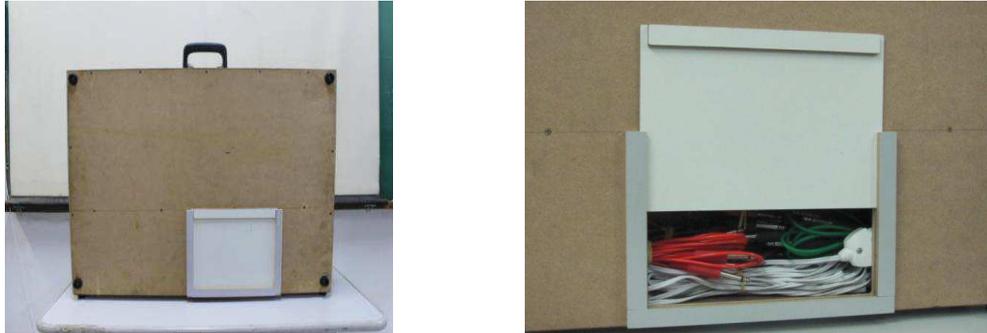
Este capítulo é destinado à descrição de alguns conceitos da Física que podem ser explorados com a utilização do Quadro AC em uma aula sobre eletricidade. Iniciamos esse capítulo com as características externas do Quadro e passamos a seguir às suas funcionalidades. O Quadro AC é alimentado com tensão alternada de 127,0V e essa característica torna a Física mais próxima dos alunos envolvidos em cada experimento, haja vista, que essa tensão é a mesma do seu cotidiano quando ele utiliza os aparelhos elétricos/eletrônicos que estão presentes em seu domicílio. Conforme será mostrado nas funcionalidades do Quadro, a Física envolvida neste produto didático se estende desde a simples ligação de uma lâmpada ou de várias (em série, em paralelo e mistas), abordando dessa forma parte do currículo do ensino da Física do terceiro ano do ensino médio até a Física moderna com a demonstração do sensor fotoelétrico, passando pelo eletromagnetismo, através do experimento do anel de Thomson. Toda essa Física envolvida no Quadro AC pode ser aplicada também em cursos de nível superior, principalmente os de licenciatura em Física, geralmente na disciplina Física experimental III.

3.1 Características externas do Quadro AC

Trata-se de um aparato de fácil transporte para a sala de aula (possui o formato de uma mala e massa aproximada de 8,0 kg). A Figura 2 mostra a alça para o transporte e o mesmo ligado, com as cinco lâmpadas na parte superior formando um circuito em série, e as lâmpadas que servem de orientação para as medições e realização de outras ligações. O material utilizado em sua construção (a caixa) é o MDF (*Medium Density Fiberboard*), material oriundo de madeira e fabricado com resinas sintéticas, nas espessuras de 6,0mm para o tampo, 9,0mm para o fundo e 15,0mm para as laterais. Suas dimensões são: 50,0cm de largura, 75,0cm de comprimento e 13,0cm de espessura máxima. Adotamos o termo espessura máxima pelo fato do mesmo possuir a forma de cunha, isto é, com seção reta em forma de trapézio. Sua espessura mínima é de 6,0cm.

Todos os componentes móveis (cabos para ligação, cabos para medições e outras peças) utilizadas na realização de experimentos, são armazenadas na parte traseira do Quadro.

Figura 3 – Vista traseira do Quadro mostrando a armazenagem dos componentes



Fonte: arquivo do autor (2012)

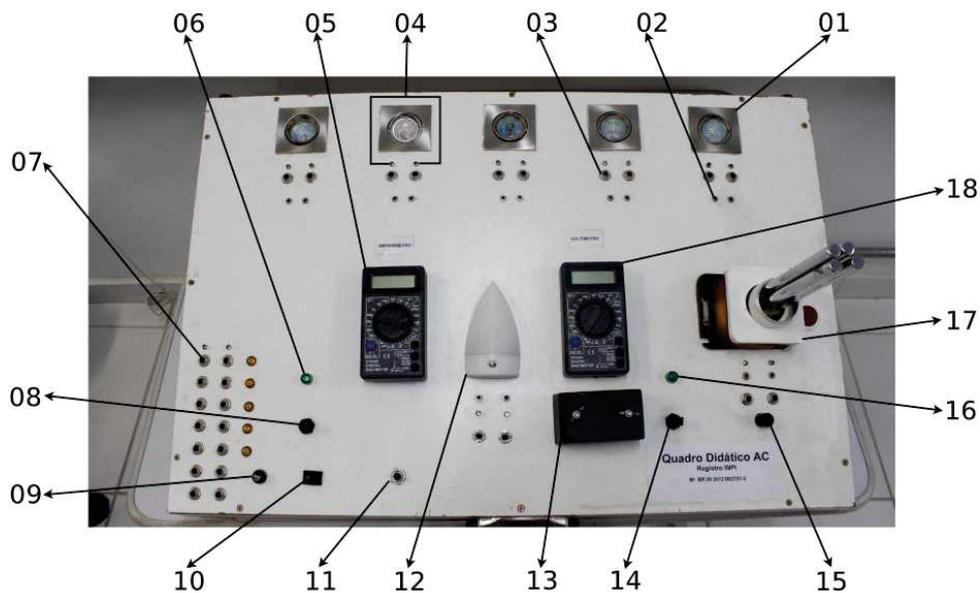
A Figura 3 mostra o compartimento localizado na parte traseira e o respectivo acondicionamento dos acessórios necessários para a realização dos experimentos, ratificando dessa forma, a facilidade do transporte do mesmo.

3.2 As funcionalidades que podem ser exploradas pelo Quadro

O Quadro AC foi desenvolvido para aplicação em sala de aula na experimentação onde podem ser observados fenômenos e realizadas medições referentes a construção de circuitos elétricos em série, em paralelo e mistos; entender o funcionamento de um sensor fotoelétrico; de um potenciômetro; do anel de Thomson e de uma bobina. Para um melhor entendimento sobre a montagem dos experimentos e uma maior otimização das funcionalidades do Quadro, foi elaborado um vídeo onde alguns experimentos possíveis são mostrados de forma bastante didática. O vídeo pode ser acessado no endereço eletrônico <https://www.youtube.com/watch?v=5wbCnP7XPS4>.

A Figura 4, mostra os itens que compõem o Quadro. Podemos observar que o item 04 mostra a posição de dois LED's de identificação (um verde e um vermelho). São esses LED's que orientam os usuários do produto na hora de realização dos experimentos

Figura 4 – Nomeação dos itens do Quadro



Fonte: arquivo do autor (2019)

- 01 - *Spot* de aço escovado com lâmpada incandescente.
- 02 - Entrada P-2 para ligação do voltímetro.
- 03 - Entrada P-10 para ligação do componente.
- 04 - LED's de identificação.
- 05 - Amperímetro.
- 06 - Lâmpada piloto do amperímetro.
- 07 - Entradas P-10 ligadas em paralelo.
- 08 - Chave liga-desliga do amperímetro.
- 09 - Fusível.
- 10 - Chave liga-desliga do Quadro.
- 11 - *push botton* (dispositivo de segurança).
- 12 - Dispositivo com foto sensor.
- 13 - Compartimento para guarda das baterias 9,0V que alimentam o voltímetro e o amperímetro.
- 14 - Botão liga-desliga do voltímetro.
- 15 - Potenciômetro.
- 16 - Lâmpada piloto do voltímetro.
- 17 - Bobina primária, núcleo de ferro e anel de alumínio.
- 18 - Voltímetro.

3.2.1 Realização de ligações em série

Na associação em série, Figura 5 os resistores estão ligados de tal modo que a mesma corrente I passa por todos eles. A queda de tensão ao longo da resistência, de acordo com a lei de Ohm, é (ALONSO & FINN, 1999)

$$\Delta V_1 = R_1 I, \quad \Delta V_2 = R_2 I, \quad \Delta V_n = R_n I. \quad (21)$$

Assim a tensão total é

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \dots + \Delta V_n = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) I. \quad (22)$$

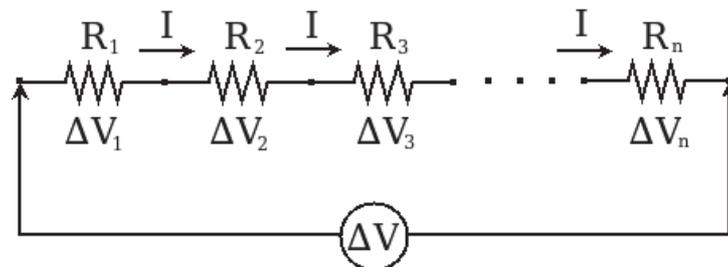
O sistema pode ser reduzido a uma só resistência R que satisfaça a relação

$$\Delta V = R \cdot I. \quad (23)$$

Por isso, o resistor equivalente R é obtido como

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (24)$$

Figura 5 – Associação de resistores em série

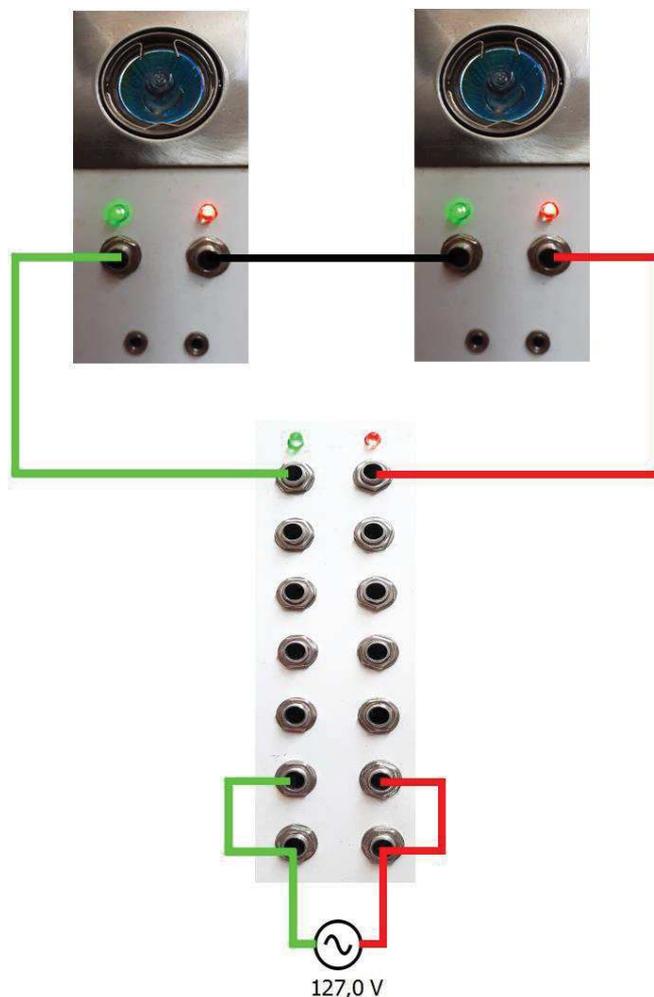


Fonte: arquivo do autor (2020)

Com a utilização do Quadro AC para a realização do experimento, nesse tipo de ligação, o aluno pode seguir por dois caminhos básicos. O primeiro caminho é realizar um esquema, tomando como exemplo o esquema mostrado na Figura 5, e solicitar a outro aluno que realize a ligação no Quadro (maiores detalhes podem ser vistos no Capítulo 4). O segundo caminho é realizar a ligação no Quadro e solicitar a outro aluno que desenhe o esquema conforme mostrado na Figura 5 (maiores detalhes podem ser vistos no Capítulo 4). Em ambos os casos o aluno que está realizando o experimento tem a oportunidade de efetuar as medições e comprovar o valor da tensão em cada resistor (lâmpada) e a referida intensidade da corrente elétrica I .

As lâmpadas incandescentes utilizadas para realização desse tipo de ligação no Quadro AC possuem as seguintes especificações: 30W – 127V. Com as especificações e utilizando a definição de potência elétrica dissipada, podemos calcular o valor da corrente e realizar sua medição, conforme será detalhado no item 3.2.6 (A ponte de diodos). Embora o Quadro seja alimentado por uma fonte de corrente alternada, a sugestão de ligação de resistores em série simula um circuito de corrente contínua, uma vez que não há diferença entre as fórmulas em ambos os casos.

Figura 6 – Associação de resistores em série no Quadro



Fonte: arquivo do autor (2020)

A Figura 6 mostra a ligação em série de duas lâmpadas no Quadro AC. Os cabos nas cores verde e vermelha servem para orientar o aluno na hora da ligação. Abaixo de cada dispositivo que pode ser utilizado em uma ligação há um LED da mesma cor do cabo. Na associação em série, temos um único caminho para a passagem da corrente

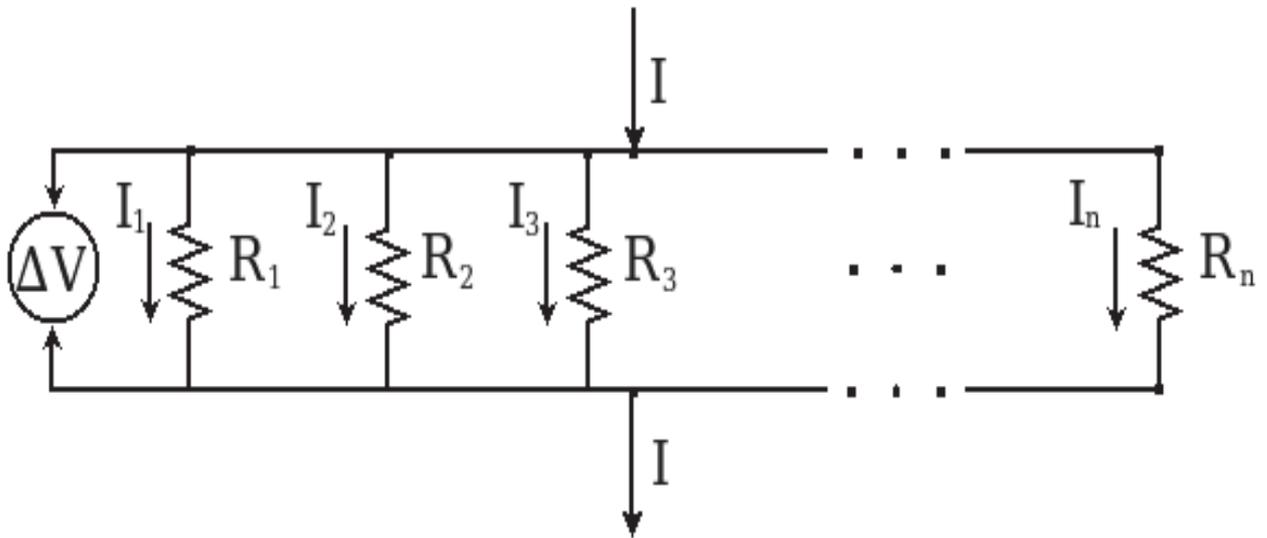
elétrica. Por isso, todos os elementos resistivos são percorridos pela mesma corrente; assim, quando qualquer lâmpada (como apresentado na Figura 6) queima, o conjunto para de funcionar. Por outro lado, a tensão elétrica é dividida entre os elementos resistivos do circuito em série. Por isso, o brilho de cada lâmpada fica mais fraco.

3.2.2 Realização de ligações em paralelo

Na associação em paralelo, Figura 7, as resistências estão ligadas de tal modo que a tensão ΔV é a mesma para todas as lâmpadas. A corrente que passa por cada resistor é, de acordo com a lei de Ohm (ALONSO & FINN, 1999)

$$I_1 = \frac{\Delta V}{R_1}, I_2 = \frac{\Delta V}{R_2}, \dots, I_n = \frac{\Delta V}{R_n}. \quad (25)$$

Figura 7 – Associação de resistências em paralelo



Fonte: arquivo do autor (2020)

A corrente total fornecida ao sistema é

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \Delta V. \quad (26)$$

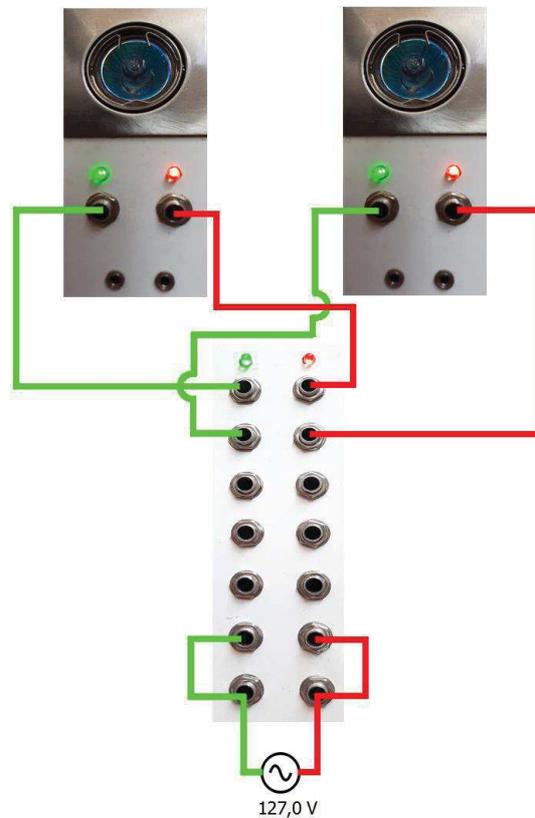
O sistema pode ser reduzido a uma só resistência que satisfaça a relação $I = \frac{\Delta V}{R}$. Por isso

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (27)$$

é a resistência elétrica equivalente para resistências elétricas em paralelo.

Esse tipo de ligação, quando realizada com a utilização do Quadro AC, segue os mesmos procedimentos apresentados no item 3.2.1 (Realização de ligações em série) e os detalhes estão explicitados no Capítulo 4.

Figura 8 – Associação em paralelo de resistores no Quadro



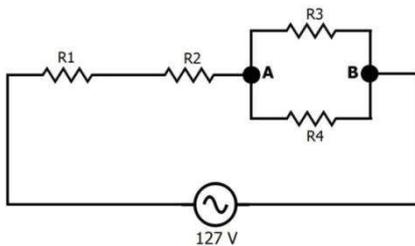
Fonte: arquivo do autor (2020)

A Figura 8 mostra a ligação em paralelo de duas lâmpadas no Quadro AC. Os cabos nas cores verde e vermelha servem para orientar o aluno na hora da ligação. Abaixo de cada dispositivo que pode ser utilizado em uma ligação há um LED da mesma cor do cabo.

3.2.3 Realização de ligações mistas

Na associação mista, temos resistores ligados em série e em paralelo fazendo parte do mesmo circuito.

Figura 9 – Associação mista de resistores



Fonte: arquivo do autor (2020)

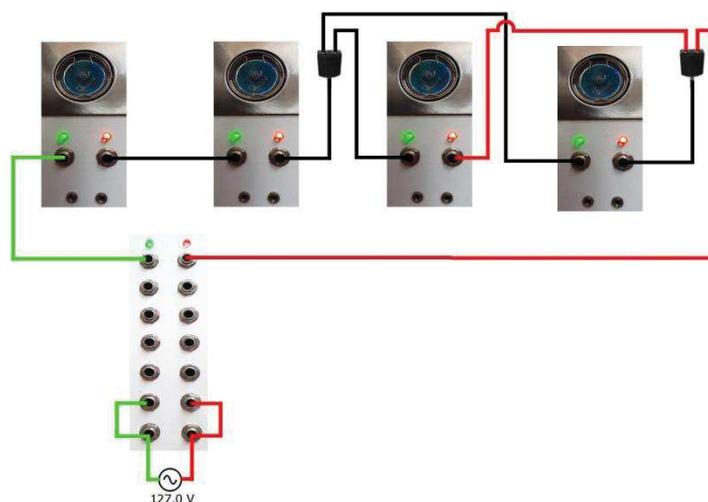
Figura 10 – Adaptador para nó



Fonte: arquivo do autor (2020)

Podemos observar que há possibilidade de criarmos “nós”, como os mostrados na Figura 9 (A e B) com a utilização do dispositivo da Figura 10.

Figura 11 – Associação mista de resistores no Quadro



Fonte: arquivo do autor (2020)

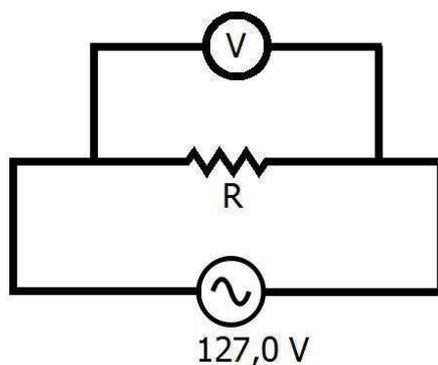
A Figura 11 mostra a ligação mista de quatro lâmpadas no Quadro AC. As duas primeiras lâmpadas estão ligadas em série e as outras duas lâmpadas estão ligadas em paralelo entre si, e em série com as duas primeiras. Os cabos nas cores verde e vermelha servem para orientar o aluno na hora da ligação. Abaixo de cada dispositivo que pode ser utilizado em uma ligação há um LED da mesma cor do cabo. A utilização do dispositivo da Figura 10 no circuito pode ser visto na Figura 11, onde os mesmos aparecem em destaque entre as lâmpadas 2 e 3 e após a lâmpada 4 (maiores detalhes podem ser vistos no endereço eletrônico <https://www.youtube.com/watch?v=5wbCnP7XPS4> e também no Capítulo 4). Com a utilização dos dispositivos da Figura 10 o professor consegue explicar com clareza as regras de Kirchhoff que possuem os seguintes enunciados (RAMALHO, NICOLAU, TOLEDO, 2007):

- 1 – A soma de todas as correntes que correm num nó de uma malha é zero.
- 2 – Numa malha, a soma de todas as quedas de tensão ao longo de qualquer trajetória fechada é zero.

3.2.4 Medir a tensão elétrica

O instrumento usado para medir tensões é chamado de voltímetro. Para medir a diferença de potencial entre dois pontos de um circuito, ligamos os terminais do voltímetro a esses pontos sem desligar nem cortar nenhum fio do circuito (PIETROCOLA et al., 2007). Na Figura 12, o voltímetro V está sendo usado para medir a tensão em R.

Figura 12 – Ligação do voltímetro

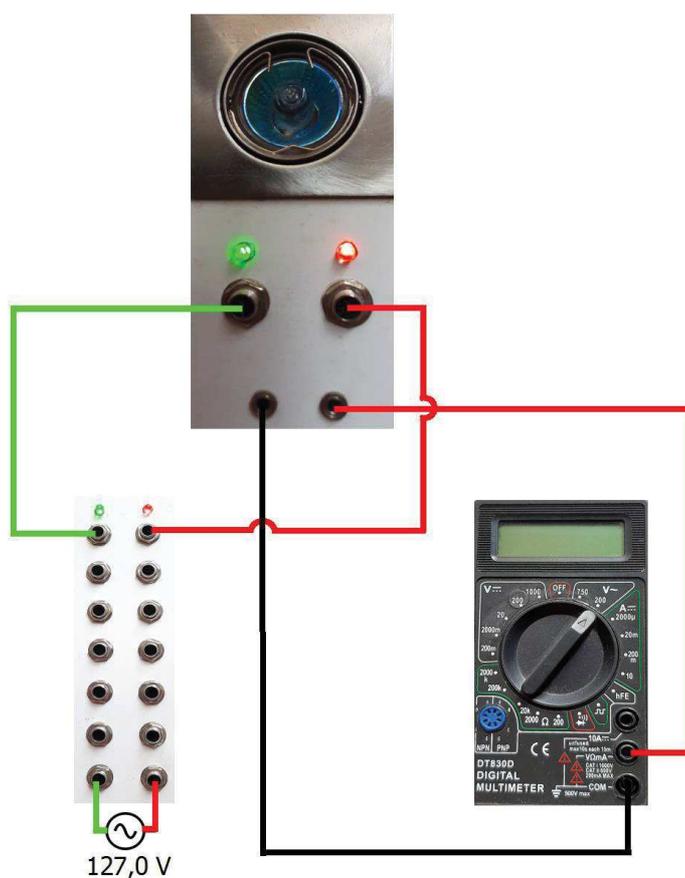


Fonte: arquivo do autor (2020)

A Figura 13 mostra como o voltímetro (aqui constituído de um multímetro de baixo custo) é utilizado no Quadro para medir a tensão nas ligações que serão efetuadas durante os experimentos.

O regulador da voltagem do voltímetro está colado, para evitar que algum usuário tente alterar sua posição e dessa forma danificar o instrumento e prejudicar a prática do experimento. A bateria de 9,0V que mantém o funcionamento do multímetro, agora um voltímetro, encontra-se armazenada, conforme mostra o item 13 da Figura 4 e próximo a esse compartimento temos uma lâmpada piloto que indica, através do seu brilho, item 16 da Figura 4 a carga da bateria, ou seja, pouco brilho, pouca carga. Nesse caso a bateria deve ser substituída para garantir a exatidão da medição. Como mostram as Figuras 12 e 13 o voltímetro é ligado em paralelo no circuito.

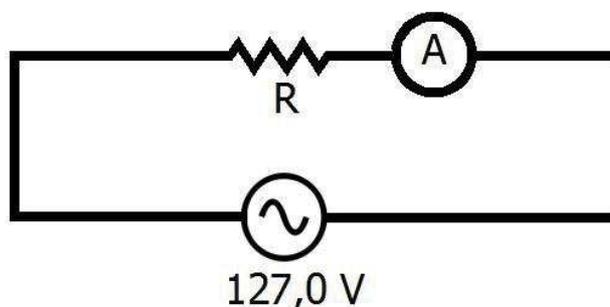
Figura 13 – Ligação do voltímetro no Quadro



Fonte: arquivo do autor (2020)

3.2.5 Medir a intensidade da corrente elétrica

Figura 14 – Ligação do amperímetro



Fonte: arquivo do autor (2020)

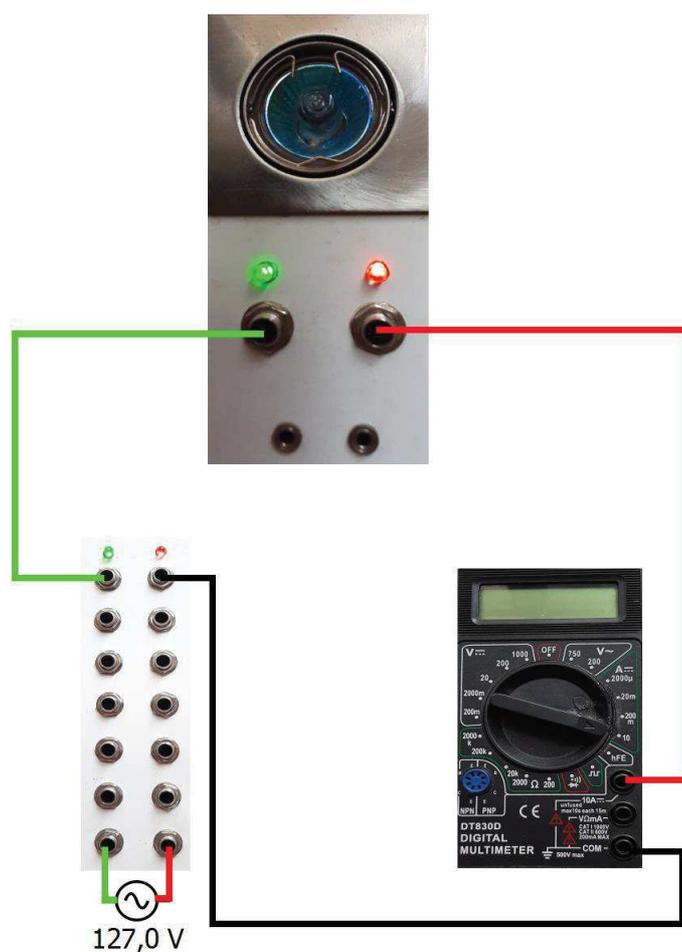
O instrumento usado para medir a intensidade da corrente elétrica é chamado de amperímetro. Para medir a intensidade da corrente em um fio em geral precisamos desligar ou cortar o fio, como mostrado na Figura 14 e introduzir o amperímetro no circuito para que a corrente passe pelo aparelho. É essencial que a resistência do resistor que compõe o amperímetro seja muito menor que todas as outras resistências do circuito; se não for assim, a presença do medidor mudará o valor da corrente que se pretende medir (HALLIDAY & RESNICK, 2009).

O Quadro AC foi projetado para ser um produto de baixo custo e a introdução de um amperímetro convencional, mesmo aquele que tenha um custo pequeno, ainda assim tornaria o produto com um custo elevado, o que colocaria o aparato longe de sua finalidade que é a de ser um produto didático de baixo custo. Para solucionar esse obstáculo, foi introduzida uma ponte de diodos que retifica a tensão de entrada embora ela ainda continue variando no tempo. A justificativa para usar essa ponte de diodos é poder usar um multímetro de baixo custo no Quadro AC. Multímetros que medem corrente alternada têm um custo de aproximadamente superior a 785% do custo de um multímetro que baixo custo para medir corrente contínua. Com a frequência em torno de 120,0Hz, podemos usar o fundo de escala de corrente contínua no multímetro CE DT830D. Esse tipo de multímetro possui um custo muito reduzido. A Figura 15 mostra o amperímetro ligado ao Quadro. Maiores detalhes sobre o funcionamento e as adaptações que foram necessárias para o uso desse tipo de multímetro para medir a intensidade da

corrente alternada que alimenta o Quadro, será dada logo a seguir, no tópico 2.2.6 (A ponte de diodos).

Da mesma forma que o regulador da voltagem, no amperímetro o regulador está colado, para evitar que algum usuário tente alterar sua posição e dessa forma danificar o instrumento e prejudicar a prática do experimento. Como acontece com o voltímetro da Figura 13 a bateria de 9,0V que mantém o funcionamento do multímetro, agora um amperímetro, encontra-se armazenada, conforme mostra o item 13 da Figura 4 e próximo a esse compartimento temos uma lâmpada piloto que indica, através do seu brilho, item 6 da Figura 4 a carga da bateria, ou seja, pouco brilho, pouca carga. Nesse caso a bateria deve ser substituída para garantir a exatidão da medição. Como mostram as Figuras 14 e 15 o amperímetro é ligado em série no circuito.

Figura 15 – Ligação do amperímetro no Quadro

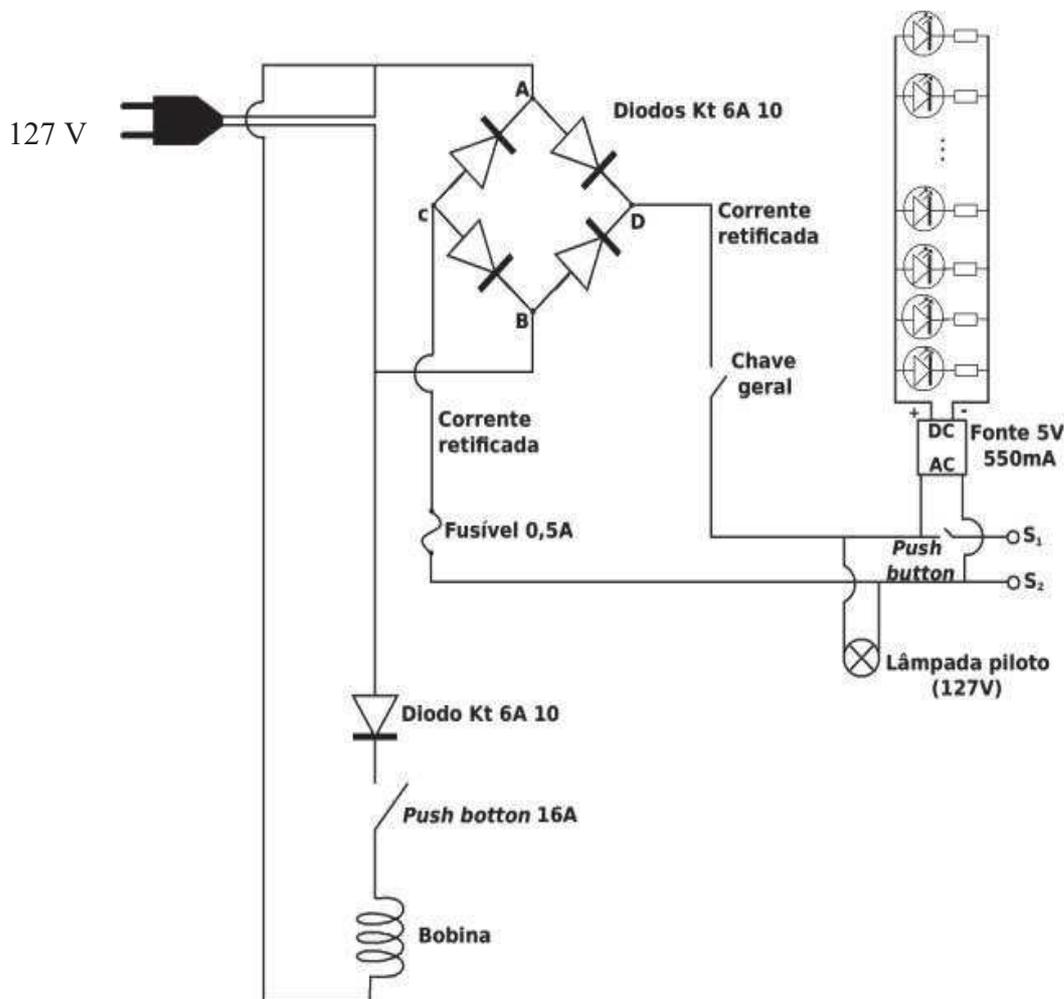


Fonte: arquivo do autor (2020)

3.2.6 A ponte de diodos

A Figura 16 mostra o esquema elétrico de alimentação do Quadro o qual possui uma ponte formada por quatro diodos Kt 6A 10. A ponte de diodos retifica a tensão de entrada embora ela ainda continue variando no tempo. Entres os pontos C e D da Figura 7, temos a mesma tensão que existe entre A e B, mas com o dobro da frequência. Além disso, a tensão entre C e D assume apenas valores positivos. A justificativa para usar essa ponte de diodos é poder usar um multímetro de baixo custo no Quadro AC, como mencionado previamente.

Figura 16 – Ponte de diodos



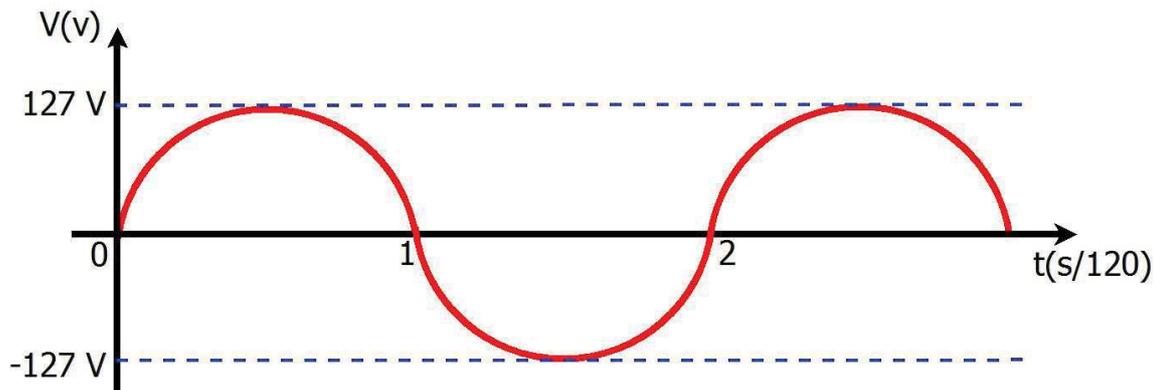
Fonte: arquivo do autor (2020)

Como as salas de aula, geralmente, possuem tomadas que fornecem uma tensão elétrica de 127,0V, e essa é a tensão elétrica que cerca o cotidiano dos alunos, o Quadro AC foi projetado e construído para ser alimentado e utilizado com esse valor. Por ser um produto desenvolvido para suprir a ausência de um material para realização para experimentos onde as escolas não possuem espaço físico (laboratório) ou condições financeiras para aquisição de um, o produto foi construído alicerçado em dois pilares: ser de baixo custo e de fácil replicação. A medição da corrente elétrica alternada é realizada por multímetros de custo elevado, que fogem ao propósito do produto, e diante disso a solução foi a instalação de uma ponte de diodos conforme mostra a Figura 16. A instalação dessa ponte permite a utilização de um multímetro de baixo custo, que faz o papel do amperímetro, conforme mostrado na Figura 15. Os multímetros de baixo custo, como os utilizados no Quadro, só medem corrente contínua. Multímetros que medem corrente alternada possuem custo elevado, o que promove um desvio da finalidade do produto que é de ser de baixo custo.

A Figura 16 mostra o esquema elétrico de alimentação do Quadro através de uma tomada com tensão alternada de 127,0V. Essa tensão está representada graficamente na Figura 17 que mostra o gráfico de uma função senoidal referente a uma corrente alternada de 127,0V de pico com uma frequência $f = 60,0\text{Hz}$. A tensão, conforme mostrada na Figura 16 é enviada para uma ponte formada por quatro diodos Kt 6A 10. A ponte de diodos retifica a tensão de entrada embora ela ainda continue variando no tempo. Entre os pontos C e D da Figura 16, temos a mesma tensão que existe entre A e B, mas com o dobro da frequência (a cada segundo a frequência é de 120,0Hz). Além disso, a tensão entre C e D assume apenas valores positivos, conforme representado no gráfico da Figura 18. Com a frequência em torno de 120,0Hz, podemos usar o fundo de escala de corrente contínua no multímetro CE DT830D. Foram realizados diversos testes com o multímetro ICEL MD-6111 (com fundo de escala em corrente alternada) e os valores encontrados em ambos os aparelhos não eram diferentes em mais que sete partes e meia por mil. Outro teste realizado foi comparar o valor encontrado na situação descrita com a corrente medida pelo multímetro ICEL MD-6111 quando se retira a ponte de diodos. O resultado encontrado é o mesmo.

Esses testes foram realizados diversas vezes, mudando as configurações dos circuitos no Quadro e nenhuma diferença percentual relevante entre os multímetros foi verificada.

Figura 17 – Gráfico da voltagem original (senoidal)



Fonte: arquivo do autor (2020)

A função que representa o gráfico da Figura 17 é uma função senoidal expressa por:

$$v(t) = V \text{ sen } (\omega t). \quad (28)$$

Na equação (28), temos

- $v(t)$ → diferença de potencial em um instante “t”
- V → diferença de potencial máxima (amplitude de voltagem)
- ω → frequência angular $\omega = 2\pi f$
- t → tempo (segundos)

A função modular $M(t) = |\text{sen}(\omega t)|$ pode ser representada da seguinte forma

$$|\text{sen}(\omega t)| = \begin{cases} \text{sen}(\omega t), & \text{se } (\text{sen } \omega t) \geq 0 \\ -\text{sen}(\omega t), & \text{se } (\text{sen } \omega t) \leq 0 \end{cases}.$$

Aplicando o operador módulo na equação (31), obtemos

$$|v(t)| = |V \text{ sen}(\omega t)| \Rightarrow |v(t)| = V |\text{sen}(\omega t)|. \quad (29)$$

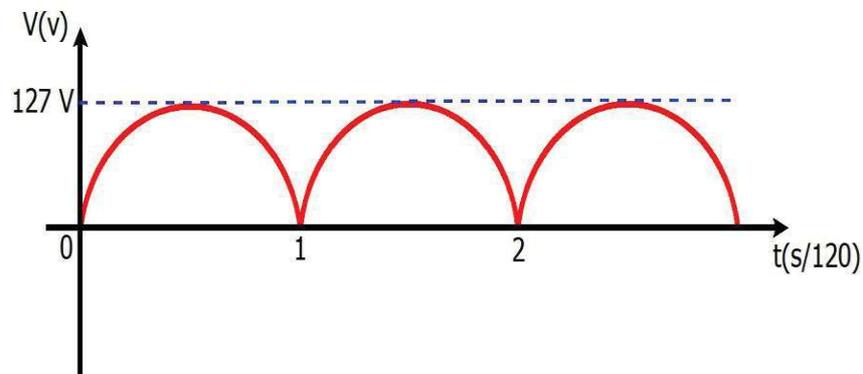
De acordo com a equação (29) a tensão utilizada após a ponte de diodos e que passa a ser utilizada no Quadro será

$$v_{QAC} = |v(t)| = V |\text{sen}(\omega t)|. \quad (30)$$

Na equação (30), v_{QAC} é a tensão no Quadro AC. O gráfico da Figura 18 é o gráfico de v_{QAC} .

Aplicar a função módulo na função $v(t)$ é o análogo matemático de inserir a ponte de diodos na tensão de entrada do Quadro. Reciprocamente a ponte de diodos funciona como um operador matemático de módulo da função seno. Da tomada, chega no Quadro uma tensão descrita pelo gráfico da Figura 17. Após passar pela fonte, os valores negativos tornam-se positivos. O Quadro passa a ser alimentado pela função que está representada no gráfico da Figura 18.

Figura 18 – Gráfico da voltagem retificada



Fonte: arquivo do autor (2020)

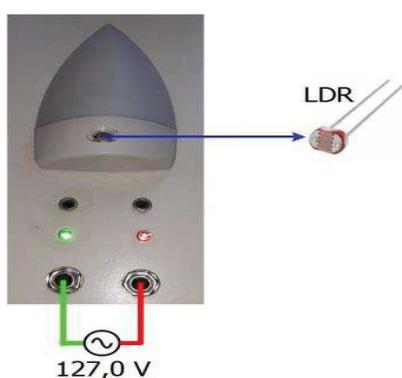
Como especificado anteriormente, com a frequência em torno de 120,0Hz, podemos usar o fundo de escala de corrente contínua no multímetro CE DT830D. Foram realizados diversos testes com o multímetro ICEL MD-6111 (com fundo de escala em corrente alternada) e os valores encontrados em ambos os aparelhos não tinham relevância para a precisão de que se necessita para a realização deste trabalho.

3.2.7 Explorar o funcionamento de um sensor fotoelétrico

A Figura 19 mostra o item 2 da Figura 4 que é o dispositivo com fotosensor. Ele é um relé que se configura como um contato que abre e fecha de acordo com algum fator ou configuração, no caso do sensor apresentado da Figura 19 esse fator é quantidade de luz. O que torna isso possível é um LDR (*Light dependent resistor*) ou em português resistor dependente de luz (DATA SHEET, 2020).

O sensor LDR é capaz de variar resistências da ordem de Ohms a mega-Ohms de acordo com a quantidade de luz que é incidida sobre ele, desta maneira de acordo com essa resistência é possível fazer circular uma corrente por uma bobina que fará com que um contato, parecido com um diafragma possa abrir ou fechar, comutando assim o circuito que estará ligado a este relé. O nome fotocélula não é o mais adequado para este dispositivo, apesar de ser comumente usado pela população em geral. Fotocélula, célula fotovoltaica, célula fotoelétrica são nomes para as células coletores de energia solar, como ambos os dispositivos trabalham com o princípio da iluminação como fonte de acionamento ou fonte de energia, esta confusão com os nomes é comum. Sua função é fazer a variação da luminosidade, mas como internamente no relé fotoelétrico existe um circuito eletrônico, para seu funcionamento o mesmo deve ser alimentado com fase e neutro (no caso da ligação do relé fotoelétrico em 127,0V) e com fase e fase (caso seja uma ligação em 220,0V). Internamente há uma conexão entre a fase e o ponto de retorno do relé. A exploração do funcionamento desse fotosensor remete o aluno ao seu cotidiano em relação ao funcionamento da iluminação pública.

Figura 19 – Sensor fotoelétrico

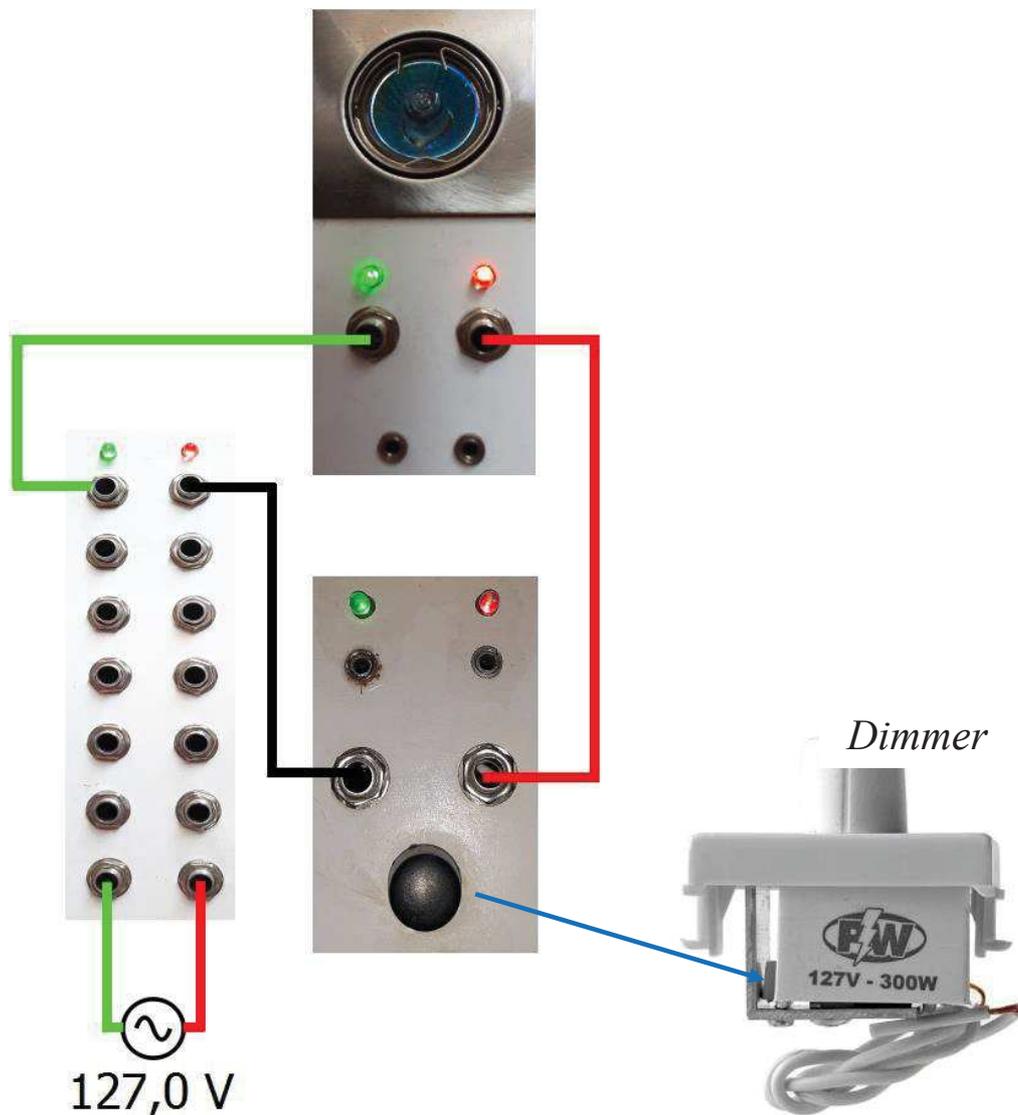


Fonte: arquivo do autor (2020)

3.2.8 Explorar o funcionamento de um potenciômetro

A Figura 20 mostra uma das lâmpadas do Quadro AC ligada a um dispositivo que tem a finalidade de variar a luminosidade da lâmpada. Para minimizar custos e facilitar a construção (replcação) do produto didático, optamos em utilizar um *dimmer* com as especificações de 127,0V e 300,0W.

Figura 20 – Potenciômetro



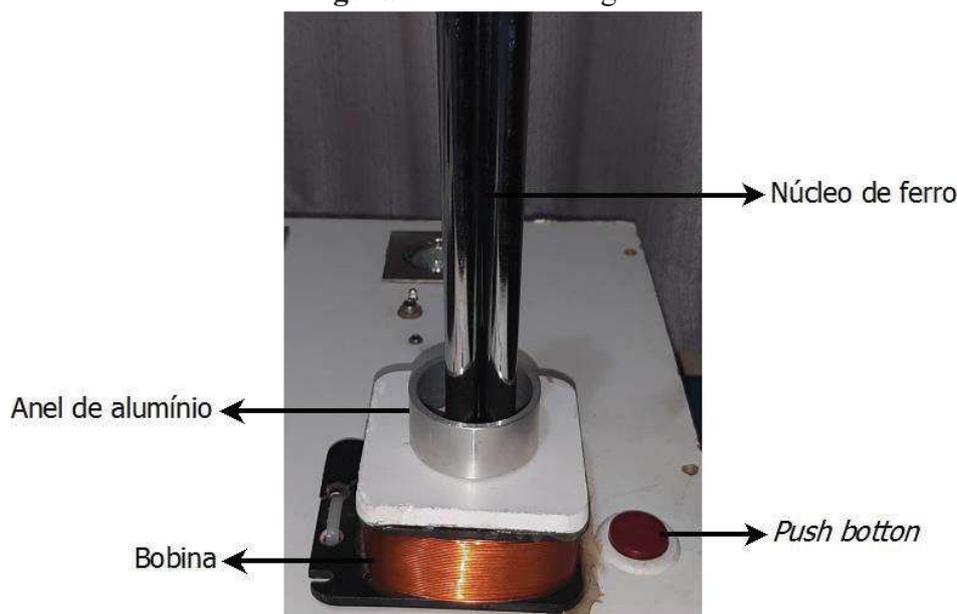
Fonte: arquivo do autor (2020)

Os *dimmers* são constituídos basicamente de um potenciômetro que é um dispositivo capaz de ajustar a resistência à passagem de cargas elétricas (corrente elétrica). Por serem ajustáveis, eles são capazes de fazer variar a luminosidade da lâmpada a qual estão ligados, conforme mostra a Figura 20. O *dimmer* utilizado no Quadro AC tem a finalidade de apenas exemplificar o funcionamento de um potenciômetro, ou seja, fazer variar a luminosidade da lâmpada e mostrar ao aluno (usuário) que a tensão e a intensidade da corrente na lâmpada sofreu alteração. Essa alteração pode ser medida com o voltímetro e o amperímetro que compõem o Quadro. Os potenciômetros são usados em vários componentes onde deve haver variação, por exemplo, do som em um rádio ou em uma televisão e em vários equipamentos industriais para regular seu funcionamento, como a frequência de rotação de uma furadeira.

3.2.9 Mostrar o funcionamento do anel de Thomson

Fazer um anel de alumínio levitar ao redor de um núcleo de ferro é, sem dúvida, uma experiência singular para os estudantes. Esse tipo de experimento, por falta de infraestrutura da escola ou mesmo pela falta do equipamento apropriado (devido ao custo), geralmente não é levado até aos alunos, principalmente do ensino médio (SILVEIRA & AXT, 2003).

Figura 21 – Anel desligado

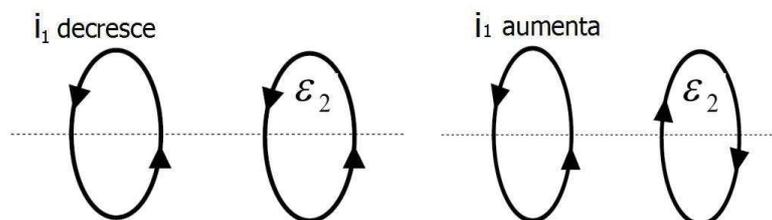


Fonte: arquivo do autor (2020)

Conforme mostrado na Figura 21, a argola é posicionada ao redor de um longo núcleo de ferro, instalado em uma bobina que é alimentada com corrente alternada. Na mesma Figura temos um “*push botton*” que está ligado diretamente à fonte de 127,0V e que é utilizado para acionar a bobina (primário). Essa ligação está detalhada na Figura 16 onde podemos observar que a corrente alternada que alimenta a bobina não passa pela ponte de diodos. Um “*push botton*”, em português “botão de pressão”, é um dispositivo (chave) que ao ser pressionado abre ou fecha um circuito, permitindo a passagem da corrente elétrica. Existem botões de pressão que são de ação momentânea, ou seja, só abrem ou fecham para a passagem da corrente quando estão pressionados, funcionam como um botão de campainha, é esse o botão utilizado no Quadro para acionar a bobina principal. Essa característica do botão (a ação momentânea) é de fundamental importância pois a bobina a qual ele aciona (a primária) aquece muito quando é percorrida pela corrente elétrica por um tempo superior a dez segundos. Com a utilização desse tipo de botão, podemos alternar o tempo de utilização do dispositivo e por consequência prolongar sua vida útil, isto é, impedimos que a bobina se queime.

O que acontece, basicamente, nesse experimento sobre o anel de Thomson é que quando a bobina primária é percorrida por uma corrente alternada, ela induz um campo magnético gerando uma força eletromotriz que varia no tempo à medida que a intensidade da corrente elétrica cresce ou decresce, ou seja, a força eletromotriz muda de sentido e isso causa atração e repulsão do anel de alumínio.

Figura 22 – Bobina desligada

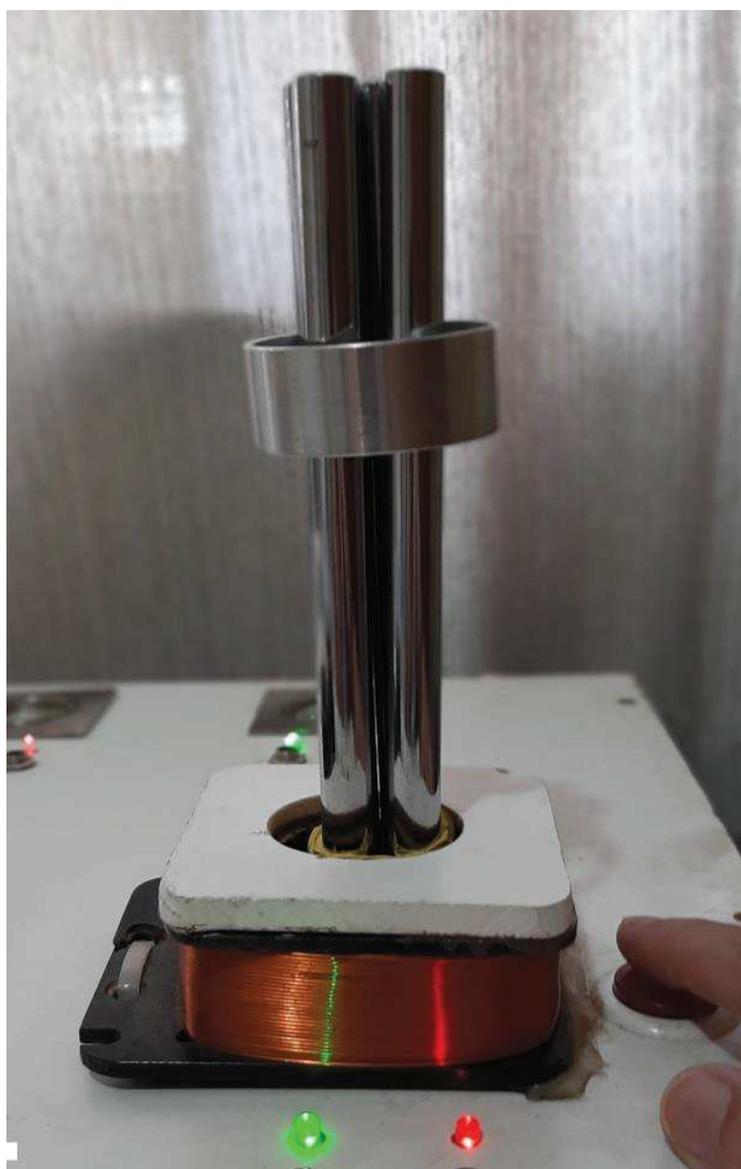


Fonte: SILVEIRA & AXT (2003)

A Figura 22 mostra como a corrente elétrica que percorre as espiras da bobina primária é alternada ela possui dois sentidos. Em um sentido ela provoca a repulsão do anel e em outro sentido a atração do mesmo anel. Esse fenômeno provoca, então, a oscilação para cima e para baixo do anel ao redor do núcleo. Quando o interruptor (*push botton*) que permite alimentar a bobina primária é fechado (pressionado), produz-se um grande pulso de corrente elétrica com capacidade de expulsar o anel do núcleo de ferro.

Dependendo das dimensões da bobina primária, essa repulsão é tão ativa que pode lançar o anel a uma altura considerável atingindo, às vezes, o teto da sala de aula ou do laboratório (SILVEIRA & AXT, 2003). No momento em que o anel se encontra no estado da Figura 23 (flutuando) as bobinas e o anel se aquecem, um forte ruído pode ser ouvido e o Quadro passa a trepidar na mesa de apoio. Todos esses fenômenos secundários causados pela corrente elétrica na bobina podem ser fonte de questionamentos aos alunos.

Figura 23 – Bobina ligada (anel saltante)



Fonte: arquivo do autor (2020)

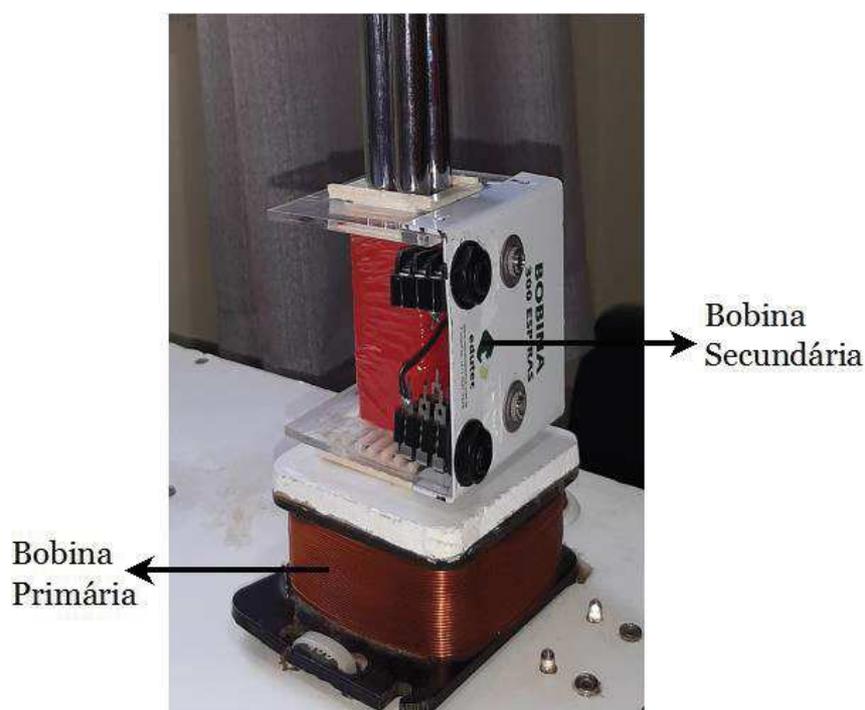
A explicação para a levitação envolve avaliar a força de interação eletromagnética média sobre o anel. É possível mostrar que ele se equilibra com o peso e este efeito é devido à defasagem entre corrente e tensão em um circuito RL. Como estes assuntos fogem ao escopo deste trabalho e do próprio ensino médio, não o abordaremos aqui. Os detalhes podem ser vistos em (SILVEIRA & AXT, 2003).

A Figura 23 mostra o anel levitando em torno do núcleo de ferro quando a bobina está ligada com o acionamento do “*push botton*” depois de um certo intervalo de tempo.

3.2.10 Mostrar o funcionamento de um transformador

Um transformador é um dispositivo que tem a capacidade de transformar o valor de uma tensão elétrica. Essa variação pode ser para mais ou para menos, dependendo da sua utilização (finalidade). No caso do Quadro AC, para mostrar o funcionamento de um transformador, foi agregada à bobina primária uma outra bobina, a secundária.

Figura 24 – Montagem das bobinas primária e secundária



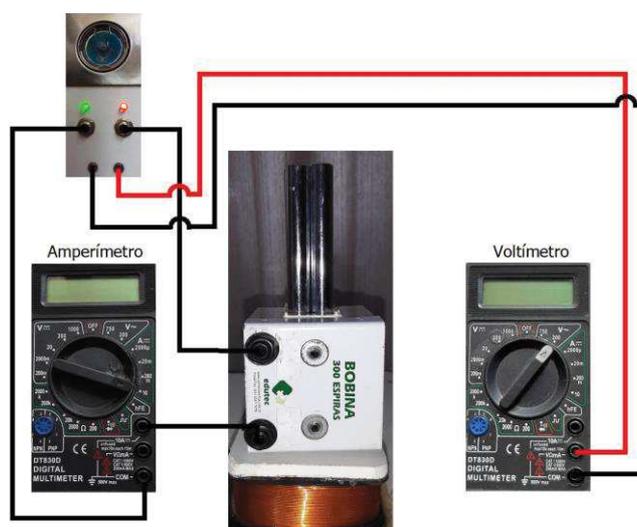
Fonte: arquivo do autor (2020)

A Figura 24 mostra a montagem das duas bobinas, a primária abaixo da secundária. Quando acionada pelo “*push botton*” a bobina primária induz um campo magnético na bobina secundária com a utilização do núcleo de ferro e, como temos uma

corrente alternada, esse campo magnético varia no tempo gerando na bobina secundária uma corrente elétrica, também alternada, capaz de ser utilizada para acender uma das lâmpadas do Quadro AC. Na simulação realizada no Quadro AC, a tensão fornecida pela bobina secundária é menor que a tensão utilizada na bobina primária. Essas medições mostraram que:

- a) Com a utilização direta do *proto-board* do Quadro AC, item 7 da Figura 4, conseguimos aferir os seguintes valores em uma das lâmpadas: tensão igual a 123,5 V e intensidade da corrente igual a 230,0 mA.
- b) Com a utilização da bobina secundária, na mesma lâmpada, os valores aferidos apresentaram redução. A tensão foi reduzida para 20,0 V e a intensidade da corrente foi reduzida para 90,0 mA.

Figura 25 – Medições com a utilização do transformador



Fonte: arquivo do autor (2020)

Na Figura 25 podemos visualizar as ligações das bobinas (primária e secundária), do voltímetro e do amperímetro a uma lâmpada do Quadro AC e também a ligação em série de um amperímetro para medição da intensidade da corrente elétrica na lâmpada e a ligação em paralelo do voltímetro para medição da tensão na mesma lâmpada. Perturbações em circuitos elétricos são ocasionadas pela indutância mútua quando as bobinas estão muito próximas desses equipamentos. No experimento mostrado no Quadro AC esse fenômeno não é observado pois o experimento é realizado de forma

isolada e a proximidade das duas bobinas (a primária e a secundária), como mostrado na Figura 24, tem a finalidade, devido à geometria das bobinas, de fazer com que a tensão varie para um valor menor do que o valor original. Por ser um produto de baixo custo o Quadro AC apresenta alguns componentes que foram recolhidos em áreas de “refugo” de materiais em oficinas diversas ou até mesmo em ferros-velhos. Esse é o caso da bobina primária e é essa a razão de não citarmos os números de espiras das bobinas.

4 Fundamentação Bibliográfica

Este capítulo apresenta a bibliografia que foi utilizada para fundamentar o ensino por investigação que subsidiou a metodologia utilizada no Quadro AC, criando assim uma atividade investigativa onde o aluno é o protagonista da aula experimental. Segundo (BORGES, 2002) a incapacidade de preparar os estudantes para o mercado de trabalho ou para o ingresso em uma universidade têm sido críticas recebidas pelas escolas pela baixa qualidade de ensino ofertada aos discentes. Trabalhar em cooperação, avaliar alternativas de ação e tomar decisões de forma crítica também é consequência de uma preparação pouco eficiente. Os obstáculos encontrados, tais como falta de laboratório, de materiais de reposição para experimentos e outros relacionados à atividade experimental impedem o professor de ofertar um ensino de melhor qualidade. Muitos professores até se dispõem a enfrentar esses obstáculos improvisando aulas práticas com uso de materiais caseiros e de baixo custo.

Utilizando processos investigativos, a utilização do laboratório, já no século XIX, promovia a melhor compreensão dos fenômenos naturais (LABURÚ & ZÔMPERO, 2011). Informações claras e precisas sobre a natureza são fornecidas com as atividades de laboratório que não se encontram nos livros. O surgimento de práticas envolvendo a utilização de laboratórios foi uma justificativa para que o aluno aprendesse a observar o mundo natural e formular conclusões a partir dessas observações.

As aulas de física no ensino médio são constituídas de três partes: a primeira é aquela onde o professor apresenta os aspectos da teoria relativa ao assunto tratado, a segunda é composta de seções exaustivas de resolução de problemas-padrão e de exercícios numéricos e a terceira parte, bem menor (quando existe), as práticas experimentais rigidamente orientadas. Em uma aula de física geralmente o professor fala em demasia e os alunos são apenas elementos passivos que copiam a matéria para posteriormente fazerem muitos exercícios em seus cadernos. As atividades experimentais, quando ocorrem, geralmente limitam-se à simples observação dos fenômenos. Geralmente essas atividades seguem uma sequência rígida contida nos manuais ou roteiros (HERNANDES, CLEMENT & TERRAZZAN, 2001).

No ensino de ciências as atividades práticas são pouco comuns e quando existem elas são definidas pelo professor ou pelos livros didáticos. A estruturação das atividades no laboratório como problemas abertos para a investigação dos estudantes tem grande

potencial para contribuir de forma mais eficaz para o entendimento básico das ciências. Essas atividades abertas têm sido defendida e divulgada desde os anos oitenta por (BORGES, BORGES O. & VAZ, 2005).

Nos trabalhos desenvolvidos por (CARVALHO, 2018) é definido o ensino por investigação como aquele em que o professor cria condições para que o aluno pense, fale, leia e escreva de forma clara, fazendo uso de uma linguagem técnica e utilize experiências de seu cotidiano fazendo uso correto dos conceitos físicos que envolvem uma atividade experimental. Nesse trabalho o autor apresenta uma tabela onde a liberdade intelectual do aluno vai aumentando, partindo do grau 1 (onde sua participação se limita à obtenção de dados e vai até o grau 5 (onde o aluno participa de forma ativa da aula em todas as suas etapas). O quadro da Figura 26 mostra esta tabela.

Figura 26 – Graus de liberdade intelectual oferecido aos alunos

	Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5
Problema	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P/A	P/A	A	A
Plano de trabalho	P	P/A	A/P	A	A
Obtenção de dados	A	A	A	A	A
Conclusões	P	A/P/C	A/P/C	A/P/C	A/P/C

P = Professor

A = Aluno

C = Classe

Fonte: CARVALHO et al. (2010, p.55)

Com as potencialidades apresentadas pelo Quadro AC e embasados no quadro da Figura 26, foi então criada uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI) adaptada para o Quadro AC, que é uma proposta didática com a finalidade de desenvolver aulas experimentais com a utilização de métodos investigativos. Foram utilizados os conteúdos relacionados ao tópico de eletromagnetismo, mais precisamente no que diz respeito à criação de circuitos elétricos e a realização de medições como a tensão elétrica e a intensidade da corrente elétrica através do voltímetro e do amperímetro, respectivamente, que estão instalados no Quadro.

Segundo a tabela apresentada no quadro da Figura 26, no grau 1 as aulas são chamadas popularmente de “receitas de cozinha” pois os alunos participam apenas na obtenção de dados e o professor nas demais atividades. A participação do aluno vai crescendo até atingir o grau 5, onde o aluno participa de todas as etapas, e a conclusão do trabalho realizado na aula experimental tem, então, a participação do aluno, do professor e da Classe como um todo.

A utilização (adaptação) dessa tabela nas aulas experimentais onde o Quadro AC foi utilizado nos mostra que o grau 5 foi atingido em todas as aulas. Isso é consequência direta da liberdade intelectual dos alunos nas aulas experimentais. A seguir passamos a descrever a característica de cada item que compõe a primeira coluna da tabela. Como o grau 5 foi atingido, o aluno tem participação ativa em cada etapa, ou item, citado na tabela. Com a adaptação realizada para utilização da tabela nas aulas experimentais com a utilização do Quadro AC, realizamos uma atividade avaliativa no final da disciplina de Física experimental III, apesar de utilizá-lo nas demais aulas experimentais. Em relação à tabela apresentada em (CARVALHO, 2018) temos as seguintes definições para os itens constantes na primeira coluna:

a) Problema: segundo a tabela apresentada no trabalho analisado o primeiro passo é a estruturação de um problema que deverá ser resolvido com a utilização do Quadro AC. Na aula experimental o aluno possui à sua disposição para elaboração do problema (formulação da questão) a explicação fornecida pelo professor de como funciona o Quadro AC, seus componentes e de como o mesmo deverá ser utilizado. Agregado a essas informações, que foram fornecidas pelo professor e que se ateve especificamente ao Quadro AC, o aluno tem também como recursos disponíveis para a elaboração do problema, os seus próprios conhecimentos teóricos referentes ao assunto em questão e ainda pode contar com a colaboração dos membros do seu grupo, que podem fornecer informações e idéias para que o problema possa ser criado.

O problema a ser criado deve levar em conta a estrutura do conhecimento, evidenciar os argumentos e ter clareza na exposição das idéias. O Quadro AC é um grande campo para formulação de problemas. Para registro do problema, o aluno recebe do professor um formulário onde há uma breve explicação que o auxiliará na formulação um bom problema. Esse formulário encontra-se no Anexo 1. Um bom problema é aquele que desperta no aluno que o cria, uma correta utilização da linguagem científica,

incluindo aqui os conceitos e as leis Físicas e o uso proporcional do raciocínio com o conhecimento teórico. Enriquecer a pergunta com elementos do cotidiano também é uma forma de tornar o problema, um bom problema. Após o preenchimento do formulário o grupo deve encaminhá-lo ao professor para distribuição a um grupo pré-determinado por ele. Um dos grupos de alunos receberá o formulário e um aluno desse grupo realizará o experimento com o auxílio dos demais membros do grupo (GALIAZZI, 2002).

A Figura 26 mostra o local apropriado no formulário que consta no Anexo 1 onde o aluno vai escrever o enunciado do problema criado por ele.

Figura 27 – Local no formulário para registro do problema

ATIVIDADE 1 – ENUNCIADO DO SEU EXERCÍCIO:

Fonte: arquivo do autor (2019)

b) Hipóteses: nessa fase da aula experimental o grupo de alunos que recebeu o problema e que foi devidamente enunciado no formulário no local indicado na Figura 27, se dirige ao Quadro AC e, antes de realizar o experimento propriamente dito, cria concepções e elabora hipóteses para a resolução da tarefa. Essas concepções são então analisadas pelos integrantes do grupo executor e os mesmos adotam aquela que foi consenso entre eles. No desenvolvimento do experimento eles criam hipóteses sobre o trabalho executado. Essa tarefa dada aos alunos antes de realizarem o trabalho no Quadro AC aumenta a liberdade intelectual do aluno com sua participação mais ativa na aula (CARVALHO, 2018). Como exemplo da criação de concepções e elaboração de hipóteses temos:

Enunciado do problema: ligue três lâmpadas em série e meça a tensão e a intensidade da corrente em cada lâmpada.

O grupo executor, **antes de realizar as ligações no Quadro AC**, vai então criar concepções para a realização do experimento, ou seja, o grupo deve abrir um debate entre os membros para decidir se houve entendimento claro do enunciado do problema e criar,

em consenso, uma maneira de realizar o experimento. Criar uma solução para o problema enunciado e, só depois executá-lo no Quadro AC.

Na elaboração das hipóteses o grupo deve abrir questionamentos sobre as concepções adotadas para a resolução do problema. O que acontecerá se adotarmos essa ou aquela forma de resolução? Como exemplo de questionamentos sobre as concepções adotadas no problema enunciado, pode-se formular perguntas sobre o que acontecerá com a intensidade da corrente elétrica e a tensão em cada lâmpada. A tensão e a intensidade da corrente será a mesma em cada lâmpada? Na ligação em série as lâmpadas emitirão mais brilho ou menos brilho? A intensidade da corrente na ligação em paralelo será menor ou maior que a intensidade da corrente nas lâmpadas que estão ligadas em série?

Nessa etapa do trabalho é muito importante a criação de concepções embasadas nas aulas teóricas e a elaboração de hipóteses que serão comprovadas, ou não, na realização do experimento com a utilização do Quadro AC.

Segundo (CARVALHO, 2018) esse é um momento da aula que proporciona ao aluno um aumento de sua da liberdade intelectual e quando os alunos atingem os graus 4 e 5 na tabela apresentada na Figura 26, eles se mostram alunos mais maduros, têm mais facilidade de trabalhar em grupo, elaboram problemas e conseguem elaborar conclusões mais consistentes.

Se no problema proposto não há a realização de medições com o voltímetro e o amperímetro instalados no Quadro AC e nem a utilização de componentes, como bobina e sensor fotoelétrico, que necessitam de observação visual do fenômeno físico, o uso de uma metodologia alternativa para solução do problema proposto é uma hipótese que poderá ser adotada pelo grupo.

Nesse caso, no contexto da aula experimental, onde a utilização do Quadro AC é o foco da aula, colocaria o grupo em uma posição bastante desfavorável daquela esperada por seus pares que irão posteriormente avaliá-lo. Outra condição igualmente desfavorável é a solução do problema apresentado com a utilização equivocada de conceitos físicos ou da própria realização de forma errada do experimento no Quadro AC.

Pode acontecer ainda, de o Grupo, através do aluno, solucionar o problema elaborado de forma inusitada e inovadora, mantendo a correta relação entre os conceitos Físicos e os elementos disponíveis no Quadro AC. Para o registro da hipótese utilizada na solução do problema apresentado, o Anexo 1 traz um espaço específico para anotação

dessa atividade. É um registro importante, pois pode trazer uma inovação na solução correta do problema apresentado, já que seu grau de liberdade intelectual foi aumentado (PELLA, 1969).

Figura 28 – Local no formulário para registro da crítica sobre a hipótese utilizada

O SEU COLEGA REALIZOU O EXERCÍCIO DA MANEIRA QUE VOCÊ ESPERAVA? O QUE ACONTECEU QUE MAIS LHE CHAMOU A ATENÇÃO ENQUANTO ELE REALIZAVA A TAREFA QUE VOCÊ PROPÔS?

Fonte: arquivo do autor (2019)

A Figura 28 mostra o local apropriado no formulário recebido pelo aluno para registro do seu entendimento sobre a solução do problema apresentado e a hipótese utilizada para a solução do mesmo. O aluno que está realizando a avaliação do experimento pode ainda registrar o fato que mais lhe chamou a atenção durante esse processo. Esse registro tem grande importância para o professor, pois é através dele que, por exemplo, ele poderá constatar se o aluno que está realizando a avaliação da solução do problema proposto possui o entendimento correto do(s) conceito(s) do(s) fenômeno(s) físico(s) envolvido(s) na tarefa.

c) Plano de trabalho: a utilização de um único produto didático em uma turma com muitos alunos é uma situação muito complexa para a realização de uma aula experimental. Diante dessa situação o professor pode dividir a turma em grupos e cada grupo então vai elaborar um problema, onde todos os alunos do grupo irão participar com ideias e sugestões para elaboração do problema proposto a ser solucionado com a utilização do Quadro AC. O plano de trabalho deve seguir as instruções contidas no Anexo 1 onde a questão deve ser anotada para posterior solução por um grupo pré-determinado pelo professor, ter sua avaliação registrada pelos demais grupos que participaram da aula.

Após a verificação dos dados obtidos o professor deverá montar uma tabela para realizar a futura construção de diagramas para análise das respostas obtidas nos experimentos e posterior arquivamento. Nessa fase da aula o aluno do grupo realiza o experimento sugerido no problema. Esse mesmo grupo de alunos no decorrer da aula experimental terá a oportunidade de participar também dessa etapa. Na realização do plano de trabalho o professor deve separar uma aula, logo após a aula experimental, para fazer uma reflexão dos experimentos realizados na aula anterior. Essa reflexão pode incluir desde as hipóteses utilizadas para solução dos problemas, como a não utilização do Quadro AC, até o fato da maioria dos experimentos fazer uso constante de determinado elemento do Quadro ou a não utilização de determinado elemento. Essa aula de reflexão pode detectar falhas no que se refere à assimilação de conceitos físicos apresentados nas aulas teóricas pelos alunos.

Figura 29 – Local no formulário para registro das informações para a aula de reflexão

FAÇA PELO MENOS UMA CRÍTICA POSITIVA E UMA NEGATIVA (CONSTRUTIVA) PARA A INTERAÇÃO DE CADA DUPLA COM O QUADRO AC NAS TABELAS ABAIXO. LEMBRE-SE TAMBÉM DE ESCREVER CRÍTICAS PARA SUA DUPLA.
NOMES DA DUPLA:
Crítica Positiva:
Crítica Negativa:

Fonte: arquivo do autor (2019)

A Figura 29 apresenta o local, no formulário a ser preenchido pelo aluno, das críticas efetuadas para cada problema solucionado. Pode-se observar que há espaço para registro de críticas positivas e críticas negativas. A Figura 29 apresenta o exemplo de apenas uma dupla, mas o formulário se estende a todas as duplas participantes da aula experimental. O registro dessas críticas, assim como a resposta obtida na parte do

formulário mostrada na Figura 28 é também material para a aula de reflexão que acontecerá posteriormente.

d) Obtenção de dados: o formulário criado e que consta do Anexo 1 é o local onde o problema será proposto e é o local onde serão armazenadas as informações e observações surgidas durante as avaliações pelos grupos que participaram da aula experimental com o Quadro AC. Nesse formulário existe um local específico para o aluno enunciar o problema como mostrado na Figura 26 dê sua opinião sobre a solução do problema através do quadro da Figura 27 e ainda há também um espaço reservado para que o aluno (aquele que está assistindo a solução do problema no Quadro AC) de cada grupo, faça dois tipos de críticas construtivas conforme local indicado no quadro da Figura 28. Todo aluno terá a oportunidade de fazer uma crítica positiva e uma crítica negativa. Optou-se por utilizar o termo “crítica negativa” ao invés de “crítica construtiva” para evitar uma possível duplicidade de críticas apenas positivas. Essas observações, positivas e negativas, estão relacionadas à interação do grupo executor com o Quadro AC na solução do problema proposto. Essas críticas, por serem críticas construtivas, têm como objetivo fazer com que as aulas experimentais com a utilização do Quadro AC sejam aprimoradas, quando necessárias e também servem de ferramenta para que o professor (P) se mantenha atento quanto à assimilação dos conteúdos teóricos pelos alunos.

A obtenção de dados é o primeiro passo dado pelo aluno (onde o professor irá começar a traçar suas estratégias para a aula de reflexão. Os dados obtidos nessa fase são os alimentadores de uma tabela que será criada futuramente e onde serão inseridos todos os elementos do Quadro AC e a participação de cada um dos elementos em cada experimento realizado pelo aluno. Essa informação será então utilizada para a elaboração de diagramas de Venn (HEBERLE, 2014) que vão fornecer ao professor uma visão bastante útil sobre a utilização, em conjunto, de alguns elementos do Quadro, principalmente quando o número de alunos participantes nas soluções dos problemas propostos crescer muito e a análise, sem os diagramas, se tornar um problema de complexidade considerável (CARVALHO, 2018). Os dados obtidos na solução dos problemas propostos serão registrados em uma tabela onde a primeira coluna indica o número do experimento e a primeira linha contém todos dos elementos disponíveis no Quadro AC para solução do problema proposto.

Figura 30 – Parte superior da tabela criada com os dados obtidos

Nº	VO	AM	LS	LP
1	X			X
2		X	X	
3	X	X	X	X

Fonte: arquivo do autor (2020)

A Figura 30 mostra um quadro onde há uma parte dessa tabela como exemplo. Na primeira coluna estão enumerados os problemas e na primeira linha os elementos constantes no Quadro AC. No exemplo dado, temos VO = voltímetro, AM = amperímetro, LS = ligação em série e LP = ligação em paralelo. Dessa forma, lendo o primeiro experimento listado na tabela, pode-se concluir que o problema proposto envolve ligações em paralelo (LP) e a aferição da tensão elétrica através do voltímetro (VO). O segundo experimento envolve ligações em série (LS) e aferição da intensidade da corrente elétrica através do amperímetro (AM) e assim sucessivamente. No final desta tabela há uma legenda onde todos os elementos que estão abreviados são descritos claramente.

e) Conclusões: com os dados obtidos na seção anterior, o aluno, o professor e a classe (Classe) irão realizar análises e concluir a aula experimental da qual eles participaram.

Nas etapas anteriores, não houve a participação direta do professor (P), exceto nas conclusões onde o professor e Classe aparece em conjunto com o aluno e o grau 5 foi atingido na tabela apresentada no artigo que alicerça esse capítulo (CARVALHO, 2018).

As conclusões podem ser elaboradas através de tabelas e diagramas, apresentadas com os dados obtidos na seção “obtenção de dados”, que compilam os dados dos experimentos realizados pela classe e que poderão fazer parte de um posterior banco de dados para tomadas de decisões pelo professor na utilização do Quadro AC nas aulas experimentais. A experiência nos mostrou que os diagramas de Venn construídos com dados da tabela sugerida, fornecem a interação dos elementos utilizados no Quadro AC e com a realização de medições com os outros elementos.

Esses diagramas são uma poderosa ferramenta para tomada de decisões e levantamento de questionamentos sobre a utilização de determinados itens do Quadro AC. Os questionamentos sobre a utilização dos elementos do Quadro AC ou do próprio Quadro podem ser realizados em uma aula posterior, a qual já denominamos de “aula de reflexão”. Nessa aula, questões são colocadas em debate para que a Classe possa opinar sobre os procedimentos realizados na aula experimental. Os diagramas de Venn construídos com os dados obtidos nos fornecem informações sobre os tipos ligações corretas e incorretas efetuadas com os aparelhos de medição que estão disponíveis (voltímetro e amperímetro) e o tipo de ligação (em série e em paralelo) entre os elementos do Quadro AC, fornecendo assim, uma área bastante fértil para análise dos dados obtidos e que estão nos formulários preenchidos por cada aluno.

A proposta de uma SEI para o Quadro AC onde o aluno é membro ativo em todas as etapas, inclusive na conclusão da aula através da avaliação constante no formulário que foi distribuído pelo professor, pode proporcionar uma maior interação professor/aluno, e isso pode ser a base para uma maior liberdade intelectual do aluno, fato que não foi constatado no trabalho no artigo que embasa esse referencial teórico, onde essa interação não é facilitada para a maioria dos professores que, com poucas aulas por semana em cada turma e com grande número de estudantes por turma, têm pouca chance de conhecer cada um de seus alunos (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2005).

A pesquisa realizada mostra que a maioria dos professores, não podendo alcançar os dois conceitos básicos do ensino por investigação – organização de problemas e liberdade intelectual para os alunos – têm grande dificuldade de trabalhar com as sequências de ensino investigativo, mesmo que sejam eles os próprios autores das sequências.

5 Aplicação em sala de aula

Neste capítulo apresentamos a utilização do Quadro AC em sala de aula e a interação dos alunos com o mesmo. A aplicação se deu em aulas de Física Experimental III realizadas no Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais (IFSUDESTE-MG), *campus* Juiz de Fora. Devido à pandemia da Covid-19 não foi possível fazer a aplicação em uma turma regular do EM e, por isso, foram utilizados resultados de uma aplicação piloto em turmas de licenciatura e bacharelado. Para uma compreensão mais didática sobre essa metodologia, ela foi dividida em etapas como se segue.

5.1 Organização da sala

Antes de apresentar o Quadro e ligá-lo em sala de aula, o professor deve organizar a sala para que todos os alunos tenham a oportunidade igualitária de assistirem a apresentação do Quadro que será feita pelo professor. Esse momento é muito oportuno para o professor informar que a aula com a utilização do Quadro será uma aula avaliativa (valendo pontos) e que, portanto, é muito importante a interação de todos. Esse processo promove um grande engajamento dos alunos com o assunto abordado em sala.

Para facilitar a organização da sala para essa apresentação há a possibilidade de dispor as carteiras na forma de um “U” colocando o Quadro ao centro. Após essa fase o professor pode então separar a turma em grupos e reorganizar as carteiras, da forma mais adequada para que cada grupo se sinta em um local “reservado” para a realização dos trabalhos referentes à aula.

5.2 Montagem no local do experimento

A primeira ação do professor deverá ser verificar a tensão elétrica fornecida no local. O Quadro AC foi projetado para funcionamento sob uma tensão de 127,0V, portanto, é muito importante fazer essa verificação para impedir danos ao aparato. O Quadro deve ser colocado sobre uma mesa para que os alunos possam manuseá-lo de forma segura e seus componentes (acessórios) devem estar organizados próximo ao mesmo, para facilitar o acesso. Logo após, o professor deve explicar o funcionamento do

Quadro e de como utilizar os acessórios. Há necessidade de dizer aos alunos que tanto o amperímetro quanto o voltímetro não devem ser regulados. Os mesmos têm seus reguladores colados a fim de evitar danos aos aparelhos. Só devem ser manuseados na função de “ligar” e “desligar” nas chaves mostradas nos itens 08 e 14 da Figura 4, para efetuar as medições.

As cinco lâmpadas localizadas na parte superior do Quadro AC são lâmpadas incandescentes de 35,0W e 127,0V, conforme especificação gravada nas próprias lâmpadas pelo fabricante das mesmas.

Figura 31 – Professor mostrando o funcionamento do Quadro AC



Fonte: arquivo do autor (2019)

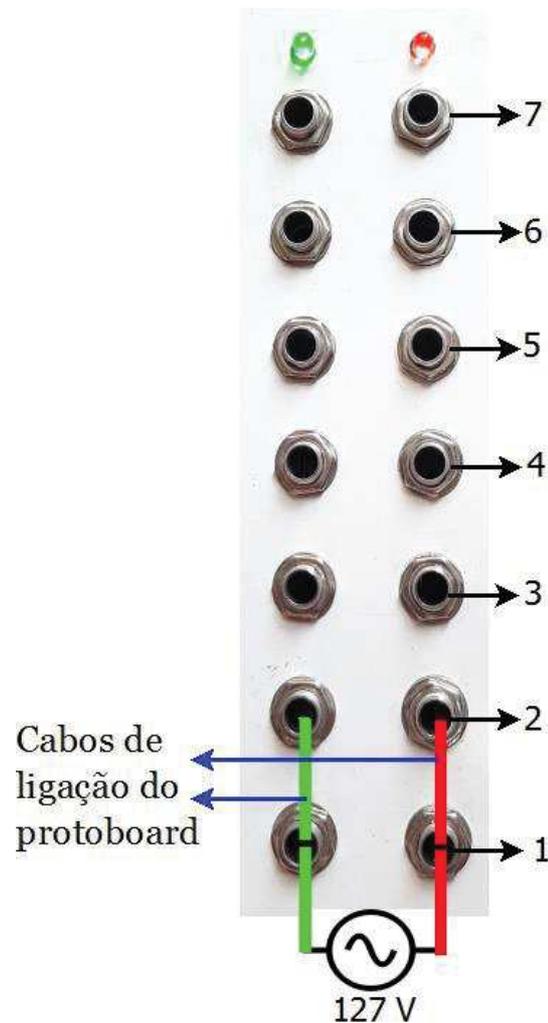
A Figura 31 mostra o professor fazendo a explicação de como o Quadro AC funciona e os recursos que estão à disposição dos alunos para realização dos

experimentos que serão propostos. Essa demonstração foi realizada em aulas de Física Experimental III para alunos dos Cursos de Licenciatura em Física e de Engenharia Metalúrgica do IFSUDESTE-MG em dezembro de 2018 e maio de 2019. Após esse momento os alunos já podem formular o enunciado das questões dos experimentos.

5.3 Ligação do Quadro

Todos os componentes do Quadro AC, exceto a bobina, utilizam a energia fornecida pelo *protoboard* item 07 da Figura 4.

Figura 32 – *Protoboard* do Quadro AC



Fonte: arquivo do autor (2020)

Na Figura 32 podemos observar que as entradas da posição 1 recebem a tensão alternada de 127,0V e a transferem, com a utilização dos cabos de ligação do *protoboard*, às demais entradas P-10 enumeradas de 3 até 7. Os cabos de ligação do *protoboard* são os menores cabos que fazem parte dos acessórios do Quadro. Medem 20,0 cm e possuem as cores verde e vermelha cada um. Ambos possuem nas extremidades pinos P-10 que devem ser ligados, seguindo as cores indicadas, nas entradas 1 e 2.

Após a realização dessa ligação, a chave liga-desliga do Quadro, item 10 da Figura 4, deverá ser acionada para que os LED's de orientação das ligações (nas cores verde e vermelha) sejam ligados. Após essa etapa o Quadro está pronto para ser utilizado para a montagem dos experimentos.

5.4 Dispositivo de segurança

Para que a utilização do Quadro seja realizada com segurança, o mesmo deve ser manuseado por apenas um aluno a cada experimento. É claro que outros membros da equipe, quando existirem, podem auxiliá-lo no fornecimento dos cabos e outros componentes, sem tocar no Quadro, ao aluno que está realizando o experimento. A ligação propriamente dita deve ser realizada por um único membro da equipe. Isso se justifica, uma vez que o mesmo acionará o *push botton*, item 11 da Figura 4, com uma de suas mãos e deixará a outra livre para manusear o Quadro.

O Quadro, apesar de estar energizado após os procedimentos mostrados na Figura 32, ele só aciona as entradas P-10 (de 3 até 7), após o pressionamento do *push botton*, que funciona de forma momentânea, ou seja, só permanece ligado ao ser pressionado. Essa informação deve ser passada aos usuários para mantê-los seguros quanto a utilização e justificar o motivo de apenas um aluno utilizar o Quadro e pressionar o *push botton*. Outra informação que deve ser passada aos alunos é que os mesmos não precisam ter “medo” de cometerem erros de ligação. Caso isso aconteça há um fusível, item 09 da Figura 4, que protege o Quadro e que há fusíveis reservas para troca.

5.5 Realizando experimento em grupo

A seguir é apresentada a utilização do Quadro AC em sala de aula conforme mostrado no capítulo 4, letra “b” onde é elaborado um exemplo de enunciado de um problema. Antes da realização de cada exercício no Quadro pelos grupos de alunos, o professor deverá colocar questionamentos sobre o experimento que será realizado. Nesses questionamentos o professor abordará hipóteses possíveis durante a realização do experimento, isto é, os alunos devem apresentar, de forma verbal, resultados esperados por eles durante o trabalho desenvolvido. Essa atividade aumenta o grau de liberdade intelectual do aluno. Os alunos criam hipóteses sobre o exercício que será realizado no Quadro (CARVALHO, 2018).

Uma aplicação possível é o professor dividir a turma em grupos e distribuir para cada grupo exercícios previamente impressos e solicitar que cada grupo vá até o Quadro e realize o experimento proposto. O professor acompanha a realização do experimento (seguindo um manual) e faz a avaliação do grupo pelas respostas e até mesmo pelo tempo gasto na execução da tarefa proposta.

Outra aplicação em sala de aula pode ser realizada com a utilização de um único Quadro em uma turma com muitos alunos e onde todos podem interagir ao mesmo tempo. Essa aplicação é o foco deste trabalho. Nessa atividade o professor divide a turma observando o número total de alunos e o tempo disponível de aula. Com os grupos formados, o professor vai então distribuir um formulário elaborado por ele e devidamente impresso (no Anexo 1 há um exemplo desse formulário), onde deve conter as seguintes informações:

- cabeçalho para anotação dos nomes dos alunos que compõem o grupo;
- um breve resumo da atividade a ser executada – a atividade a ser executada deverá ser proposta baseada no quadro que contém os Grupos e que consta do Anexo 1.

No momento da aula os outros grupos devem ficar atentos à questão elaborada pelo grupo “formulador da questão” e no grupo que irá executar a questão. O professor deve esclarecer no início da aula, que cada grupo deve elaborar uma questão única e que a mesma não pode ser repetida por outro grupo. Com essa metodologia todos os grupos são obrigados a criar uma questão diferente, o que torna a aula muito interessante. Mesmo surgindo questões de simples resolução, a motivação na aula persiste entre os

alunos. O formulário deve conter também um espaço para a resposta a dois questionamentos: o primeiro se refere se o grupo “executor” do experimento atingiu o objetivo esperado, ou seja, se respondeu corretamente á questão proposta sem erros, inclusive conceituais, e o segundo questionamento se refere ao que mais chamou a atenção do grupo no desenvolvimento do experimento.

Essa metodologia, em resumo, cria um grupo que elabora a questão, um outro grupo que executa a tarefa e diversos grupos que avaliam o experimento. Toda essa sistemática cria um rodízio onde todos os grupos criam, executam e avaliam a tarefa. É por essa razão que utilizamos “um único produto educacional para aulas práticas em turmas com muitos alunos”. Com relação à avaliação da atividade desenvolvida, essa ficará a cargo de cada professor, haja vista, que cada professor pertence a um contexto singular.

Figura 33 – Alunos preenchendo o formulário do Anexo 1



Fonte: arquivo do autor (2019)

A Figura 32 mostra os alunos realizando o preenchimento dos formulários onde eles estão enunciando as questões que serão utilizadas nos experimentos. Notamos o engajamento e a interação dos grupos de alunos nessa tarefa.

Figura 34 – Alunos realizando o experimento



Fonte: arquivo do autor (2019)

Na Figura 33 observamos o engajamento dos alunos na realização do experimento proposto. Nesse caso, como especificado no item 5.4 (Dispositivo de segurança) do Capítulo 4, apenas um aluno realiza o experimento. Os alunos que fazem parte do grupo que realiza o experimento assessoram o executor e os demais alunos observam para que possam avaliar a execução posteriormente no formulário.

5.6 Finalizando a aula experimental

Após a realização das atividades propostas pelo professor em sala de aula, todos os formulários utilizados pelos os alunos devem ser recolhidos e devidamente ajuntados (com a utilização de um grampeador) para que os mesmos não se percam ou se misturem. Devemos lembrar que só a primeira página distribuída pelo professor contém os nomes dos alunos que compõem o grupo.

Após o recolhimento desse material, o professor deve desligar o Quadro da tomada e providenciar a guarda dos componentes na parte traseira do mesmo, no local indicado na Figura 3. Para essa fase de encerramento o professor pode promover novamente a interação e o engajamento de seus alunos, permitindo que os mesmos o auxiliem nessa tarefa. Recolhido todo o material dos alunos e deixado o Quadro pronto para um novo transporte e futura utilização, o professor deve solicitar aos alunos que os mesmos recolhem as carteiras nos lugares onde as mesmas se encontravam antes da realização da aula, mantendo assim, a sala organizada para a próxima aula de um próximo professor.

5.7 A avaliação pós-aula

Finalizada a aula, os formulários devidamente ajuntados pelo professor, devem ser recolhidos e guardados em uma pasta adequada para evitar futuros transtornos de perda e mistura com materiais de outras turmas. O professor deve então se dirigir a um ambiente apropriado para uma avaliação tranquila e sem interferência de fatores externos, para efetuar a avaliação dos experimentos realizados. O professor tem a liberdade de estabelecer métodos e critérios de avaliação de acordo com o perfil de cada turma avaliada. Em uma aula posterior, a aula dos comentários sobre as avaliações feitas, o professor pode efetuar perguntas orais sobre o conteúdo das questões. Pode perguntar, por exemplo, por que um determinado componente não foi utilizado nos experimentos realizados. Essa será uma aula para reflexão sobre os experimentos realizados.

Na aula experimental onde houve a participação de alunos do terceiro grau (Licenciatura em Física e Bacharelado em Engenharia metalúrgica) essa aula não foi realizada, pois como o número de alunos foi um número pouco expressivo, a reflexão sobre os experimentos realizados foi efetuada durante a própria aula experimental. Em aulas com um número expressivo de alunos esse tipo de aula, a de reflexão, é uma ação bastante interessante para coleta de dados pelo professor sobre a aula experimental realizada.

6 Análise e Reflexão

Neste capítulo apresentamos a análise e a reflexão das aplicações realizadas em sala de aula. As aplicações foram realizadas com alunos da disciplina de Física Experimental III e eram turmas híbridas, com alunos do Curso de Licenciatura em Física e do Curso de Bacharelado em Engenharia Metalúrgica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, *campus* Juiz de Fora, nos dias 13 de dezembro de 2018, 09 de maio de 2019 e 21 de novembro de 2019, totalizando 25 alunos. As aplicações foram realizadas com a utilização de um formulário adequado, desenvolvido especificamente para essa finalidade e que pode ser acessado no endereço eletrônico <https://profbrunogoncalves.wordpress.com/fisica-experimental-iii/#quadroac>.

Figura 35 – Quadro de itens para as questões

Grupo 1 – Leis	Grupo 2 - Medidores	Grupo 3 - Ligações	Grupo 4 - Componentes
das malhas	Voltímetro	Série	Lâmpada(s)
dos nós	Amperímetro	Paralelo	<i>Dimmer</i> + lâmpada(s)
de indução			Bobina + anel
			Bobinas
			Sensor fotoelétrico
			Bobinas + lâmpada(s)

Fonte: arquivo do autor (2019)

A utilização do quadro do Figura 34 é feita pelo aluno formulando uma questão onde ele deve buscar pelo menos um elemento de cada Grupo (mínimo de três Grupos). Segundo as instruções do formulário constante do Anexo 1, não foram aceitas questões formuladas com a utilização inferior de três Grupos do quadro da Figura 34. Há liberdade de o aluno formular uma questão utilizando mais de um elemento de um Grupo específico ou de elementos dos quatro Grupos. Por exemplo ele pode formular uma questão solicitando a ligação em série de duas lâmpadas e a realização da medida da intensidade da corrente elétrica em cada lâmpada e na mesma questão solicitar a medida da tensão elétrica no sensor fotoelétrico.

Em questões formuladas dessa forma devemos nos atentar que o aluno formulador da questão teve a iniciativa de fazer com que o grupo executor do experimento fizesse uso dos dois medidores especificados no Grupo – 2 do quadro da Figura 34. Durante as aplicações houve a participação de vinte alunos na realização dos experimentos sugeridos pelos próprios alunos. Os demais, num total de cinco, participaram apenas da análise dos experimentos. Tal fato foi consequência da limitação de tempo de cada aula. Esses cinco alunos que não atuaram efetivamente nos experimentos poderão participar de uma outra aula em um momento oportuno para realização da formulação da questão e da realização do experimento no Quadro AC.

6.1 Exemplos de questões formuladas

Com a utilização do formulário constante do Anexo 1 as questões foram enunciadas pelos alunos com a utilização do formulário do Anexo 1. A seguir apresentamos exemplos dessas questões que foram formuladas.

Figura 36 – Questão formulada: exemplo 01

ATIVIDADE 1 - ENUNCIADO DO SEU EXERCÍCIO:
Monte um circuito com a bobina secundária
ligada na lei de indução, em série com uma
lâmpada e utilize o Dimmer para verificar
a variação da Tensão da lâmpada.

Fonte – Arquivo do autor (2019)

No exemplo 01 mostrado na questão formulada que está na Figura 35 o aluno formulou uma questão onde ele usa elementos do Grupo 1 (lei da indução), do Grupo 2 (voltímetro – que está implícito da verificação da tensão da lâmpada), do Grupo 3 (ligação em série) e do Grupo 4 (*dimmer* + lâmpada).

Todas as perguntas elaboradas pelos grupos de alunos têm pelo menos um componente do “Grupo – 4” apresentado no quadro da Figura 34. O uso desse Grupo é

consistente, pois esse Grupo é o que concentra os componentes que podem ser utilizados na formulação das questões com o auxílio dos demais Grupos que contemplam as leis, os medidores e as ligações.

Figura 37 – Questão formulada: exemplo 02

ATIVIDADE 1 - ENUNCIADO DO SEU EXERCÍCIO:
Com base na lei de indução monte a bobina secundária ligada a uma lâmpada e meça a corrente

Fonte – Arquivo do autor (2019)

No exemplo 02 mostrado na questão formulada que está na Figura 36 o aluno formulou uma questão onde ele usa elementos do Grupo 1 (lei da indução), do Grupo 2 (amperímetro – que está implícito da verificação da intensidade da corrente na lâmpada), do Grupo 2 e do Grupo 4 (bobina + lâmpada).

6.2 Resultado compilado das aplicações realizadas

Para facilitar a análise, as questões formuladas pelos alunos foram utilizadas na construção de um quadro que agrega os elementos utilizados nos experimentos, elementos retirados dos Grupos 1, 2, 3 e 4 que constam da Figura 34 e o número de alunos que formularam as questões (de 1 até 25). Esse quadro posteriormente é utilizado para realização de análises sobre a formulação das questões.

Figura 38 – Percentual de utilização de cada elemento nos experimentos

Nº	LM	LN	LI	VO	AM	LS	LP	LA	DM	SF	BO	AN
1				X	X	X	X	X				
2				X	X			X	X			
3			X	X		X		X	X		X	
4			X				X	X			X	
5			X				X	X			X	
6		X			X		X	X				
7		X			X		X	X				
8												
9												
10				X		X	X	X				
11				X		X	X	X				
12			X		X	X		X				
13			X		X	X		X				
14			X					X				
15			X					X				
16												
17												
18			X	X		X		X	X		X	
19												
20			X		X			X			X	
21				X		X	X	X				
22				X		X	X	X				
23				X		X	X	X				
24			X		X			X			X	
25			X		X			X			X	
	0,0	8,0	44,0	36,0	36,0	40,0	40,0	80,0	12,0	0,0	28,0	0,0

Percentual de participação de cada elemento nos experimentos

Número de alunos que realizaram experimentos

Legenda:

LM	Lei das malhas	(0,0%)	LP	Ligação em paralelo	(40,0%)
LN	Lei dos nós	(8,0%)	LA	Lâmpada	(80,0%)
LI	Lei da indução	(44,0%)	DM	Dimmer	(12,0%)
VO	Voltímetro	(36,0%)	SF	Sensor fotoelétrico	(0,0%)
AM	Amperímetro	(36,0%)	BO	Bobina	(28,0%)
LS	Ligação em série	(40,0%)	AN	Anel	(0,0%)

Fonte – Arquivo do autor (2019)

O quadro da Figura 38 mostra o percentual de utilização de cada elemento e o número de alunos que atuaram durante os experimentos. Nesse quadro os componentes utilizados por cada aluno nos experimentos realizados estão marcados com um “X”. Na primeira coluna do quadro está listado o número de alunos que realizaram experimentos utilizando os componentes que compõem a primeira linha do mesmo quadro. Esses dados foram retirados das questões formuladas pelos alunos no formulário que consta do Anexo 1. Para uma leitura correta do quadro da Figura 37 apresentamos a seguir dois exemplos:

- a) o aluno 4 utilizou a lei da indução (LI) e a bobina (BO) para ligar lâmpadas (LA) utilizando ligação em paralelo (LP).
- b) o aluno 10 realizou ligação mista de lâmpadas (LA) através de ligação em série (LS) e ligação em paralelo (LP) e fez uso do voltímetro (VO) para medir a tensão elétrica nas lâmpadas.

Notamos que a coluna numerada de 1 até 25 apresenta 5 linhas que não contém nenhum “X” especificando os componentes utilizados nos experimentos. Essa ausência do “X” nessas linhas se dá exatamente pela ausência da formulação e da realização dos experimentos por esses alunos. Esses alunos estão presentes no quadro da Figura 37, pois os mesmos realizaram a análise dos experimentos formulados e realizados por seus pares e suas avaliações constam no formulário do Anexo 1 preenchido no decorrer da aula experimental.

Figura 39 – Participação dos Grupos na formulação das questões

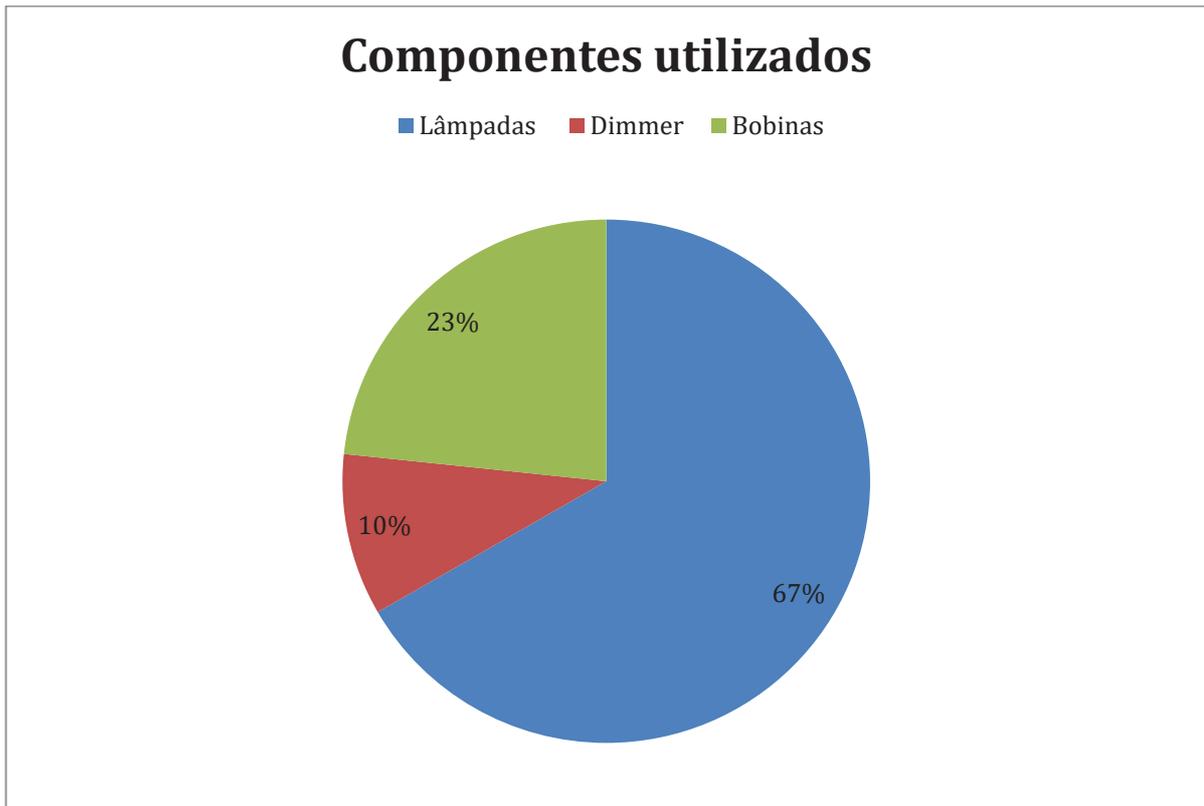
GRUPO	Nº de participações	% de participação
1	13	16,0%
2	18	22,0%
3	20	25,0%
4	30	37,0%
Total	81	100,0%

Fonte – Arquivo do autor (2019)

A Figura 39 mostra o quadro com a participação e o respectivo percentual de cada Grupo de componentes utilizado pelos alunos. Nele temos a maior participação (37%) do

Grupo 4 por ser o Grupo que concentra os componentes passivos do Quadro AC. Esses componentes são os que deverão ser acionados pelas leis, medidores e ligações que estão especificadas nos demais Grupos (1, 2 e 3).

Figura 40 – Componentes do Grupo 4 usados na formulação das questões



Fonte – Arquivo do autor (2019)

A Figura 40 nos mostra um gráfico onde aparece a participação dos elementos lâmpada, *dimmer* e bobina do Grupo – 4 na construção dos experimentos. No gráfico vemos que a participação das lâmpadas 67% superou muito a participação dos elementos *dimmer* (10%) e bobinas (23%). A participação expressiva das lâmpadas pode ser interpretada por ser a lâmpada um exemplo de resistor do cotidiano do aluno e que está em evidência, no Quadro AC. A lâmpada também é frequentemente utilizada pelo professor para exemplificar um resistor onde o aluno percebe com facilidade e de forma intuitiva a passagem da corrente elétrica pelo filamento da mesma gerando, inclusive, o fenômeno do efeito Joule, que é o aquecimento do mesmo pela dissipação da energia

eletromagnética em energia térmica. Neste momento surge a oportunidade de o professor explorar também com os alunos esse efeito.

Notamos a ausência, no gráfico, da utilização do anel (para realização do experimento sobre o anel de Thomson), do sensor fotoelétrico e da lei das malhas. Esses elementos constantes nos Grupos 1 (lei das malhas) e Grupo 4 (anel e sensor fotoelétrico) não foram encontrados em nenhuma das questões formuladas nos experimentos realizados. A ausência desses elementos pode ter sua origem na complexidade desse conteúdo e a difícil assimilação desses conceitos físicos pelos alunos. Esse é o motivo pelo qual as colunas desses elementos mostrados na figura 37 não foram marcados com o “X”.

6.3 O uso de diagramas de Venn para o Quadro

Foram criados três diagramas de Venn para a realização das análises das questões formuladas. Os diagramas de Venn nos permitem visualizar as interações entre os elementos do Quadro AC utilizado nos experimentos (HEBERLE, 2014). A iniciativa em usar o diagrama de Venn é facilitar o entendimento, no nosso caso, na operação de interseção entre conjuntos de elementos distintos (os elementos que fazem parte dos Grupos 1, 2, 3 e 4 da Figura 34).

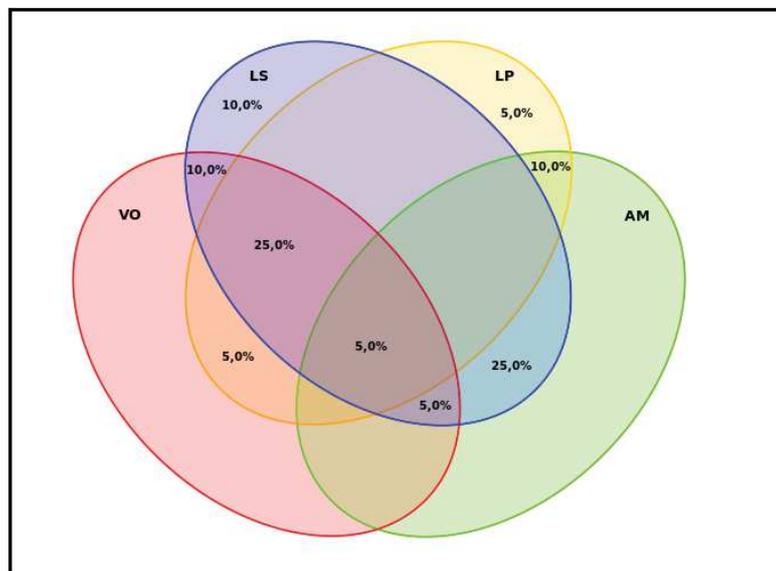
A utilização dos diagramas de Venn é uma ferramenta que pode ser utilizada na hora da avaliação e mostra ao professor “indícios” de possíveis erros cometidos pelos alunos, apesar de os experimentos terem sido efetuados de forma correta pelo aluno executor. Para uma análise mais didática dos experimentos realizados pelos alunos, apresentamos a seguir três diagramas de Venn que nos mostram peculiaridades sobre a utilização dos elementos constantes nos Grupos especificados na Figura 34 e fornece uma ajuda preciosa na avaliação das questões formuladas.

A utilização dos diagramas possibilita a detecção de questões que foram mal formuladas ou que possuem erros conceituais na sua formulação. Não foi criado um algoritmo para análise das interseções. O professor ao receber os formulários preenchidos pelos alunos após a realização dos experimentos pode seguir o que foi sugerido no item 5.7 do Capítulo 5 que trata da avaliação pós-aula, onde não há um roteiro definido para essa avaliação, ficando a cargo do professor estabelecer métodos e critérios de avaliação de acordo com o perfil de cada turma avaliada.

6.3.1 Diagrama de Venn para medidores, ligações em série e em paralelo

Esse diagrama possibilita a extração de informações referentes à formulação das questões utilizando os componentes: voltímetro (VO), ligação em série (LS), ligação em paralelo (LP) e amperímetro (AM) que constam dos Grupos especificados no quadro da Figura 37.

Figura 41 – Diagrama de Venn para medidores, ligações em série e em paralelo



Fonte – Arquivo do autor (2020)

A Figura 41 nos mostra a análise que foi criada com os dados retirados das questões elaboradas pelos alunos no experimento proposto. Desse diagrama podemos extrair as seguintes informações:

a) Na interseção do voltímetro (VO) com a ligação em série (LS) temos a participação de 10% dos alunos na elaboração das questões envolvendo esses elementos. O sinal de alerta na análise dessa interseção é se a questão formulada pelos alunos contidos nesse percentual de 10% é uma questão com potencial de induzir o executor do experimento a utilizar o voltímetro ligado em série no circuito proposto. Se essa informação for verdadeira, encontramos aí um erro conceitual no que se refere à posição do voltímetro

num circuito. Ele não pode participar do circuito em série, mas em paralelo. Na avaliação dos formulários feita pelo professor, se esse erro for confirmado, há a necessidade de reforçar esse conceito durante as aulas teóricas.

b) Na interseção amperímetro (AM) com a ligação em paralelo (LP) também temos a participação de 10% dos alunos que formularam questões envolvendo esses dois elementos. Aqui o sinal de alerta tem a mesma magnitude do sinal de alerta mostrado na interseção citada na letra “a”. Será que as questões formuladas por esse percentual de 10% de alunos não tem o potencial de induzir o executor do experimento a ligar o amperímetro em paralelo no circuito solicitado?

Caso os sinais de alerta apresentados em “a” e em “b” se confirmem, temos aí uma constatação de que os conceitos apresentados sobre a utilização desses dois medidores, o voltímetro e o amperímetro, não foram totalmente assimilados por esses alunos e o professor tem a segurança de que esses conceitos devam ser reforçados nas aulas teóricas.

Apesar de aparecer no diagrama da Figura 40 as interseções analisadas em “a” e em “b”, todos os experimentos foram realizados de forma correta, ou seja, utilização do voltímetro em paralelo e do amperímetro em série. Isso se dá pelo fato de o Quadro AC ser bastante intuitivo nessas duas situações, ou seja, na realização de medições, pois o mesmo possui pinos P-2 nas extremidades dos cabos do voltímetro e pinos P-10 nas extremidades dos cabos do amperímetro, impedindo assim que o aluno, mesmo induzido ao erro na formulação da questão, execute o experimento de forma correta.

c) Na interseção voltímetro (VO), ligação em série (LS), ligação em paralelo (LP) e amperímetro (AM), tivemos a participação de 5% dos alunos na formulação de questões. É um percentual pequeno, pois realizar um experimento que envolve a medição da tensão elétrica e da intensidade da corrente elétrica é uma questão que envolve uma elaboração mais cuidadosa por parte dos alunos. Nesse tipo de interseção a verificação, por parte do professor, se o voltímetro e o amperímetro estão presentes de forma correta na formulação da questão é também uma avaliação que deve ser feita.

d) Na interseção ligação em série (LS) e amperímetro (AM) temos a participação de 25% dos alunos. Isso é um indicativo de que um quarto dos alunos possivelmente formularam as questões de forma correta. Resta ao professor verificar se a formulação das questões

foi feita de forma didática. Se os termos “ligação em série” e “amperímetro” estão colocados de forma correta no contexto do experimento sugerido.

e) Na interseção ligação em série (LS), ligação em paralelo (LP) e voltímetro (VO) tivemos a participação de 25% dos alunos na formulação de questões envolvendo esses elementos. Aqui o sinal de alerta aponta para a ligação do voltímetro em série no circuito. Todas as questões foram formuladas de forma correta? O voltímetro, na formulação da questão, está realmente ligado ao circuito em série? Essa é a pergunta que o diagrama nos permite fazer.

f) Na interseção voltímetro (VO) e ligação em paralelo (LP) tivemos a participação de 5% dos alunos na formulação das questões. Esse pode ser um indicativo de que esse tipo de ligação seja um experimento de pouca relevância, pois o Quadro AC, pelas suas características, permite que nesse tipo de ligação os erros não sejam frequentes, pois a medida da tensão elétrica é realizada de forma direta através dos pinos P-2 constantes nas extremidades dos cabos do voltímetro. Mesmo nesse tipo de interseção, o professor deve verificar se as questões foram formuladas de forma correta.

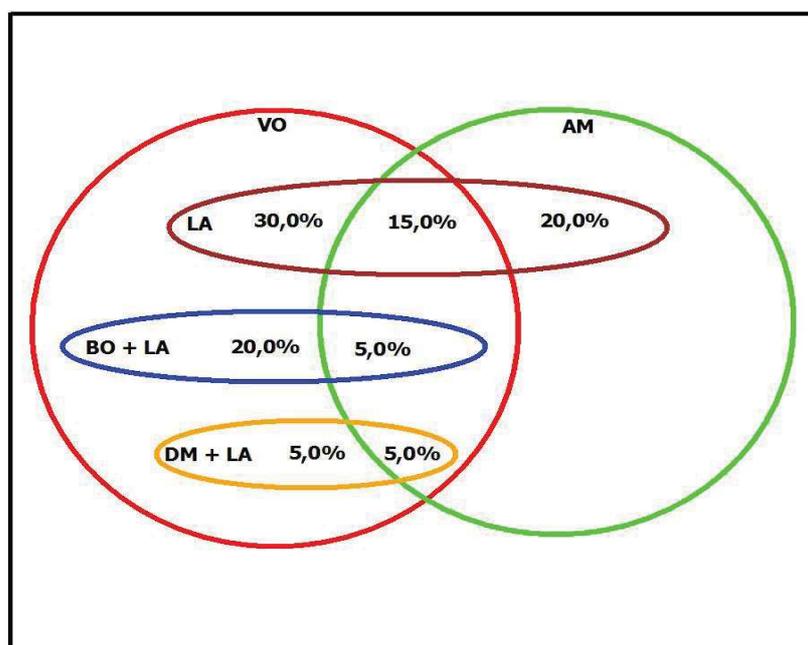
g) Na interseção voltímetro (VO), ligação em série (LS) e amperímetro (AM) temos um percentual de 5% das questões formuladas. Esse pequeno percentual, após as questões serem verificadas pelo professor, pode indicar a dificuldade que o aluno tem em utilizar o amperímetro, não por medo de errar a ligação, pois o Quadro AC é bastante intuitivo como já esclarecemos no item “b” dessa análise, mas por não conseguir formular de forma adequada uma questão onde estão envolvidos os dois aparelhos de medição: o voltímetro e o amperímetro.

h) Na interseção amperímetro (AM), ligação em série (LS) e ligação em paralelo (LP), na interseção voltímetro (VO), ligação em série (LS) e ligação em paralelo (LP) e na interseção amperímetro (AM) e voltímetro (VO) não temos questões formuladas. Esse é um indicativo de que ao utilizar um medidor, o aluno optou por um tipo de ligação. Resta, então, ao professor, avaliar as questões para confirmar esse indicativo ou constatar se houve erro na formulação da questão.

6.3.2 Diagrama de Venn para voltímetro e amperímetro

Neste diagrama a análise nos fornece informações referentes à formulação das questões utilizando os componentes: voltímetro (VO), amperímetro (AM), lâmpada (LA), bobina (BO) e o *dimmer* (DM) que constam dos Grupos especificados no quadro da Figura 34.

Figura 42 – Diagrama de Venn para voltímetro e amperímetro



Fonte – Arquivo do autor (2020)

A Figura 42 nos mostra a análise que foi criada com os dados retirados das questões elaboradas pelos alunos no experimento proposto.

Desse diagrama podemos extrair as seguintes informações:

a) Na interseção do voltímetro (VO) com o amperímetro (AM) e com a lâmpada (LA) houve a formulação de questões envolvendo esses elementos por parte de 15% dos alunos. Esse percentual pode ser resultado da forma intuitiva com que o voltímetro é utilizado no Quadro AC, como especificado na letra “b” na análise do diagrama 01. A participação do amperímetro pode ter sido incluída na formulação das questões formuladas como instrumento enriquecedor da questão. Esse fato deve ser verificado pelo

professor na hora de sua avaliação dos formulários entregues pelos alunos ao final da aula, bem como se a utilização desses dois componentes foram inseridos nas questões obedecendo os conceitos físicos corretos da participação desses medidores nos circuitos elétricos criados.

b) Na interseção do voltímetro (VO) com a lâmpada (LA) tivemos a participação expressiva de 30% das questões formuladas pelos alunos. Esse percentual mais elevado pode ser consequência da facilidade que o aluno tem em utilizar esse medidor no Quadro AC. Aqui a pergunta que nasce e cria um sinal de alerta para o professor é: “o voltímetro entra na formulação da questão ligado corretamente ao circuito elétrico proposto? Se na análise realizada pelo professor a resposta for “sim”, então, os conceitos referentes à utilização desse medidor foi bem assimilado pelos alunos e, se “não”, esse conceito deve ser reforçado nas aulas teóricas para que esse conceito seja assimilado de forma mais robusta pelos alunos.

c) Na interseção lâmpada (LA) e amperímetro (AM), tivemos a participação de 20% dos alunos na formulação de questões envolvendo esses elementos. Esse percentual nos mostra que em um quinto das questões propostas, os alunos se sentiram à vontade em utilizar o amperímetro, apesar do mesmo ter que ser inserido no circuito elétrico proposto através de uma ligação em série, ligação que oferece uma maior dificuldade, mas que, como será ligado apenas à lâmpada e essa ligação também é feita de forma intuitiva devido à formatação dos cabos utilizados no amperímetro, que possuem nas suas extremidades pinos P-10, não foi um obstáculo para sua utilização. O professor tem, então, a tarefa de avaliar se a formulação da questão foi feita de forma correta pelos alunos.

d) Na interseção bobina (BO) + lâmpada (LA) e voltímetro (VO) a participação de 20% dos alunos na formulação das questões utilizando esses três elementos pode ser atribuída à facilidade em ligar o voltímetro em paralelo com o circuito bobina + lâmpada. A verificação dos formulários preenchidos pelos alunos deve ter uma atenção especial do professor com relação à formulação correta das questões.

e) Na interseção bobina (BO) + lâmpada (LA) com o voltímetro (VO) e o amperímetro (AM) podemos verificar a participação de apenas 5% desses elementos na formulação das questões. Esse baixo percentual pode ter sua origem na forma com que o amperímetro é introduzido no circuito para a realização da medida da intensidade da corrente elétrica. Sua utilização é em série. O aluno tem que “abrir” o circuito elétrico e introduzir o amperímetro no circuito. Esse procedimento, às vezes, traz insegurança ao aluno. Ele teme errar o procedimento. Aqui o sinal de alerta para o professor deve ser a pergunta: “o voltímetro e o amperímetro foram citados de forma correta na formulação das questões?”

f) Na interseção *dimmer* (DM) + lâmpada (LA) com o voltímetro (VO) e com o amperímetro (AM) apenas 5% das questões formuladas uniram esses elementos. O motivo para esse percentual pouco expressivo pode estar ligado ao fato de que o conceito referente à utilização de componentes que promovam a variação da tensão elétrica (potenciômetros) não foram bem assimilados pelos alunos e isso ainda pode estar aliado à utilização do amperímetro. O professor, na análise dessa interseção, deve ficar bastante atento à formulação das questões para descobrir se esse fato se confirma. Essa confirmação vem na forma correta de como o aluno introduziu o *dimmer* na formulação da sua questão. A pergunta aqui pode ser: “o *dimmer* deixa claro na questão formulada que sua presença tem a finalidade de promover a variação a tensão elétrica no circuito?”

g) Na interseção *dimmer* (DM) + lâmpada (LA) com o voltímetro (VO) o percentual de questões formuladas foi de apenas 5%, como aconteceu na interseção da letra “f” desta análise. Aqui o sinal de alerta para o professor é mesmo: “o *dimmer*” deixa claro na questão formulada que sua presença tem a finalidade de promover a variação da tensão elétrica no circuito ? A utilização do voltímetro nas questões formuladas pode estar ligada ao fato do tipo de ligação com que ele é introduzido no circuito, a ligação em paralelo.

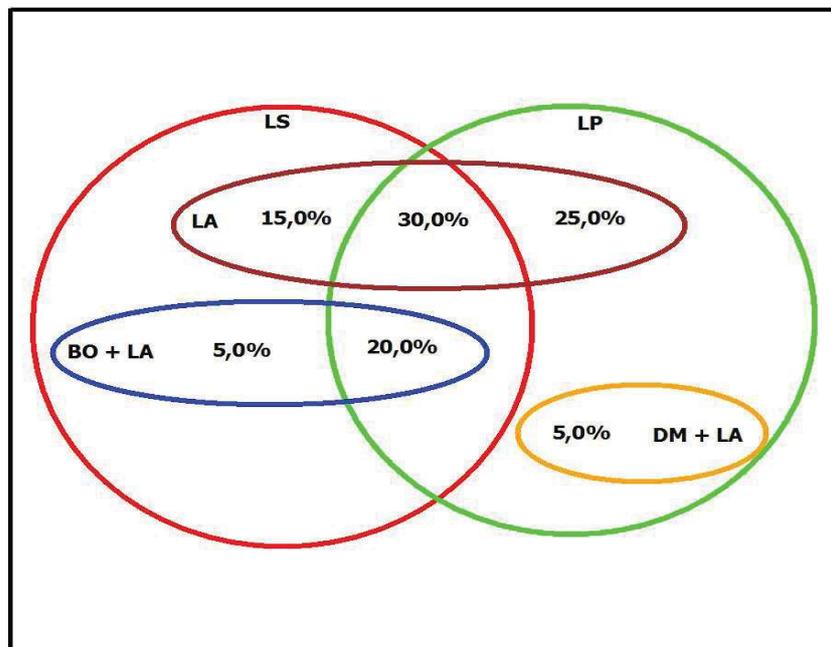
h) A interseção *dimmer* (DM) + lâmpada (LA) com o amperímetro (AM) não aparece no diagrama. Esse fato é resultado de não termos nenhuma questão formulada envolvendo apenas esses três elementos. Esse fato pode estar ligado diretamente à dificuldade que o aluno tem em utilizar apenas o amperímetro no circuito elétrico proposto para realizar

medidas. Essa investigação deve ser feita pelo professor e pode ser realizada através de uma pergunta oral: “por que ninguém fez uma ligação envolvendo o *dimmer* a lâmpada e o amperímetro? Diante da resposta dos alunos, ele terá subsídios para ações pontuais na parte conceitual das aulas teóricas. Essa mesma questão atinge a interseção bobina (BO) + lâmpada (LA) e amperímetro (AM), que também não aparece no diagrama e merece uma investigação por parte do professor para descobrir o motivo da sua inexistência.

6.3.3 Diagrama de Venn para ligações em série e em paralelo

Este diagrama fornece informações referentes à formulação das questões utilizando os componentes: ligação em série (LS), ligação em paralelo (LP), lâmpada (LA), bobina (BO) e o *dimmer* (DM) que constam dos Grupos especificados no quadro da Figura 34.

Figura 43 – Diagrama de Venn para ligações em série e em paralelo



Fonte – Arquivo do autor (2020)

A Figura 43 nos mostra a análise que foi criada com os dados retirados das questões elaboradas pelos alunos no experimento proposto.

Desse diagrama podemos extrair as seguintes informações:

a) Na interseção ligação em série (LS) com lâmpada (LA) e ligação em paralelo (LP) tivemos um percentual de 30% das questões formuladas pelos alunos. Esse percentual expressivo pode estar ligado ao fato de realizar ligações mistas, é um conceito que foi assimilado pelos alunos de forma mais consistente. Eles não se sentem desconfortáveis e inseguros em formular e realizar experimentos envolvendo este tipo de ligação. Resta ao professor investigar nos formulários entregues pelos alunos ao final da aula, se os mesmos formularam as questões de forma didática e conceitualmente corretas.

b) Na interseção ligação em série (LS) e lâmpada (LA) o percentual das questões formuladas foi de 15%. É um percentual baixo que pode ser atribuído ao fato de que realizar ligações em série é um conceito que deva ser reforçado pelo professor em suas aulas teóricas e experimentais.

c) Na interseção ligação em paralelo (LP) e lâmpada (LA) o percentual foi um pouco mais elevado do que na interseção da lâmpada com a ligação em série. Nessa interseção tivemos a formulação de 25% das questões envolvendo os dois elementos. Esse fato pode ser atribuído à facilidade que o Quadro AC oferece para a realização desse tipo de ligação. Ela é feita diretamente do protoboard (entradas P-10, item 07 da Figura 04) para as lâmpadas com a utilização dos cabos que possuem em suas extremidades pinos P-10. Pode também ser uma consequência da melhor assimilação por parte dos alunos desse conceito físico.

d) Na interseção bobina (BO) + lâmpada (LA) com a ligação em série (LS) e com a ligação em paralelo (LP) o percentual de questões formuladas foi de 20%. É um percentual que pode expressar a facilidade do aluno em lidar com ligações em paralelo na formulação da questão e na realização dos experimentos. Quando esse tipo de ligação não aparece na interseção, o percentual cai muito, como mostrado na próxima interseção.

e) Na interseção bobina (BO) + lâmpada (LA) com a ligação em série (LS) o percentual cai para 5%. É uma queda considerável quando comparamos esse percentual com o percentual de 20% na interseção anterior onde a ligação em paralelo está presente. Essa que pode ser atribuída à dificuldade dos alunos em lidar com ligações em série. É uma

questão que deve ser investigada pelo professor e, se necessário, o mesmo deve reforçar esse conceito em suas aulas teóricas.

f) Na interseção *dimmer* (DM) + lâmpada (LA) com ligação em paralelo (LP) encontramos um resultado de apenas 5% na formulação das questões envolvendo esses três elementos. Como apresentado no item “f” da análise do diagrama 02, o motivo para esse percentual pouco expressivo pode estar ligado ao fato de que o conceito referente à utilização de componentes que promovam a variação da tensão elétrica (potenciômetros) não foram bem assimilados pelos alunos. O professor deve promover a investigação desse fato e verificar se na formulação das questões envolvendo esses elementos a mesma foi feita de forma correta. O baixo percentual também poderia estar ligado com a ausência de utilização deste componente em circuitos analisados nas disciplinas teóricas correspondentes.

h) A interseção bobina (BO) + lâmpada (LA) com ligação em paralelo (LP) não aparece no diagrama 03. Essa ausência pode estar no fato de o aluno querer elaborar uma questão mais completa envolvendo também a ligação em série, como mostrado no item “d” dessa análise, onde o percentual atingido foi de 20% quando aparece na interseção a ligação em série.

i) A interseção *dimmer* (DM) + lâmpada (LA) com ligação em série (LS) e com ligação em paralelo (LP) também não aparece no diagrama 03. Esse caso pode estar relacionado à dificuldade de o aluno fazer a interação entre esses quatro componentes. A formulação da questão para realização do experimento demanda uma maior complexidade.

j) A interseção *dimmer* (DM) + lâmpada (LA) com ligação em série (LS) não aparece no diagrama 03. É provável que essa ausência de questões formuladas envolvendo esses três elementos esteja diretamente ligada à dificuldade em o aluno lidar com ligações em série. Essa é uma questão que pode ser confirmada pelo professor através de uma pergunta oral como, por exemplo: “por que não houve ligação em série envolvendo *dimmer* e lâmpada?”

6.4 Análise dos formulários preenchidos

Em uma aula com um único produto didático para realização dos experimentos e uma quantidade expressiva de alunos a análise das informações contidas nos formulários preenchidos e recebidos pelo professor pode ser tornar uma tarefa complexa devido ao número de informações que podem ser extraídas na compilação das respostas.

Com as respostas dos alunos, após o preenchimento dos formulários ao término dos experimentos, as informações podem ser compiladas num quadro, como o quadro mostrado na Figura 38 para posterior criação dos diagramas de Venn, como exemplificados nas Figuras 41, 42 e 43. Esses diagramas de Venn obedecem a conectividade entre os elementos que estão no quadro mostrado na Figura 35 e que consta do Anexo 1. Esse quadro possui a lista dos elementos que estão instalados no Quadro AC para realização dos experimentos durante a aula experimental.

As análises realizadas com a utilização dos diagramas de Venn fornecem informações importantes quando uma quantidade expressiva de alunos participa dos experimentos. Essa é uma perspectiva futura pois a finalidade é formar um banco de dados para uma posterior pesquisa sobre a utilização dos elementos que compõem o Quadro AC para a sua constante aprimoração.

Como exemplo temos a leitura de interseções que aparecem nos diagramas das Figuras 42 e 43. No primeiro caso observamos a utilização de 30% dos alunos dos elementos voltímetro (VO) e lâmpada (LA) e, no caso do diagrama da Figura 43, temos também o mesmo percentual de alunos (30%) na utilização de ligações em série (LS), ligações em paralelo (LP) e lâmpadas (LA). Isso é consequência da facilidade de utilização desses elementos ou é fruto de uma assimilação robusta desses conceitos pelos alunos? Essa pergunta nasce justamente da análise dos diagramas de Venn. Eles facilitam análises como esse exemplo apresentado e geram as perguntas que podem ser elaboradas pelo professor na aula sobre a reflexão dos experimentos realizados. Nas interseções como as mostradas nas Figuras 41, 42 e 43 podemos constatar os percentuais de alunos que utilizaram determinados elementos que estão especificados no quadro da Figura 35 e ainda descobrir o baixo percentual de utilização, por parte dos alunos, de elementos que constam nos Grupos do quadro da Figura 35 e é dessa forma que o professor tem a oportunidade de verificar o motivo desse baixo percentual, através de questionamentos

dirigidos aos alunos (de forma oral – para que a aula seja uma aula de reflexão), como especificado no item 4.7 (avaliação pós-aula) do Capítulo 4.

Com os dados coletados após essa análise, um banco de dados robusto poderá ser criado para futuras tomadas de decisões em relação às aulas de Física Experimental III realizadas. Após as análises dos formulários entregues pelos alunos ao término das aulas, constatou-se que todos os experimentos foram realizados de forma correta. Isso pode ser um indicativo positivo na utilização da SEI no Quadro AC reforçando a aprendizagem. Esse incremento na aprendizagem é também consequência da disposição dos componentes instalados, os LED's indicativos para as ligações, os cabos para ligações em cores distintas e os dispositivos de segurança, suprem a deficiência na formulação completa da questão. A ausência de uma didática mais elaborada na formulação das questões foi um ponto que envolveu 100% das questões formuladas. Esse ponto deve ser sempre observado e avaliado pelo professor no momento da correção dos formulários, pois como mencionamos anteriormente, muitos dos alunos participantes da aula experimental são alunos de Curso de Licenciatura em Física e devem ter o conhecimento necessário de como elaborar uma questão didaticamente correta para facilitar o entendimento pelo aluno daquilo que foi proposto e não induzi-lo ao erro na execução do experimento, no caso de uma aula experimental, ou na resolução de uma questão, numa avaliação teórica.

7 Considerações Finais

Essa dissertação mostrou um produto didático desenvolvido para complementar as aulas de Física que trata do tema “eletromagnetismo”. O produto foi construído em forma de uma mala para facilitar seu transporte para a sala de aula, ou seja, o professor pode levar o laboratório até o aluno. Na confecção do produto foi prioridade o uso de materiais de baixo custo e o cuidado para que o mesmo fosse visualmente atrativo, de fácil montagem, manuseio e replicação por outros professores.

Com o objetivo de facilitar essa replicação, foi criado um manual do produto onde está detalhada toda a construção do Quadro, suas ligações internas, especificação dos materiais e dos componentes utilizados. Com esse manual o professor é capaz de construir seu próprio Quadro utilizando um ferramental doméstico e materiais de baixo custo facilmente encontrado no mercado. O manual do produto encontra-se no Anexo 2.

Foi desenvolvida uma Sequência de Ensino por Investigação própria para utilização do Quadro. Nessa SEI, que consta do Anexo 1, os alunos são divididos em grupos que criam, executam e avaliam os experimentos realizados na aula experimental. A aplicação do Quadro AC com a utilização dessa sequência didática própria foi realizada com alunos da disciplina de Física Experimental III.

As participantes da aplicação eram turmas híbridas, com alunos do Curso de Licenciatura em Física e do Curso de Bacharelado em Engenharia Metalúrgica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, *campus* Juiz de Fora, nos dias 13 de dezembro de 2018, 09 de maio de 2019 e 21 de novembro de 2019, totalizando 25 alunos.

Para que os alunos não fiquem expostos a choques elétricos o Quadro possui dispositivos de segurança e na sua utilização apenas um aluno é escalado pelo grupo para realizar o experimento. Os demais atuam como auxiliares / consultores e devem manter atenção constante, pois os experimentos não podem se repetir, ou seja, cada grupo deve elaborar um problema diferente.

As informações sobre os experimentos realizados são registradas no formulário da SEI e posteriormente são analisadas pelo professor. Para a análise dos dados, sugerimos ao professor que realize uma aula de reflexão sobre os trabalhos realizados na aula experimental e que o mesmo, com os dados obtidos e inseridos na tabela da Figura 37 crie diagramas de Venn. Os diagramas de Venn fornecem dados sobre as interações dos

elementos que compõem o Quadro. Essas informações direcionam o professor para tomadas de decisões sobre os conteúdos explorados.

Nas aulas em que o Quadro foi utilizado, podemos observar um notável engajamento da turma na atividade de construção dos experimentos. Os alunos exploram de forma investigativa os elementos que compõem o Quadro AC e interagem de forma muito participativa na discussão dos resultados produzidos por cada grupo ao executar as tarefas no Quadro. Houve uma participação ativa de cada aluno dos grupos e uma significativa interação entre os grupos, pois, segundo especificado na SEI, é vedada a duplicidade de experimentos durante a aula.

Conforme citado no capítulo 4, item b, no enunciado do problema, foi mostrado um exemplo onde a formulação de questionamentos pelos alunos na concepção e na elaboração de hipóteses antes da realização de cada experimento, pode aumentar a liberdade intelectual dos alunos, tornando-os membros mais ativos das aulas.

O Quadro AC encontra-se guardado no Laboratório de Inovação Tecnológica (LIT) do IF SUDESTE MG e está à disposição de qualquer professor que queira utilizá-lo para tornar suas aulas mais dinâmicas. Acompanham o Quadro o formulário do Anexo 1 para que os alunos possam realizar o experimento de forma completa seguindo as instruções da SEI elaborada exclusivamente para essa finalidade. O Quadro pode ser usado sem custos para o professor e a forma de empréstimo envolve uma burocracia mínima bastando apenas preencher um termo de empréstimo com o nome do professor, a turma a que se destina e as datas de saída e retorno do produto.

Referências

ALONSO, M., FINN, E., J. – Física – Editora Addison-Wesley – Madri – Espanha, 1999.

BORGES, A. T. – Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 21 (Especial), 9-30, 2004.

BORGES, A. T.- Novos rumos para o laboratório escolar de ciências – Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.19, n.3:p.291-313 – dezembro, 2002.

BORGES, A. T., BORGES, O., VAZ, A.- Os planos dos estudantes para resolver problemas práticos – Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 3, p. 435 – 446, 2005.

BRASIL, PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>, 2016.

CARVALHO, A. M. & GIL-PEREZ, D. – Formação de Professores de Ciências. Cortez, São Paulo, 1993.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação – Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências – 18(3), 765-794, dezembro, 2018.

DATA SHEET DO LDR 5 mm. Disponível em: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/LDR%20Datasheet.pdf>Acesso em: 17/09/2020.

DRIVER,R.; E., & TIBERGHEN, A. (1985) - Children's ideas in science. Milton Keynes: Open University Press. Tradução de P. Manzano, 1989 – *Ideas científicas en la infancia y La adolescência*. Madri: Morata/MEC.

GALIAZZI, M. DO C.; MORAES, R. Educação pela pesquisa como modo, tempo e espaço de qualificação da formação de professores de ciências. Ciência & Educação, v. 8, n. 2, p. 237-252, 2002.

GIL PÉREZ, D.; FURIÓ MÁ. C.; VALDÉS, P.; SALINAS, J.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; GUIÁSOLA, J.; GONZÁLEZ, E.; DUMAS-CARRÉ, A.; GOFFARD, M. y CARVALHO, A.M.P. Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? Enseñanza de las Ciencias, v.17, n.2, p.311-320, 1999.

GONÇALVES, E. S., MOREIRA, M. A. – Laboratório estruturado versus não estruturado: Um estudo comparativo em um curso convencional. *Revista Brasileira de Física*, Vol. 10, NP 2, 1980.

HALLIDAY, D.; RESNICK, J. W. – Fundamentos da Física – Volume 3 – Editora LTC – 8ª Edição – Rio de Janeiro – RJ, 2009.

HEBERLE, H. Uma abordagem visual para análise comparativa de redes biomoleculares com apoio de diagramas de Venn – Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – Universidade de São Paulo, 2014.

HERNANDES, C. L., CLEMENT, C., TERRAZZAN, E., A. – Uma atividade experimental investigativa de roteiro aberto partindo de situações do cotidiano. Trabalho realizado na Escola Estadual Tiradentes – Nova Palma – RS, 2001.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. – Argumentação sobre questões sociocientíficas: processos de construção e justificação do conhecimento na aula. Trabalho apresentado no V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru-SP, 2005.

LABURÚ, C. E. & ZÔMPERO, A. F. – Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens – *Revista Ensaio* – v.13, p.67-80, Belo Horizonte, 2011.

LABURÚ, C.E. - Seleção de Experimentos de Física no Ensino Médio: Uma investigação a partir da fala de professores - *Investigações em Ensino de Ciências* – V10(2), pp. 161-178, 2005.

LATOUR, B. & WOOLGAR, S. – A vida de laboratório: a produção de fatos científicos. *Relume Dumará*, Rio de Janeiro, 1997.

NUSSENZVEIG, H. M. – Curso de Física Básica – Eletromagnetismo. Editora Blucher – 2ª edição – São Paulo – SP, 2015.

PELLA, M. O. – The Laboratory and Science Teaching. In ANDERSEN, H. O. - *in Science Education for the Secondary School*. London. Macmillan, 1969.

PENA, F. L. A., FILHO, A. R. – Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006) – *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* – Vol. 9 – Nº 1, 2009.

PIETROCOLA, M., POGIBIN, A., ANDRADE, R., ROMERO T., R. – Física em contextos – Volume 3 – Editora FTD – 1ª Edição – São Paulo – SP, 2010.

RAMALHO JÚNIOR, F., FERRARO, N. G., SOARES, P. A. T. – Os fundamentos da Física 3 – Editora Moderna – 9ª Edição – São Paulo – SP, 2007.

SANTOS, R. A. - O desenvolvimento de Sequências de Ensino Investigativas como forma de promover a Alfabetização Científica dos alunos dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Santa Cruz – Ilhéus – Bahia, 2016.

SILVEIRA, F. L., AXT, R. – Explicação Qualitativa do “Anel de Thomson”. Como ocorre a “Levitação Magnética”? – Revista Brasileira de Ensino de Física, vol 25, nº I, Março, 2003.

STRIEDER, R. B.; WATANABE, G. – Atividades Investigativas na Educação Científica: Dimensões e Perspectivas em Diálogos com o Ensino e Ciências por Investigação, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 18(3), 819-949, dezembro, 2018.

VÍDEO de demonstração do Quadro AC

<<https://www.youtube.com/watch?v=5wbCnP7XPS4>> Acesso em: 09/03/2021.

YOUNG & FREEDMAN, SEARS & ZEMANSKY – Física III – Eletromagnetismo – Editora Pearson – 14ª Edição – São Paulo – SP, 2016.

Anexo 1

Formulário utilizado na aula para a formulação das questões

Avaliação de Física - III

ALUNO: _____

DATA: ____ / ____ / ____

Durante este trabalho, vamos aprender como funciona o **QUADRO DIDÁTICO AC**. O professor fará uma descrição detalhada do funcionamento de cada uma das partes que compõem o Quadro Didático. Logo após a explicação, dois nomes serão indicados. A dupla formada na indicação irá até o Quadro realizar as atividades descritas nos passos 2 e 3 do roteiro de atividades abaixo. A atividade já estará em execução. Enquanto isso se você não foi indicado, fique atento (em silêncio) às atividades da dupla que está no **QUADRO**, para manter atualizada a atividade 1. Preencha a tabela correspondente às críticas para cada dupla. Todos serão indicados para formar uma dupla e ir até o Quadro.

ROTEIRO DAS ATIVIDADES

1) Considere a tabela abaixo:

Grupo 1 - Leis	Grupo 2 - Medidores	Grupo 3 - Ligações	Grupo 4 - Componentes
Lei das malhas	Voltímetro	Série	Lâmpada(s)
Leis dos nós	Amperímetro	Paralelo	<i>Dimmer</i> +lâmpada(s)
Lei de indução			Sensor fotoelétrico
			Bobina+anel
			Bobinas
			Bobinas+lâmpadas

FAÇA PELO MENOS UMA CRÍTICA POSITIVA E UMA NEGATIVA (CONSTRUTIVA) PARA A INTERAÇÃO DE CADA DUPLA COM O QUADRO AC NAS TABELAS ABAIXO. LEMBRE-SE DE ESCREVER CRÍTICAS TAMBÉM PARA A SUA DUPLA.

NOMES DA DUPLA 01:

Crítica positiva:

--

--

Crítica negativa:

--

--

NOMES DA DUPLA 02:

Crítica positiva:

--

--

Crítica negativa:

--

--

NOMES DA DUPLA 03:

Crítica positiva:

--

--

Crítica negativa:

--

--

NOMES DA DUPLA 04:

Crítica positiva:

--

--

Crítica negativa:

--

NOMES DA DUPLA 05:
Crítica positiva:
Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 06:
Crítica positiva:
Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 07:
Crítica positiva:
Crítica negativa:

Anexo 2

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO FEDERAL SUDESTE DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

Sérgio Luiz França

**QUADRO AC PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO:
UM RECURSO DIDÁTICO PARA AULAS PRÁTICAS EM TURMAS COM
MUITOS ALUNOS**

Juiz de Fora
2021

Sérgio Luiz França

**QUADRO AC PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO:
UM RECURSO DIDÁTICO PARA AULAS PRÁTICAS EM TURMAS COM
MUITOS ALUNOS**

Produto apresentado ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 - UFJF/IF-Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador : Prof.: Dr. Bruno Gonçalves
Coorientador : Prof.: Dr. Bruno Ferreira Rizzuti

Juiz de Fora
2021

França, Sérgio Luiz.

QUADRO AC PARA O ENSINO DO ELETROMAGNETISMO: UM RECURSO DIDÁTICO PARA AULAS PRÁTICAS EM TURMAS COM MUITOS ALUNOS. / Sérgio Luiz França. -- 2021.

118 f.

Orientador: Bruno Gonçalves

Coorientador: Bruno Ferreira Rizzuti

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Física, 2021.

1. Circuitos Elétricos.. 2. Eletricidade.. 3. Quadro Didático.. I. Gonçalves, Bruno, orient. II. Rizzuti, Bruno Ferreira, coorient. III. Título.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
APRESENTAÇÃO DO QUADRO	2
CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DO QUADRO	3
MONTAGEM DOS COMPONENTES INTERNOS DO QUADRO	6
APLICABILIDADE DO PRODUTO EDUCACIONAL	10
FORMULÁRIO DE APLICAÇÃO DO PRODUTO	13

QUADRO AC PARA O ENSINO DE ELETROMAGNETISMO: UM RECURSO DIDÁTICO PARA AULAS PRÁTICAS EM TURMAS COM MUITOS ALUNOS

INTRODUÇÃO

Prezado (a) Professor (a):

Este produto foi desenvolvido com a finalidade de proporcionar ao discente, e ao professor, a realização de alguns experimentos relacionados à eletricidade.

O produto possui o nome de “Quadro AC”, por se tratar de um instrumento alimentado com tensão de corrente alternada e possui a forma de um quadro. Na sua construção foi dada atenção especial aos materiais de baixo custo, encontrados com facilidade no mercado e esse fato o torna um produto de fácil reprodução.

É um Quadro construído com madeira do tipo MDF e possui uma alça para transporte. Possui massa de aproximadamente 8,0 kg e dimensões compatíveis com um porta-malas de um carro popular para facilitar seu transporte até a sala de aula. A ideia principal é fazer com que o professor o transporte com facilidade para o local da aula e que os alunos tenham a oportunidade de realizar experimentos nas escolas que não possuem um laboratório de Física III, ou seja, um laboratório de eletricidade, onde eles possam realizar experimentos como: ligações em série, ligações em paralelo, conhecer o funcionamento de um potenciômetro, de um sensor fotoelétrico etc.

O Quadro AC pode ser utilizado nas aulas de Física III do Ensino Médio bem como nas aulas de cursos de graduação. O Quadro AC foi desenvolvido no Laboratório de Inovação Tecnológica (LIT) do IF SUDESTE-MG, Campus Juiz de Fora e é fruto de uma pesquisa desenvolvida no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – polo 24 – UFJF / IF Sudeste MG. Portanto, seus autores devem ser citados em qualquer ato de reprodução ou de aplicação.

Por: Sérgio Luiz França, Bruno Gonçalves e Bruno Ferreira Rizzuti

APRESENTAÇÃO DO QUADRO

Nosso ponto de partida é uma visão ampla do Quadro AC, mostrado na Figura 1. Neste caso em particular, as cinco lâmpadas estão ligadas em série.

Figura 1 – Quadro AC em funcionamento



Fonte: arquivo do autor (2019)

Entre as funcionalidades que podem ser exploradas (os detalhes serão vistos na seção de aplicabilidade do produto), temos:

- 01 - Realizar ligações em série.
- 02 - Realizar ligações em paralelo.
- 03 - Realizar ligações mistas simples.
- 04 - Realizar ligações mistas compostas com nós.
- 05 - Medir a intensidade da corrente elétrica.
- 06 - Medir a tensão elétrica.
- 07 - Explorar o funcionamento de um sensor fotoelétrico.
- 08 - Explorar o funcionamento de um potenciômetro.
- 09 - Mostrar o funcionamento do anel de Thomson (SILVEIRA, 2003) .
- 10 - Simular um transformador.

A utilização do Quadro pode ser vista no vídeo no seguinte endereço:
<https://www.youtube.com/watch?v=5wbCnP7XPS4>.

Na próxima seção apresentaremos, nos procedimentos metodológicos de montagem, uma visão geral do Quadro AC com detalhes de sua construção. Na seção de aplicabilidade, sugerimos possíveis atividades em sala de aula e o público-alvo.

CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DO QUADRO

O Quadro foi projetado para, além de ser de fácil manuseio e transporte, ser também replicável. Esta seção tem a finalidade de detalhar o Quadro, incluindo os materiais utilizados para sua construção, como dispositivos eletrônicos e elétricos, materiais de fixação, de segurança, de transporte e de armazenamento. A Seção está dividida em duas partes. A primeira parte mostra o exterior do Quadro e a segunda apresenta, em forma de esquemas (desenhos), o interior do Quadro com suas ligações elétricas e as respectivas relações entre cada uma delas. Em alguns casos, detalhes mais específicos serão apresentados com a finalidade de sanar qualquer dúvida que possa aparecer para facilitar o trabalho daqueles que queiram reproduzi-lo.

A Figura 1 mostra o funcionamento parcial do Quadro. Nela podemos ver as cinco lâmpadas ligadas em série, o funcionamento do voltímetro, o funcionamento do amperímetro e o acionamento do dispositivo de segurança para utilização do Quadro: trata-se de um *push bottom* que corta/fornece energia para o Quadro. Na parte inferior da Figura 1, há um dedo indicador de um usuário pressionando o dispositivo. A estratégia utilizada para evitar que ocorra um curto circuito durante sua utilização, é que apenas um único usuário faça seu manuseio. Desta forma, ao pressionar o dispositivo de segurança, o usuário em questão fica impossibilitado de manusear dois cabos de energia simultaneamente, sendo impossível fechar curto nos circuitos.

Figura 2 – Vista externa e frontal do Quadro



Fonte: arquivo do autor (2019)

Conforme mostrado nas Figuras 2 (frente) e 3 (traseira), o Quadro possui as características de uma mala com as seguintes dimensões: 50cm de largura, 75cm de comprimento e 13cm de espessura máxima. Adotamos o termo espessura máxima pelo fato do mesmo possuir a forma de cunha, isto é, com seção reta em forma de trapézio. Sua espessura mínima é de 6cm.

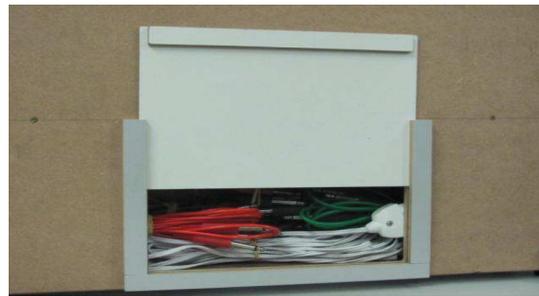
As Figuras 3 e 4 mostram a parte traseira do Quadro. Nelas podemos ver o compartimento destinado à guarda dos acessórios necessários para a utilização do aparato, o detalhe da alça para transporte e os pés de borracha para apoio durante a utilização. Desta forma todo o material necessário para a atividade em sala de aula está armazenado em um só lugar.

Figura 3 – Vista externa e traseira



Fonte: arquivo do autor (2019)

Figura 4 – Compartimento para armazenar os acessórios

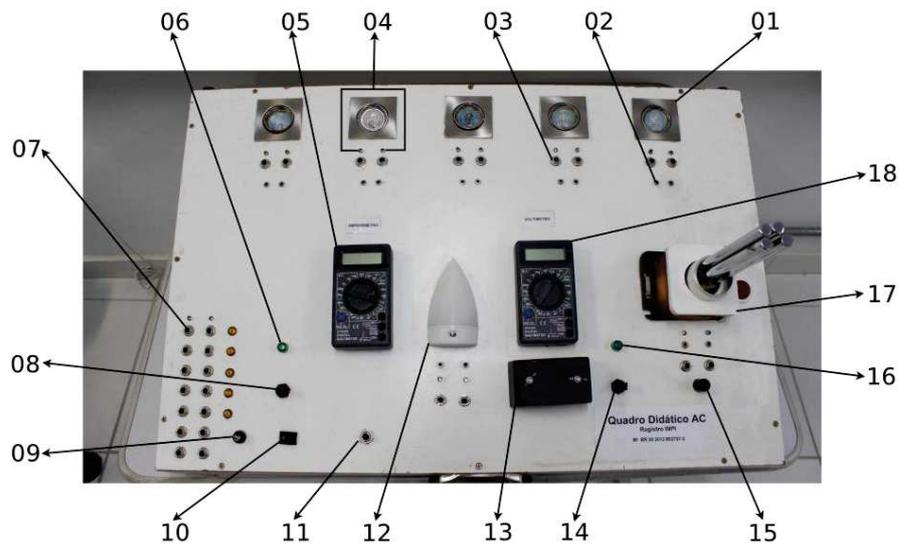


Fonte: arquivo do autor (2019)

A estrutura da caixa é toda composta de MDF (*Medium Density Fiberboard*), material oriundo de madeira e fabricado com resinas sintéticas, nas espessuras de 6mm para o tampo, 9mm para o fundo e 15mm para as laterais.

A Figura 5, mostra os itens que compõem o Quadro. Podemos observar que o item 04 mostra a posição de dois LED's de identificação (um verde e um vermelho). São esses LED's que orientam os usuários do produto na hora de realização dos experimento.

Figura 5 – Nomeação dos itens do Quadro



Fonte: arquivo do autor (2019)

- 01 - *Spot* de aço escovado com lâmpada incandescente.
- 02 - Entrada P-2 para ligação do voltímetro.
- 03 - Entrada P-10 para ligação do componente.
- 04 - LED's de identificação.
- 05 - Amperímetro.
- 06 - Lâmpada piloto do amperímetro.
- 07 - Entradas P-10 ligadas em paralelo.
- 08 - Chave liga-desliga do amperímetro.
- 09 - Fusível.
- 10 - Chave liga-desliga do Quadro.
- 11 - *push botton* (dispositivo de segurança).
- 12 - Dispositivo com foto sensor.
- 13 - Compartimento para guarda das baterias 9V que alimentam o voltímetro e o amperímetro.
- 14 - Botão liga-desliga do voltímetro.
- 15 - Potenciômetro.
- 16 - Lâmpada piloto do voltímetro.
- 17 - Bobina primária, núcleo de ferro e anel de alumínio.
- 18 - Voltímetro.

MONTAGEM DOS COMPONENTES INTERNOS DO QUADRO

Na segunda parte mostramos a construção interna do Quadro. A construção foi dividida oito partes conforme especificado na sequência a seguir:

Figura 6 – Parte 1

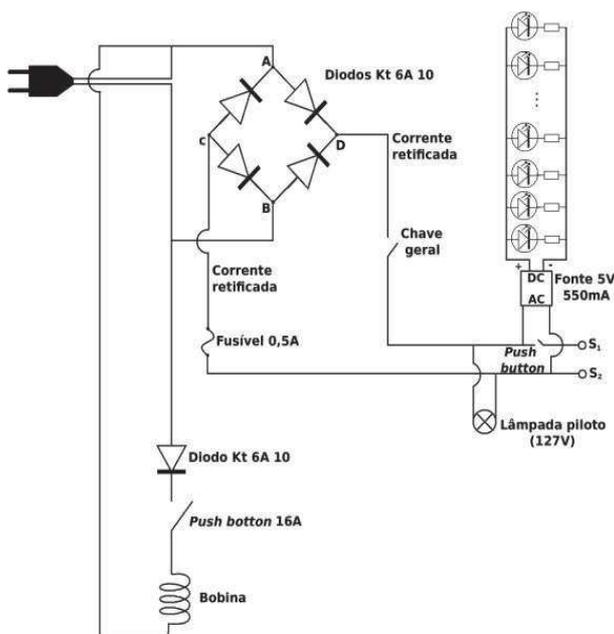
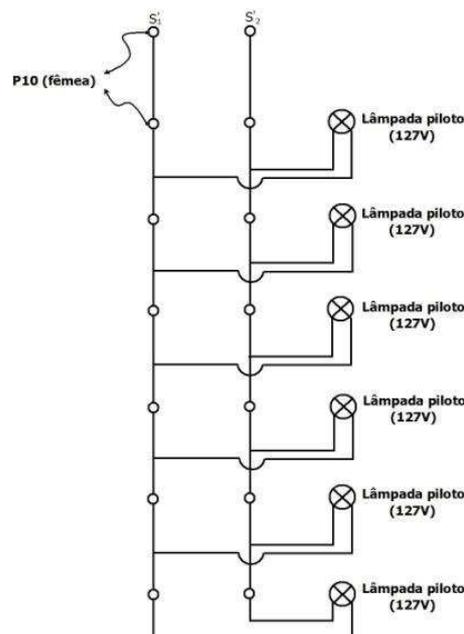


Figura 7 – Parte 2



Fonte: arquivo do autor (2020)

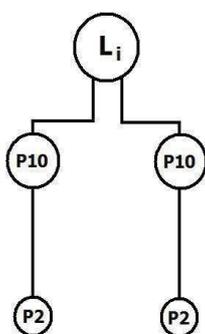
A Figura 6, mostra o esquema elétrico de alimentação do Quadro (Parte 1) através de uma tomada com tensão alternada de 127 V que passa por uma ponte formada por quatro diodos Kt 6A 10. A ponte de diodos retifica a tensão de entrada embora ela ainda continue variando no tempo. Entres os pontos C e D da Figura 6, temos a mesma tensão que existe entre A e B, mas com o dobro da frequência. Além disso, a tensão entre C e D assume apenas valores positivos. A justificativa para usar essa ponte de diodos é poder usar um amperímetro de baixo custo no Quadro AC. Amperímetros que medem corrente alternada são caros. Com a frequência em torno de 120Hz, podemos usar o fundo de escala de corrente contínua no multímetro CE DT830D. Foram realizados diversos testes com o multímetro ICEL MD-6111 (com fundo de escala em corrente alternada) e os valores encontrados em ambos os aparelhos não eram diferentes em mais que sete partes e meia por mil.

Nesse mesmo esquema elétrico podemos visualizar as ligações dos seguintes componentes: do botão de segurança (*push botton 16A*) (item 11), do fusível (item 09), da

bobina (item 17), da chave geral (item 10) e da ligação de todos os LED's que estão presentes no Quadro. Os itens mencionados acima podem ser vistos na Figura 5.

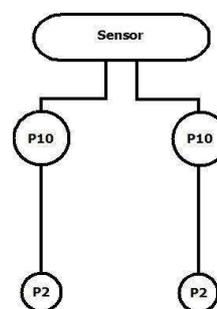
Na Figura 7, podemos visualizar através do esquema as ligações das entradas P-10 S1' e S2' que estão ligadas em paralelo. Ressaltamos que as entradas S1' e S2' não são alimentadas pela ponte de diodos. Para energizar as entradas P-10 (item 7), precisamos conectar S1 a S1' e S2 a S2' conforme mostrado no corner esquerdo inferior da Figura 1, (dois cabos P-10 machos curtos). Em cada par de entrada temos uma lâmpada piloto, que quando acesa, tem a finalidade de informar que aquela porta está energizada. As lâmpadas piloto dessa parte são lâmpadas incandescentes de 127 V.

Figura 8 – Parte 3



Fonte: arquivo do autor (2020)

Figura 9 – Parte 4



Fonte: arquivo do autor (2020)

Na Figura 8, apresenta-se a ligação das lâmpadas incandescentes situadas na parte superior do Quadro (item 01) da Figura 5. Nela podemos ver ainda as entradas para os cabos de alimentação (pinos P10) e as entradas para os pinos de medida do voltímetro/amperímetro. As conexões P10 e P2 foram criadas intencionalmente para que o aluno, ao realizar medições, ligue o amperímetro em série com a lâmpada incandescente. O cabo de medição utilizado no amperímetro é do tipo P10. Já o voltímetro é composto por cabos de medição P2, levando o aluno a conectar o voltímetro em paralelo com a lâmpada.

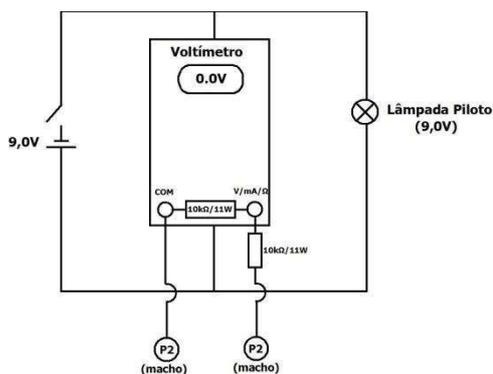
Na Figura 9, o esquema elétrico mostra a ligação do sensor fotoelétrico (item 12) da Figura 5. Nela podemos ver duas entradas para os cabos de alimentação (pinos P10) e as entradas para os pinos de medida do voltímetro/amperímetro, conforme a necessidade.

Na Figura 10, vemos a montagem do voltímetro para realização de medidas durante os experimentos (item 18) da Figura 5. Esse voltímetro possui uma bateria externa (item 13) da Figura 5, e uma lâmpada piloto (item 16). Essa lâmpada piloto tem duas finalidades: a primeira é mostrar que o voltímetro está pronto para uso quando a mesma está acesa e a segunda é mostrar para o usuário do quadro que ela necessita ser trocada quando seu brilho

estiver reduzido. O leitor atento nota que há dois resistores conectados ao voltímetro, funcionando como um divisor de tensão.

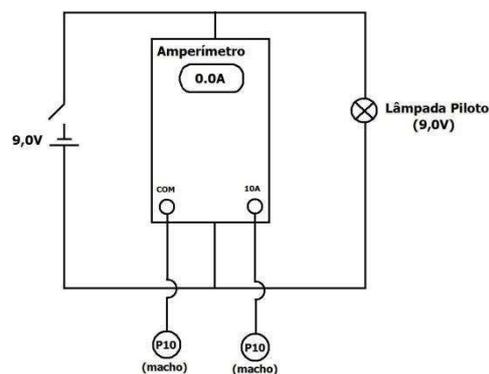
Ao retificarmos a voltagem da tomada com a ponte de diodos, é possível verificar com um voltímetro usual que geramos uma tensão duas vezes maior para alimentarmos os componentes do Quadro. Assim, o divisor de tensão, com os dois resistores iguais, divide a tensão por dois, fornecendo, assim, o valor usual da tomada novamente.

Figura 10 – Parte 5



Fonte: arquivo do autor (2020)

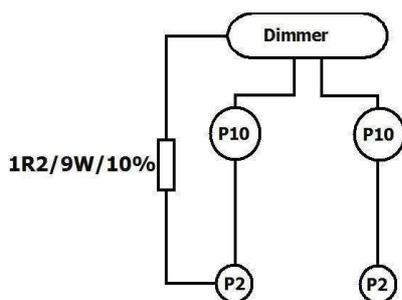
Figura 11 – Parte 6



Fonte: arquivo do autor (2020)

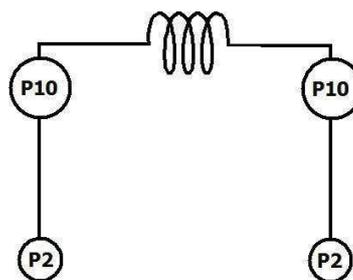
Na Figura 11, vemos a montagem do amperímetro para realização de medidas durante os experimentos (item 05) da Figura 5. Esse amperímetro possui uma bateria externa (item 13) da Figura 5, e uma lâmpada piloto (item 06). Essa lâmpada piloto tem duas finalidades: a primeira é mostrar que o amperímetro está pronto para uso quando a mesma está acesa e a segunda é mostrar para o usuário do Quadro que a bateria necessita ser trocada quando seu brilho estiver reduzido, da mesma maneira como explicado para o voltímetro. Essas lâmpadas piloto foram ligadas internamente aos circuitos elétricos de cada aparelho. Não é possível, portanto, realizar nenhuma medida nelas com o voltímetro/amperímetro do Quadro.

Figura 12 – Parte 7



Fonte: arquivo do autor (2020)

Figura 13 – Parte 8

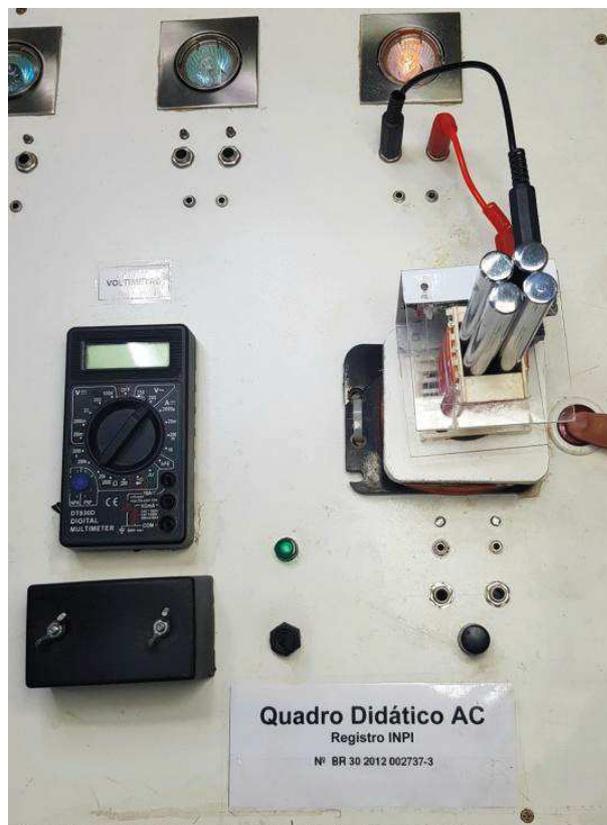


Fonte: arquivo do autor (2020)

Na Figura 12, o esquema elétrico mostra a ligação de um potenciômetro (*dimmer*) (item 15) da Figura 5. A mesma figura também mostra duas entradas para os cabos de alimentação (pinos P10) e as entradas para os pinos de medida do voltímetro/amperímetro. Através desse potenciômetro e dos cabos com ponteiros P-10, é possível realizar a ligação das lâmpadas na parte superior do Quadro (item 01) da Figura 5. Esta parte do Quadro possibilita ao professor mostrar o funcionamento mais detalhado de um potenciômetro.

A Figura 13, mostra a bobina (primária) no Quadro. Sua utilização é dupla, para verificação de efeitos de indução. Ao ser preenchida por barras de ferro formando o seu núcleo, é possível lançar um disco de alumínio para o alto ou mesmo mantê-lo flutuando (essa é a famosa experiência do anel de Thomson (SILVEIRA, 2013)). Uma outra possibilidade é inserir uma bobina secundária sobre a primária, veja Figura 14, formando um transformador. Nesse caso, conseguimos acender as lâmpadas incandescentes que estão na parte superior do Quadro (item 01) da Figura 5, sem que elas sejam alimentadas diretamente pela fonte de energia do Quadro, veja Figura 14.

Figura 14 – Funcionamento da bobina secundária



Fonte: arquivo do autor (2020)

APLICABILIDADE DO PRODUTO EDUCACIONAL

Nesta seção apresentaremos algumas sugestões para aplicação do Quadro como complemento experimental das aulas teóricas em sala de aula. O Quadro foi desenvolvido com a finalidade de o professor ter a oportunidade de levar o próprio laboratório para dentro da sala de aula.

Como primeira aplicabilidade o professor pode elaborar uma lista de exercícios com esquemas elétricos de ligações em série, em paralelo e mistas e pode inserir também perguntas relacionadas aos outros componentes do Quadro (bobina primária, bobina secundária, sensor fotoelétrico e o *dimmer*).

Os exercícios podem ser do tipo:

01 - Ligue duas lâmpadas em paralelo e três lâmpadas em série, colete as medidas da tensão e da corrente em cada uma das lâmpadas.

02 - Com a montagem realizada no exercício anterior, desenhe dois circuitos completos (com as cinco lâmpadas). Um circuito deve ser simples (sem a presença do amperímetro e do voltímetro) e um segundo circuito (com a presença do amperímetro e do voltímetro).

03 - No experimento realizado com o anel de Thomson, explique o porquê de o anel flutuar.

04 - O professor também pode elaborar circuitos (esquemas) e distribuir aos grupos para que eles possam realizar os experimentos.

Há um vasto universo de possibilidades de exercícios que o professor pode explorar com a utilização do Quadro. Com os exercícios elaborados e devidamente impressos, o professor pode dividir a turma em grupos e iniciar a parte experimental que deve ser realizada por cada grupo junto ao Quadro. O professor acompanha a realização do experimento e avalia o grupo em relação às respostas e ao tempo de realização da tarefa. Essa é uma aplicação clássica a qual, a maioria, dos professores e alunos estão acostumados a realizar em sala de aula ou em um laboratório

Apresentamos na segunda sugestão de aplicação, uma forma que permite a utilização do Quadro em uma turma com muitos alunos. Essa metodologia permite que todos os alunos trabalhem ao mesmo tempo utilizando apenas uma unidade do produto educacional, já que aqueles alunos que não estão trabalhando no Quadro na realização do experimento estão preenchendo os formulários de avaliação do grupo executor.

Figura 15 – Quadro de itens para as questões

Grupo 1 Leis	Grupo 2 Medidores	Grupo 3 Ligações	Grupo 4 Componentes
Lei das malhas	Voltímetro	Série	Lâmpada(s)
Lei dos nós	Amperímetro	Paralelo	Dimmer + Lâmpada(s)
Lei de indução			Bobina + anel
			Bobinas
			Sensor fotoelétrico
			Bobinas + Lâmpada(s)

Fonte: arquivo do autor (2019)

O professor inicia a aula com uma explicação detalhada, mas rápida (otimizada), do funcionamento geral do Quadro. Logo após essa explicação, ele divide a turma em grupos (o número de elementos de cada grupo está sujeito ao número de alunos e ao tempo disponível para realização do experimento - número de aulas).

O professor deverá elaborar um formulário onde deve conter:

- 01 - Cabeçalho para anotação do nome dos membros de cada grupo e data de realização do experimento.
- 02 - Um breve resumo da atividade a ser executada.
- 03 - O quadro de itens para questões, Figura 15.
- 04 - Um espaço para anotação da questão elaborada pelo grupo (enunciado do exercício).
- 05 - Um espaço para resposta ao seguinte questionamento: O grupo realizou o exercício atingindo os objetivos propostos? O que aconteceu que mais lhe chamou a atenção enquanto o grupo realizava a tarefa que o outro grupo propôs?
- 06 - Um espaço para a resposta ao seguinte questionamento: Faça pelo menos uma crítica positiva e uma negativa (mas construtiva), para a interação do grupo com o Quadro Didático. Lembre-se de escrever também a crítica para a sua dupla.

Cada grupo deverá elaborar um experimento utilizando, pelo menos três itens (um do Grupo 1, um do Grupo 2, um do Grupo 3 ou um do grupo 4) daqueles que estão especificados no quadro de itens para questões como mostra a Figura 15. Após a escolha dos itens, cada

grupo deverá elaborar sua questão e escrevê-la, em formulário próprio, que será distribuído pelo professor. Como exemplo de utilização do Quadro de itens para as questões, veja Figura 15, o grupo de alunos pode elaborar um exercício do tipo: usando três lâmpadas (especificadas no Grupo 4), elabore um circuito em série (especificado no Grupo 3) e realize a medida da intensidade da corrente com o amperímetro (especificado no Grupo 2). Como na primeira forma, apresentada na primeira sugestão de aplicação, aqui também os grupos de alunos têm a possibilidade de elaborar várias formas de exercícios com a utilização do quadro da Figura 15. Com a questão elaborada, o professor, através de um meio a ser estabelecido por ele próprio (por exemplo, um sorteio), designa um outro grupo para realizar o experimento sugerido pelo grupo que elaborou a questão.

Nesse momento da aula os outros grupos devem acompanhar atentamente a realização do experimento, pois o mesmo não poderá ser repetido pelos demais grupos, ou seja, cada grupo deverá elaborar um exercício “único” para cada aula.

Após cada experimento, os outros grupos presentes na sala deverão responder aos questionamentos especificados (conforme consta no formulário distribuído pelo professor) avaliando a performance do grupo executor do experimento e de sua interação com o Quadro Didático.

O roteiro completo para essa segunda aplicação pode ser acessado no seguinte endereço: <https://profbrunogoncalves.wordpress.com/fisica-experimental-iii/#quadroac> Ele também foi disponibilizado logo abaixo. Foram propostas também questões 1 e 2 de aceitação do produto. Elas fornecem um feedback para que o professor possa sempre melhorar a aplicação do Quadro em sala de aula.

ALUNO: _____

DATA: ____ / ____ / ____

Durante este trabalho, vamos aprender como funciona o **QUADRO DIDÁTICO AC**. Ele foi gerado pelo PET-Física do IFSUDESTEMG. O professor fará uma descrição detalhada do funcionamento de cada uma das partes que compõem o Quadro Didático. Logo após a explicação, dois nomes serão indicados. A dupla formada na indicação irá até o Quadro realizar as atividades descritas nos passos 2 e 3 do roteiro de atividades abaixo. A atividade já estará em execução. Enquanto isso se você não foi indicado, fique atento (em silêncio) às atividades da dupla que está no **QUADRO**, para manter atualizada a atividade 1. Preencha a tabela correspondente a esta dupla que está a partir da página 3. Todos serão indicados para formar uma dupla e ir até o Quadro. Por fim, responda às duas questões na página 6.

ROTEIRO DAS ATIVIDADES

1) Considere a tabela abaixo:

Grupo 1 - Leis	Grupo 2 - Medidores	Grupo 3 - Ligações	Grupo 4 - Componentes
Lei das malhas	Voltímetro	Série	Lâmpada(s)
Leis dos nós	Amperímetro	Paralelo	<i>Dimmer</i> +lâmpada(s)
Lei de indução			Sensor fotoelétrico
			Bobina+anel
			Bobinas
			Bobinas+lâmpadas

Durante a explicação do professor e a utilização do **QUADRO AC** por seus colegas, com seu conhecimento prévio de eletricidade, formule uma atividade que possa ser realizada com o uso do produto. Esta atividade deve ser diferente daquelas a que você assistiu. Logo, se um colega usou a sua ideia, formule outra questão. Escreva o enunciado do seu exercício na página 2. **Sua questão deve conter pelo menos 3 itens do quadro acima, sendo um item de cada grupo.**

- 2) Com a sua dupla, vá até o Quadro e enuncie seu exercício para seu colega. Deixe que ele realize a tarefa e depois ouça o enunciado dele e realize aquilo que lhe foi proposto.
- 3) Volte para o seu lugar para completar as atividades propostas abaixo, respondendo também às questões da página 6.

ATIVIDADE 1 - ENUNCIADO DO SEU EXERCÍCIO:

O SEU COLEGA REALIZOU O EXERCÍCIO DA MANEIRA QUE VOCÊ ESPERAVA ? O QUE ACONTECEU QUE MAIS LHE CHAMOU A ATENÇÃO ENQUANTO ELE REALIZAVA A TAREFA QUE VOCÊ PROPÔS ?

FAÇA PELO MENOS UMA CRÍTICA POSITIVA E UMA NEGATIVA (CONSTRUTIVA) PARA A INTERAÇÃO DE CADA DUPLA COM O QUADRO AC NAS TABELAS ABAIXO. LEMBRE-SE DE ESCREVER CRÍTICAS TAMBÉM PARA A SUA DUPLA.

NOMES DA DUPLA 01:

Crítica positiva:

Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 02:

Crítica positiva:

Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 03:

Crítica positiva:

Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 04:

Crítica positiva:

Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 05:
Crítica positiva:
Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 06:
Crítica positiva:
Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 07:
Crítica positiva:
Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 08:

Crítica positiva:

Crítica negativa:

NOMES DA DUPLA 09:

Crítica positiva:

Crítica negativa:

QUESTÕES

QUESTÃO 01: Se pensarmos especificamente sobre o produto “QUADRO AC” e não sobre os exercícios realizados, como foi discutido até este momento, destaque um ponto positivo e um ponto negativo do produto.

Ponto positivo:

Ponto negativo:

QUESTÃO 02: Complete as afirmações abaixo, utilizando as palavras *concordo*, *concordo um pouco*, *sou neutro*, *discordo um pouco* ou *discordo totalmente*.

Nº	Afirmação	Opinião
01	Eu achei o Quadro AC agradável.	
02	O processo de usar o Quadro AC foi prazeroso.	
03	Eu me diverti usando o Quadro AC.	
04	Usar o Quadro AC foi uma boa idéia.	
05	Usar o Quadro AC em sala me trouxe benefícios	
06	Eu me diverti interagindo com os meus colegas e ensinando ao usar o Quadro AC.	
07	Usar o Quadro AC me entediou.	
08	Eu curti usar o Quadro AC.	
09	Usar o Quadro AC aumentou meu entendimento na Física.	
10	Eu acho o Quadro AC útil.	