

ESTRATÉGIA MULTIRRECURSOS NO ENSINO EXPERIMENTAL EM UM LABORATÓRIO DE ENGENHARIA: POSSIBILIDADES NO *FRAMEWORK* CURRICULAR E PROJETO DISCIPLINAR

MULTI-RESOURCE STRATEGY IN EXPERIMENTAL TEACHING IN AN ENGINEERING
LABORATORY: POSSIBILITIES IN THE CURRICULAR FRAMEWORK AND DISCIPLINARY
DESIGN

Wilker Victor da Silva Azevêdo¹, Múcio D'Emery Alves Filho²

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v41p526-539.2022

RESUMO

O trabalho descreve experiências na organização de recursos na disciplina “Laboratório de Circuitos Elétricos”, componente curricular essencial na construção de saberes e competências profissionais para a formação de engenheiros eletricitistas, que reconhece o amplo espectro teórico-empírico, em virtude da natureza diversificada de recursos em laboratórios físicos ou digitais, e viabiliza diversos horizontes. A representação do conhecimento é abordada admitindo-se a necessidade de aproximar a relação abstrato-concreto, ao passo que se constrói habilidades e o desenvolvimento cognitivo. Com foco em uma participação ativa, flexível e integrada dos estudantes, são apresentadas possibilidades experimentais, quadros de referência e algumas experiências. De maneira complementar, descreve-se a formatação da disciplina e a sua infraestrutura. Atividades não convencionais foram exploradas. Um projeto integrado ao desenvolvimento tecnológico subsidiou a formatação de habilidades outrora não exploradas, desdobrando-se na consecução de protótipos e redimensionamento analítico.

Palavras-chave: currículo; ensino; laboratório; recursos; representação.

ABSTRACT

The paper describes experiences in the organization of multiple resources at the class “Laboratory of Electrical Circuits”, an essential curricular component in the knowledge construction and professional skills for electrical engineers. Recognizing the broad theoretical-empirical spectrum due to the diversified nature of resources in physical or digital laboratories, it makes possible different horizons of approach. Knowledge representation is addressed, admitting the need to bring together a concrete-abstract relationship, while students building skills and their cognitive development. As a focus on active learning, flexible and integrated student participation, experiences, reference frames and some experiences are allowed. In a complementary manner, the format of the curricular component and its infrastructure is described. Non-conventional activities were explored, being out of lab. A project integrated with technological development supported the formation of untapped skills, unfolding in the achievement of prototypes and analytical scaling.

Keywords: curriculum; teaching; laboratory; resources; representation.

¹ Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (IFPE), Mestre em Engenharia Elétrica e Doutorando em Educação Matemática e Tecnológica (UFPE), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus* Garanhuns; wiker.azevedo@garanhuns.ifpe.edu.br

² Acadêmico do bacharelado em Engenharia Elétrica, IFPE – *Campus* Garanhuns; mdaf@discente.ifpe.edu.br

INTRODUÇÃO

No ensino de Ciências e de Engenharia, a concatenação de laboratórios experimentais na formação profissional deve ser reconhecida como fundamental ao desenvolvimento de contributos ao raciocínio lógico-dedutivo, à formação de habilidades manipulativas e de simulação (*skills*) e à compreensão de conceitos e procedimentos. Isto envida a natureza multifacetada entre o arcabouço teórico disciplinar e o organograma de cada currículo, muitas vezes com interligações que são resultados de pré-requisitos ou correquisitos. Delinear objetos de aprendizagem, neste caso, deve se estruturar consoante à existência dessas relações, ao passo das concatenações teórico-empíricas que se estabelecem em horizonte aos objetivos descritos nos perfis profissionais.

A aprendizagem experimental, assim, deve envolver a observação de diversos aspectos como o modelo de aprendizagem, a argumentação científica, a análise de atitudes dos estudantes, sua interação e percepções da aprendizagem (HOFSTEIN; LUNETTA, 2004). É essencial reconhecer a conjuntura de integração entre recursos digitais e laboratório físico (*hands on*). De Jong, Linn e Zacharia (2013) acenaram, nesse sentido, para a Educação em Ciências e Engenharia:

Experimentos virtuais entregues com tecnologia de computador agregam valor aos experimentos físicos, permitindo que os alunos explorem fenômenos não observáveis; vinculem fenômenos observáveis e não observáveis; apontem informações salientes; permitam que os alunos realizem várias experiências em um curto período de tempo; e forneça orientação on-line e adaptativa (DE JONG; LINN; ZACHARIA, 2013, p. 308).

No contexto de laboratórios em Engenharia Elétrica, há uma preocupação com as perspectivas profissionais estruturadas ao longo da integralização curricular. Em sintonia, entender a carga cognitiva e a diversidade de recursos pode permitir a geração de novos *designs* instrucionais e métodos mais diversificados sobre a demanda preparatória anterior ao experimento. Isso tem sido

observado no ensino experimental de Eletrônica (COOPENS, 2016), em que se tem defendido uma correlação mais precisa dos conteúdos e ementas com os objetivos de cada experimento. Tem-se acenado também para a verificação da verbalização, pelos discentes, de raciocínios imediatos na análise de circuitos integrados em Sistemas Digitais (HERMAN; LOUI; ZILLES, 2011). Disso, atenta-se para a carga de concepções com afastamento científico, com demandas de difícil apreensão cognitiva. Em decorrência, a aprendizagem é variável, dependente do projeto temático experimental idealizado pelo professor, do ementário disciplinar, do conjunto de recursos e seu domínio e da relação teoria-experimento.

O componente curricular “Circuitos Elétricos” é núcleo basilar na Engenharia Elétrica, Eletrônica, de Automação Industrial e afins, apresentando laboratório homônimo. Neste, nota-se inquietude sobre a aprendizagem, admitindo os recursos didático-profissionais em virtude do suporte a outras disciplinas do currículo (Instalações Elétricas, Eletrônica, Sistemas Elétricos). A abordagem empírica, assim, impele não apenas a se olhar sobre a característica motivacional dos estudos ou sobre habilidades restritas de manipulação, ela demanda também uma organização que permita ao aluno desenvolver o raciocínio empírico, uma aprendizagem significativa com perspectivas multi e/ou interdisciplinares, admitindo os vários recursos, modelos e concepções.

Um dos caminhos é observar um confronto entre o uso de laboratórios reais e aqueles de natureza digital (BRINSON, 2015), em que se alerta para um debate que perceba a profusão de recursos para o ensino nas últimas duas décadas. Não se deve também desprezar, quando disponíveis, recursos com realidade aumentada e aprendizagem por meio de aplicativos com dispositivos móveis (AVILÉS-CRUZ; VILLEGAS-CORTEZ, 2019; SINGH et al., 2019). Destaca-se uma tendência acentuada à amplificação do espectro de alternativas, acelerada inclusive em decorrência de questões que impelem o ensino a distância pelas instituições, como é o caso da pandemia causada pela COVID-19.

A aproximação analógico-digital, no âmbito em tela, pode trazer vantagens quanto à abordagem apenas unitária (MANUNURE; DELSERIEYS; CASTÉRA, 2019) e de grupos de recursos com repetição significativa. Outro certame à reflexão para a docência é a atenção sobre como o conhecimento é representado nos recursos (DESPORTES et al., 2016), a percepção abstrata do circuito, a equivalência junto a digramas físicos e equipamentos.

Para além do crescimento, em número, dos recursos experimentais, o conhecimento em Circuitos Elétricos foi construído de modo que possui características diversificadas tanto do ponto de vista abstrato quanto da perspectiva concreta de suas aplicações. É difícil apenas um recurso que atenda à complexa cognição. De outro lado, recursos distintos podem ou não expor arcabouço semântico semelhante. Objetivos específicos podem ser atendidos por simulações em aplicativos ou montagem no *protoboard*. Ao docente, argumentos são requeridos para validar o uso concomitante. Objetos como o osciloscópio, a fonte DC e o gerador de funções podem ter correspondentes digitais, porém o espectro de possibilidades atenderia aos objetivos? Haveria limitações?

As questões destacam a necessidade de esforço em torno da organização dos recursos, uma complementariedade. No trabalho, a perspectiva colaborativa induz à possibilidade de explorar peculiaridades não concorrentes em face dos signos e das relações entre teoria e experimento. De modo adicional, existem atributos favoráveis à potencialização de abordagens empíricas, em especial na formação conceitual da Lei de Ohm (OHM, 1827), das Leis de Kirchhoff (KIRCHHOFF, 1850; KIRCHHOFF, 1857), de técnicas, teoremas e arranjos entre componentes passivos e ativos. Eles podem ser projetados intencionalmente para garantir uma abordagem rica frente aos recursos disponíveis e às atividades experimentais planejadas.

Vislumbra-se, assim, expor um caso particular sobre a potencialização de uso intencional de laboratórios físico e digital, alinhado à teoria e ao currículo, admitindo os campos abstrato e concreto. No Laboratório de Circuitos Elétricos, mostra-se ainda oportuno

prospectar uma emancipação quanto ao uso de recursos de outros componentes curriculares, um diferencial e direcionamento disciplinar além-fronteiras. Outra perspectiva avaliada resulta da proposição de um projeto final em sintonia à ementa do laboratório em tela e de disciplina de semestre posterior em um curso de Engenharia Elétrica. Houvera, neste último caso, um trabalho de apropriação instrumental e expansão dos recursos, envidando aos discentes o desenvolvimento de novas habilidades (*skills*), propiciando a colaboração em grupo e com expansão dos contextos prévios estudados no componente curricular. Parte dos resultados foi debatida em evento da ABENGE (AZEVEDO et al., 2019).

CURRÍCULO E FRAMEWORK TEÓRICO-EXPERIMENTAL

O componente curricular denominado “Laboratório de Circuitos Elétricos I” (LCEI) é ofertado no quarto (4º) período do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), objetivando a consolidação de conceitos da disciplina teórica correquisito, familiarizando o estudante com simulações, montagens e aplicações sobre Circuitos Elétricos. Trata-se de uma disciplina de dois (02) créditos com 40 horas/aula previstas. A infraestrutura permite o uso concomitante por até 32 alunos do Laboratório de Eletricidade e Dispositivos Eletrônicos (LEDE). Há, em diversas situações, suporte de monitores e técnicos no acompanhamento do experimento. Mais comumente, 10 a 20 alunos são acompanhados simultaneamente.

O LEDE possui equipamentos para geração e leitura de sinais (fontes DC e AC, osciloscópios, multímetros). Dispositivos de outros laboratórios são móveis e podem ser usados, assim como é plausível deslocá-los para outros espaços. O organograma curricular prevê disciplinas de eixo profissional comum do 1º ao 8º semestre. No 8º e 9º semestres são ofertadas ainda disciplinas de ênfases (Controle e Automação, Eletrotécnica). No Quadro 1 são

destacados componentes do eixo profissional ao longo dos semestres.

O componente LCEI integra o núcleo profissional, com oferta concomitante de Circuitos Elétricos I, Circuitos Digitais e seu laboratório. Como pré-requisito, tem-se a

disciplina “Fundamentos de Energia e Automação”, cujo ementário trata de particularidades sobre o contexto dos Circuitos Elétricos, introduzindo arranjos básicos e instrumentos para medição.

Quadro 1 – Componentes do eixo profissional do curso consoante aos semestres curriculares

Sem.	Componentes curriculares do eixo profissional
I	Introdução à Engenharia Elétrica (2)
II	Fundamentos de Energia e Automação (2), Programação I (4)
III	Cálculo Numérico (4), Programação II (4)
IV	Circuitos Elétricos I (4), Lab. de Circuitos Elétricos I (2), Circuitos Digitais (4), Lab. de Circuitos Digitais (1)
V	Eletromagnetismo (5), Eletrônica I (4), Lab. de Eletrônica I (1), Materiais Elétricos (4), Circuitos Elétricos II (4), Lab. de Circuitos II (1), Sistemas Digitais (4), Lab. de Sistemas Digitais (1)
VI	Eletrônica II (4), Lab. de Eletrônica II (1), Microcontroladores (4), Sistemas Elétricos (4), Lab. de Sistemas Elétricos (1), Sinais e Sistemas (5), Conversão de Energia (4)
VII	Máquinas Elétricas (5), Lab. de Máquinas Elétricas (1), Instalações Elétricas (4), Lab. de Instalações Elétricas (1), Sistemas de Controle I (4), Automação Industrial I (4)
VIII	Eletrônica de Potência (4), Lab. de Eletrônica de Potência (1)

Fonte: Projeto Pedagógico do Bacharelado em Engenharia Elétrica do IFPE.

Componentes curriculares entre a disciplina de “Introdução à Engenharia Elétrica” e o componente “Circuitos Elétricos I” podem ser admitidos como possibilidade para conectar efetivamente e cedo o estudante ao plano profissional, incluindo-se conteúdos práticos com vistas à emancipação de habilidades de uso e gerenciamento de recursos, potencial inclusive à redução da evasão. Isto favorece ainda a evolução de uma ação passiva para ação ativa já no primeiro ano do curso, podendo suscitar o pensamento sistêmico e as ideias de projeto e implementação, face de metodologias robustas almejadas para novos engenheiros em formação (OLIVEIRA et al., 2019).

As primeiras contextualizações sobre componentes eletrônicos, leis básicas em Circuitos Elétricos e instrumentação (uso de

protoboard, módulos experimentais, fontes) são desenvolvidas na disciplina “Fundamentos de Energia e Automação”. Ela subsidia parte do quadro teórico dos primeiros experimentos do Laboratório de Circuitos Elétricos I (LCEI). A ementa dessa disciplina prevê conteúdo programático, experimentos e alguns dos dispositivos (Quadro 2).

Um grupo de dispositivos perfaz um conjunto de recursos para cada experimento (ex.: fonte, *protoboard*, resistor, multímetro – ohmímetro, voltímetro, amperímetro). Citando o caso #2, do Quadro 2, o levantamento da curva característica Corrente x Tensão ($I \times V$) pode se estruturar por meio do conjunto citado. No caso de utilização de voltímetro e amperímetro, configurações à montante e à jusante podem ser testadas para análise de discrepâncias entre expectativas e medições.

Quadro 2 – Ementa, atividades e dispositivos passíveis de uso no Laboratório de Circuitos Elétricos I

#	Conteúdo	Atividades Experimentais	Dispositivos experimentais
1	Equipamentos de laboratório	Instrumentação, equipamentos básicos e código de cores de resistores	Fonte DC e Gerador AC, resistores, indutores, capacitores, Motor DC 12V, PCP ³ , LEDs, RLC meter, Osciloscópio, Transformadores
2	Lei de Ohm	Resistores eletrônicos, levantamento de curva característica ($I \times V$) e efeito Joule	220/12+12V, Maleta multiuso tipo ULM ⁴ , Multímetros, ferro de solda,
3	Leis de Kirchhoff	Estudo da Lei de Kirchhoff das Tensões e da Lei de Kirchhoff das Correntes	LEDs, <i>protoboard</i> , sopradores térmicos, Simuladores (PSIM ⁵ ,
4	Técnicas de análise de circuitos	Método das Tensões de Nó, Método das Correntes de Malha, Circuitos Equivalentes	

³ PCP – Placa de Circuito Perfurado dupla face.

⁴ ULM – Unidade Laboratorial Móvel (Maleta Experimental SD 1202 - Minipa).

⁵ PSIM – Powersim: *Electronic Simulation Software* (<https://powersimtech.com>)

5	Circuitos com indutor e capacitor	Circuitos RL e RC de primeira ordem	PhET ⁶ ,..., Bancada de instalações elétricas, Medidor multigrandezas AC (tensão, corrente, potência, fator de potência), Motores elétricos de indução, Quadros DC e AC (sistema trifásico), Baterias, Placas fotovoltaicas e inversor de frequência
		Circuitos RLC (de segunda ordem)	
6	Circuitos sob alimentação senoidal	Análise de Circuitos em Regime Permanente Senoidal	
7	Potência em circuitos senoidais	Potência em Circuitos de Corrente Alternada	
8	Multidisciplinar	Projeto Integrador	

Fonte: autores.

O efeito da resistência interna da fonte ou dos instrumentos podem ser avaliados sob a perspectiva de discrepâncias das estimativas teóricas para com os resultados experimentais físicos ou digitais, sendo neste último mais frequente modelos ideais. Maletas multiuso servem de suporte, podendo integrar fontes variáveis, resistores e até mesmo medidores.

Outra maneira de ambientação, anterior à primeira situação empírica e já testada em algumas turmas, foi a disponibilização para cada estudante de um kit básico (Figura 1) – composto por LEDs (Diodos Emissores de Luz), vários resistores (tipo, valor, potência), bateria e pilha, motor DC, PCB (*Printed Circuit Board*) – a fim de que pudessem dispor e reestruturar com novos elementos ao longo da disciplina e explorar outros cenários e testes em horários além dos disponibilizados durante o curso.

É oportuno destacar ainda a simulação digital, em que modelos são utilizados. No PhET existem parâmetros operacionais que podem ser alterados pelo usuário e medidos por voltímetro e/ou amperímetro simulado. Baterias e fios são operados como ideais. Os elétrons em “movimento” são mostrados explicitamente para se “visualizar” a circulação e a conservação da corrente. O uso explícito de elétrons em movimento para a corrente pode ser considerado uma tentativa de oferecer um modelo microscópico (FINKELSTEIN et al., 2005), mas a forma de uso deve ser cuidadosa para não tornar imperceptível concepções não científicas. Utilizando o modelo de deslocamento cinético, nota-se, com a “velocidade” de deslocamento dos “elétrons”, o proporcional aumento da corrente pelo respectivo aumento de tensão no resistor linear,

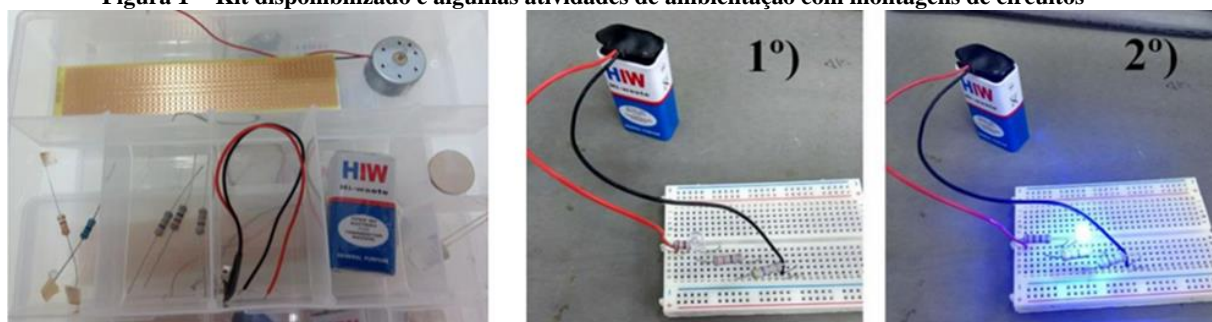
posterior à estimação teórica, anterior à construção física.

O que se destaca nesse espectro é que o cerne do ensino experimental requer também a aprendizagem teórica dos recursos, de suas potencialidades de uso, e que o contexto teórico precisa ter bem estabelecidas as relações para com as possibilidades empíricas. Reconhece-se que nem sempre elas são avaliadas para situar um espectro amplo das questões de aprendizagem e, em atenção, que se permita relações mais profundas das representações abstratas e concretas. De outro modo, em geral, depara-se com um aspecto raso e inexpressivo daquilo que é almejado, um estado contemplativo, repetitivo, de viés motivacional, meramente transladado de outra situação sem se admitir o que é próprio da mudança de recursos. Em contraponto, exemplifica-se, no caso do levantamento da curva $I \times V$, o espectro pedagógico que deve ser admitido (Quadro 3). Ele pode orientar o estabelecimento de aproximações entre abstrato e concreto, teórico e empírico, subsidiando decisões pedagógicas para a maioria dos conteúdos e atividades experimentais. Na própria descrição individual de cada escopo, emerge a relação integrada com os demais. É nesse processo de transição de um para o outro que a aprendizagem se torna significativa e o raciocínio bem estruturado se estabelece em contraponto a distanciamentos científicos conceituais.

Ao reportar o escopo multidimensional, destaca-se que a aprendizagem vai além de procedimentos temporais ou de perspectiva única. Ocorrem desenvolvimentos cognitivos diferentes com raciocínios personalizados dos estudantes a depender da forma com que encaram esse espectro e do modelo didático escolhido pelo professor.

⁶ PhET – *Physics Education Technology* (<https://phet.colorado.edu/en/simulation/circuit-construction-kit-dc>)

Figura 1 – Kit disponibilizado e algumas atividades de ambientação com montagens de circuitos



Fonte: acervo dos autores.

Quadro 3 – Quadro geral com possibilidades para a exploração teórico-experimental – O caso da curva IxV

Espectro	Elementos característicos e algumas possibilidades de implementação
Linguagem	Compreender as concepções dos alunos sobre a relação entre tensão e corrente elétrica é elemento nuclear. Vários carregam a concepção de que a tensão é função da corrente elétrica em virtude da abordagem que trazem do ensino teórico em escolarizações anteriores. Outra dificuldade é compreender a corrente como fluido devido à materialização linguística provocada por analogias com a noções líquidas e gasosas, distantes das ideias mais simples do modelo atômico. O termo resistência também deve ser apreciado admitindo as relações com tensão e corrente. Esta última deve ser compreendida como função da tensão mediada pela resistência em um circuito resistivo simples em corrente contínua.
Equacionamento	Um aspecto importante que deve ser considerado é a característica experimental da Lei de Ohm, de modo a curva característica é estabelecida a partir de um conjunto de pontos. A equação pode ser obtida de maneira exata na simulação digital e de maneira aproximada com as devidas técnicas de ajuste junto a dados reais. Os desdobramentos determinados a partir das Leis de Kirchhoff sobre a corrente e a tensão em componentes associados em série e em paralelo também são passíveis de determinação com o levantamento da curva IxV nestes modelos de ligação planar, gerando a dedução do equacionamento para o cálculo da resistência equivalente.
Gráfico	De modo multidisciplinar ou interdisciplinar com os conteúdos dos componentes Cálculo Numérico (se suscetível) e de Programação, a determinação física da expressão analítica pode ser realizada admitindo a aplicação de técnica de regressão linear, sua implementação algorítmica computacional em linguagem de programação. A experimentação em laboratório físico, neste caso, traz a vantagem em relação às ferramentas de simulação por envolver as devidas discrepâncias que tornam possível entender erros do sistema e o processo de transição do concreto à abstração por meio da obtenção de um modelo do componente resistivo.
Diagramas /Imagens	O diagrama de um circuito elétrico envolve um conjunto de signos, de elementos simbólicos visuais cuja iconicidade traz relações importante do ponto de vista abstrato. O sujeito precisa reconhecer em um diagrama representativo de um objeto físico componentes físicos e grandezas que trazem consigo razoável abstração. É através desta representação diagramática, por exemplo, que se mostra possível avaliar configurações a montante e a jusante, referidas às posições relativas do amperímetro em relação ao voltímetro, e cuja implementação pode trazer a percepção crítica do sujeito em relação aos efeitos das resistências internas dos aparelhos na estimação da grandeza principal.
Laboratório Físico	Como é possível perceber na especificação dos espectros anteriores, a representação do conteúdo é abstrata, de modo que as relações para o contexto experimental são fundamentais na formação crítica e no raciocínio dedutivo do sujeito em formação técnico-profissional. Uma tarefa para expor o contexto relacional é a de tentar aproximar-se dos estudos experimentais de Ohm (levantar a curva característica IxV para certas associações (série, paralelo), percebendo as variações na tensão e corrente em cada componente para cada tipologia. Experimentalmente, é possível avaliar ainda o efeito Joule na construção da curva IxV, proporcionando ao resistor uma tensão próxima do limiar suportável (acarretar um sobreaquecimento parcial). Isto altera a propriedade linear, em que pese a segurança, à apreciação dos limites dos equipamentos de geração e medição de grandezas. Circuitos com lâmpadas também são muito convidativos para entender relações para com a potência elétrica, com possibilidades em bancadas de Instalações Elétricas, Eletrônica, dentre outras.

Fonte: acervo dos autores.

Dificuldades conceituais podem não ser detectadas em função dessa variedade de caminhos, mas é notório que podem ser mapeadas e, admitindo-se o crescimento no domínio dos diversos campos e possibilidades, há um enriquecimento representativo. O espectro conceitual declarativo através de

vocábulos e signos visuais é muito expressivo, contudo, a montagem dá ao sujeito a oportunidade de testar suas hipóteses e estimar como surgem os modelos. Ao professor é possível confrontar, quando a situação é projetada a este fim, raciocínios que colocam alunos sob reflexão acerca do entendimento

conceitual sobre as grandezas e suas relações, em que é válido a heterogeneia entre diagramas abstratos e o contexto material físico e digital. Apresenta-se, na próxima seção, a forma como transcorreram algumas atividades e outros recursos utilizados em um semestre de LCEI.

RECURSOS E EXPERIMENTOS

Nas atividades do organograma havia uma tarefa prévia que deveria ser entregue antes da data prevista para o encontro presencial em laboratório. Esse procedimento vem sendo conduzido desde a primeira vez que a disciplina foi ofertada, de modo que nos semestres de 2018 e 2019 veio acompanhada de alguns experimentos digitais anteriores ao laboratório físico, sendo utilizados com mais frequência aqueles com licenças para estudantes ou com versões gratuitas de *softwares/aplicativos*. Contemplando não apenas aspectos associados com a construção e funcionamento de aparelhos e análise de esquemas/arranjos de circuitos, cada guia fora composto por questões que balizavam o estudo de cenários novos – para além da atividade de laboratório em si –, envolvendo sugestões de pesquisa acerca de tecnologias, materiais e componentes variados, incluindo estudos em outras disciplinas (retificadores, circuitos de lâmpadas, tecnologias para acionamento a distância, instalações elétricas). Foi concedido ainda treinamento curto sobre soldagem e prototipagem. O relacionamento científico-tecnológico foi proporcionado ao final da disciplina por meio de um projeto integrador.

O experimento sobre a curva “Corrente x Tensão” em resistores foi projetado com foco no estudo de linearidade e não linearidade do componente, prevendo possibilidades outras de apreciação analítica e simulação consoante ao especificado no Quadro 3. Foi incluída, a exemplo, a determinação de modelo via análise numérica do comportamento experimental referenciado pelas curvas características levantadas em laboratório físicos acerca dos resistores sob teste (de potências e materiais construtivos variados).

Outra atividade realizada foi o estudo da distribuição de tensão e de corrente em circuitos

resistivos série, paralelo e misto, em que foi realizado o estudo da potência dissipada por componentes e desdobramentos sobre projetos e limiares de tensão da fonte (incluindo montagens em Unidade Laboratorial Móvel e na bancada profissional de Instalações Elétricas) (Figura 2). No caso do uso da referida bancada foram introduzidos saberes complementares sobre circuitos monofásicos e trifásicos, disjuntores (DR, Termomagnético), lâmpadas, interruptores e botoeiras, além das ações de segurança.

Note-se que neste tipo de equipamento deve haver certa avaliação prévia pelo sujeito em aprendizagem no que concerne às correspondências diagramáticas do espectro visual convencional, que se referem, em geral, à associação série e em paralelo. Aqui, verifica-se que as lâmpadas podem ser modeladas por resistores, as quais apresentam referência posicional fixa e cujos nós elétricos (caracterização tipológica da associação – série, paralelo, misto) são efetivados por meio de cabos. Em um diagrama com simbologia convencional, o signo da conexão entre os componentes é muitas vezes representado por um ponto ou segmento de reta; a seriação é percebida pela noção de sequência, de aproximação dos resistores, enquanto o paralelismo é percebido como que se os componentes estivessem sobre retas morfológicamente assim dispostas no espaço (ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; ROSENGRANT; THOMSON; MZOUGH, 2009). Os entendimentos de professores e alunos de licenciatura em formação podem ser afetados pela complexidade analítica do caso (ÖNDER; ŞENYİĞİT; SILAY, 2017; MOODLEY; GAIGHER, 2019).

Uma observação sobre a organização de conhecimento simbólico-empírico atenta que, no *protoboard*, o nó se refere a grupos de 5 ou 10 pontos cuja conexão através de alvéolos demanda um raciocínio morfológico diferente. Esse tipo de exploração é potencial para verificar dificuldades de influência do saber geométrico sobre a topologia elétrica de um circuito, sendo necessário reconhecer nó, ramos e malhas nos diferentes símbolos ou seus

objetos físicos relacionados, perfazendo etapa relevante para a formação profissional.

Incluiu-se análise teórico-experimental, bem como medições, em estudos comparativos de resultados em laboratório físico e por meio de simulação digital. Isso envidou o estudo empírico para aplicação da Lei de Ohm e das Leis de Kirchhoff utilizando plataformas didáticas baseadas em plano simbólico e com base em plano representativo simulado da

matriz de contatos ou de uma matriz de pontos independentes, como é no caso da interface do PSIM. É importante observar que nos cenários digitais, por vezes, é necessário construir arranjos mais robustos que a avaliação física. Vários *softwares* não contém a possibilidade de incluir a resistência interna de alguns aparelhos, ocasionando arranjos alternativos com um resistor que a represente.

Figura 2 – Kit disponibilizado e algumas atividades de ambientação com montagens de circuitos



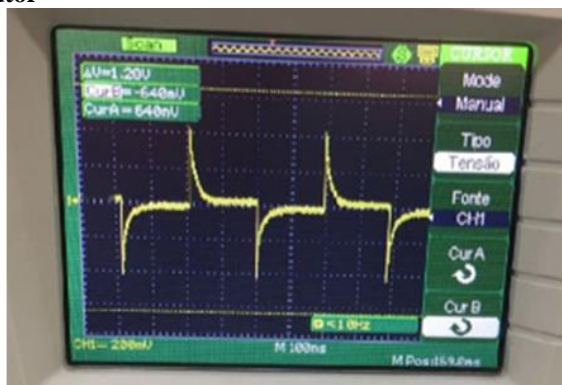
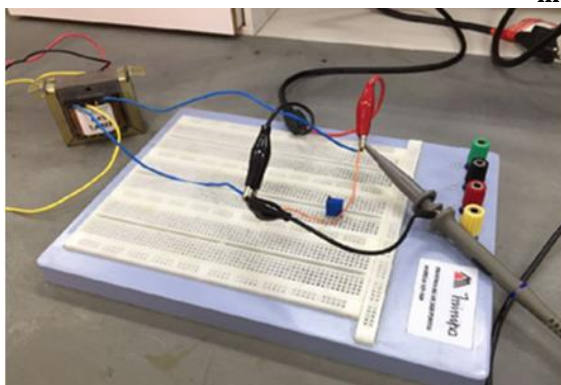
Fonte: acervo dos autores.

Em alguns casos tratados, resultados distintos foram observados pelos estudantes na comparação medição real x simulação digital, sendo debatidos em tempo com docente, técnico ou colegas de turma ou avaliados nos relatórios. Na medição de corrente elétrica da ordem de μA , a exemplo, o amperímetro disponível em laboratório possui resistência interna da ordem de $\text{k}\Omega$, podendo levar a interpretações equivocadas do estudante.

As implementações e a entrega de relatórios seguiram cronograma rígido para fomentar gestão do tempo e a responsabilidade na consecução documental. A apresentação de elementos analíticos e de roteiro, os quais previam desenvolver habilidade para gerenciar recursos teórico-experimentais, tornaram permissivos aspectos comuns e próximos das exigências do campo profissional. Durante o estudo empírico de técnicas de análise (tensões de nó, correntes de malha, teorema de Thèvenin, Máxima Transferência de Potência), embora não solicitado o estudo por via da

simulação, parte substancial dos estudantes passou a usar esse recurso espontaneamente em complemento às medições e consecuições obtidas em laboratório físico, processando comparações e análises mais robustas como mudança dinâmica de configurações por meio de chaves, autodirimindo parte das dúvidas e inserindo resultados mais ricos em relatórios. Isso demonstra um olhar colaborativo entre os cenários, o desenvolvimento individual ao reconhecer a potencialidade dos recursos, oferecendo aceleração da autonomia e não a concorrência sobre a natureza de recursos.

Foram processados estudos para avaliar o comportamento de indutores e capacitores em circuitos de primeira e segunda ordem, além da medição de variáveis junto a circuitos com componentes reais (Figura 3). Como suporte, usou-se o gerador de sinais (uso de funções de atributos para sinal quadrado, variando largura de pulso e chaveamentos controlados).

Figura 3 – Montagem e reprodução no osciloscópio da carga/descarga de um circuito de primeira ordem com indutor

Fonte: acervo dos autores.

Variáveis foram estimadas por análise gráfica e equacionamento. Em circuitos com indutor, componente por vezes de difícil acesso em laboratórios, além do dispositivo físico eletrônico foi verificado o comportamento de grandezas elétricas inerentes ao desempenho da indutância de um dos enrolamentos de transformador em circuito RL (Figura 3).

Um experimento que se desdobrou positivamente sobre inferências dos alunos, no desenvolvimento de habilidades (organização de equipamentos e materiais, discussões críticas e conferência coletiva sobre procedimentos e compatibilidade teórico-empírica) foi a proposta multidisciplinar com o componente “Fundamentos de Energia e Automação”: medir/estimar a resistência de malha de aterramento a partir de hastes do bloco de laboratório do *campus*, consoante à Configuração Ohmímetro paralelo (Figura 4).

A organização e evolução integrativa acarretou outro experimento com tema normalmente inserido em disciplina de semestre posterior: defasamento entre tensão e corrente em circuitos com fontes senoidais, focalizando o estudo do Fator de Potência e sua importância na atuação profissional, no planejamento de instalações e sistemas elétricos. Ações foram desenvolvidas com o aluno no centro das discussões para resolução do problema de medição (fator de potência, potência ativa, reativa e aparente). Foram admitidos recursos de vários laboratórios e dados prévios de equipamentos, configurações e modelos. Para a maioria, a estruturação metodológica – pré-experimento, organização de múltiplos recursos e temas

multidisciplinares, metas rígidas, suporte teórico e experimental de agentes (professor, monitor, técnico) – gerou uma boa autonomia na gestão de recursos e entendimento teórico, uma participação ativa e colaborativa. O roteiro “Pesquisa | Teoria | Simulação | Montagem” resultou em elevado êxito na experimentação e nos objetivos deste componente curricular.

PROJETO DISCIPLINAR

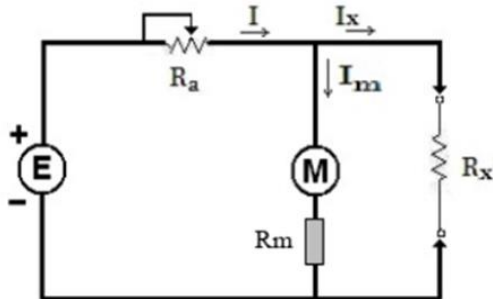
Experiência planejada junto aos alunos que conseguiram emancipar a finalização das atividades experimentais frente ao calendário foi a realização de projeto cuja demanda seria geratriz de novas habilidades. Duas equipes desenvolveram luminárias de LED com algum acionamento remoto inteligente. Uma delas propôs e desenvolveu uma “caixa infinita” (Figura 5). Além da prototipagem, expandiu-se a pesquisa sobre soldas, suportabilidade de dispositivos e estudo sobre componentes cuja modelagem se previa apenas em disciplina futura. O projeto está identificado na Figura 5, havendo duas opções de acionamento: batida de palmas (sensor sonoro) ou presença. O organograma remete a detalhes mais precisos da primeira das ideias do grupo. O primeiro ponto a se observar é o aspecto multidisciplinar e o autogerenciamento de tempo.

Os discentes, nesse semestre, cursavam a disciplina Física III, a qual incorpora Óptica, de onde provavelmente – de maneira intuitiva – decorreu a decisão acerca do *design* do protótipo. O uso de “sensores com saída digital” também é passível de ter sido influenciado a partir de outra disciplina do

fluxograma curricular: “Circuitos Digitais”. Foram desenvolvidos novos estudos e habilidades em Eletrônica (disciplina de semestre posterior). Realizou-se de modo

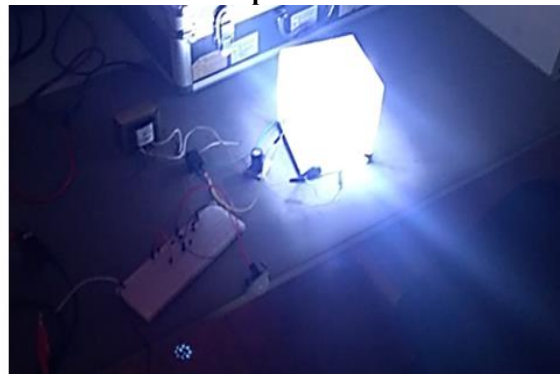
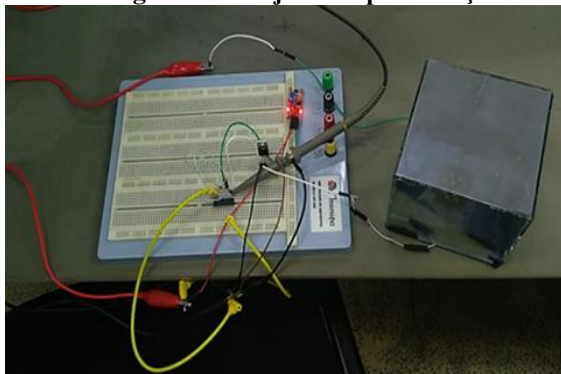
independente pelo grupo ou com gestão a distância pelo docente.

Figura 4 – Circuito, haste auxiliar e eletrodo para estimativa da resistência de aterramento



Fonte: acervo dos autores.

Figura 5 – Projeto e representação de acionamento de luminária tipo “caixa infinita”



Fonte: acervo dos autores.

Os alunos expuseram um “plano B” no *brainstorm* para caso a implementação inicial não fosse concluída: o uso do Arduíno para o controle inteligente. Duas dificuldades com superação: dimensionar os cabos (LEDs: alto brilho e potência → corrente elevada); a dissipação de calor na estrutura. Ainda, cenários, desenvolvimento e elementos de infraestrutura foram debatidos; o artifício da simulação foi utilizado para compreender partes de cada circuito proposto.

O processo levou à descoberta e autonomia. Raciocínios lógico-dedutivos se tornaram mais complexos e estruturados, a exemplo de organograma de trabalho feito por um dos grupos (Figura 6).

O outro grupo propôs sistema de iluminação acionado por infravermelho. Ele foi dividido em blocos, estruturado, *a priori*, por simulações no *PowerSim* (PSIM) e, *a posteriori*, em laboratório físico. Controle

remoto para TV serviu para acionar a carga. Foram elencadas pelo grupo pesquisas necessárias para consecução da proposta, cujos conteúdos não haviam sido abordados em LCEI:

- a) ponte retificadora e conversão CA-CC com regulação de tensão (Figura 7);
- b) funcionamento de diodos (1N4007);
- c) uso e funcionamento de reguladores de tensão (LM3815);
- d) uso de relés (SRD-05VDC-SL-C);
- e) operação/configuração de Arduíno;
- f) simulações de circuitos no *software* PSIM (dispunha de todos os componentes).

Embora tenham usado outros *softwares* na disciplina, em entrevista foi indicado pelos alunos que o uso do PSIM ocorreu devido à presença de muitos dos modelos almejados aos componentes no projeto. Esse é outro tipo de percepção: a mobilização de uma compreensão comparativa dos recursos computacionais a fim

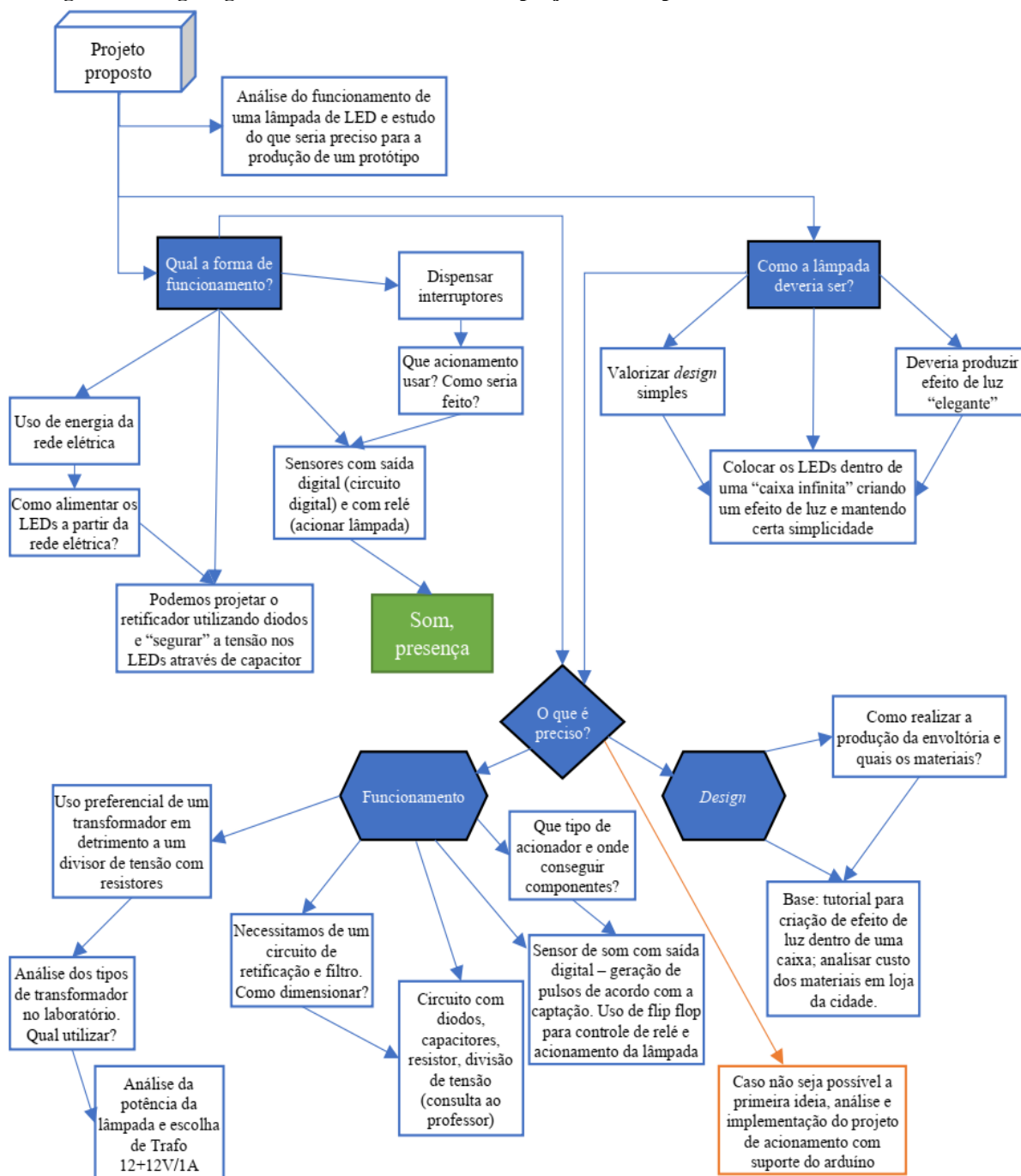
de decidir o que melhor atende ao cenário. A fonte do circuito alimentou uma coluna de LEDs. Após obter saída estabilizada em 15 V, a tarefa enviou microcontrolador e o controle de televisão (*on/off* da lâmpada).

A programação foi realizada junto ao Arduino, algo convidativo pelas habilidades desenvolvidas nas disciplinas de Programação (2º e 3º semestres). Na interação com colegas, foram expostos os desafios de implementação e

a forma de funcionamento do microcontrolador em relação à leitura e processamento do sinal.

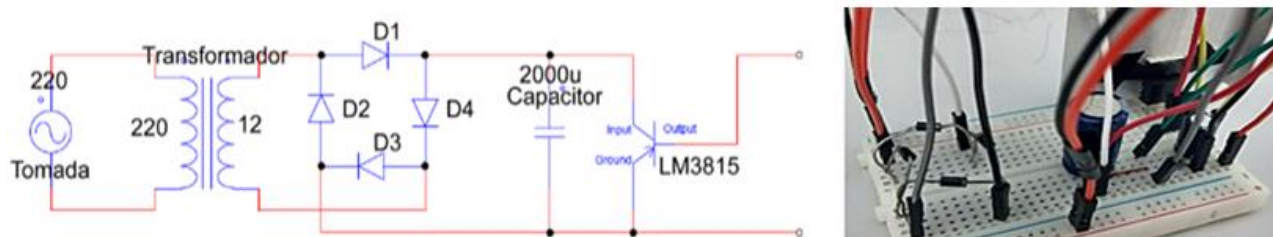
A organização dos recursos pode favorecer a capacidade cognitiva, a criação e ação colaborativa, além de emancipar habilidades, aprofundar saberes técnicos e científicos. Concatenam-se possibilidades multidisciplinares pela gestão de cenários e integração de recursos.

Figura 6 – Organograma de desenvolvimento de projeto de lâmpada com acionamento remoto



Fonte: acervo dos autores.

Figura 7 – Projeto no simulador e montagem de conversor CA-CC do segundo grupo



Fonte: acervo dos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há uma busca por estratégias que conectem conceitos e definições do campo científico aos fenômenos, à capacidade de abstração do sujeito e ao estudo da viabilidade de soluções, explorando o aspecto teórico-empírico da ciência e habilidades consoantes às novas demandas na formação de engenheiros. O delineamento procurou evitar lacunas no ensino de competências, a promoção de condutas de investigação e habilidades do campo profissional. A infraestrutura subsidiou projeto e implementação de soluções conforme certas exigências, admitindo algumas variáveis intervenientes e, principalmente, expondo um conjunto de capacidades cujo desenvolvimento é passível pelos sujeitos, em que se incorpora um perfil investigativo para materializar soluções e entender o espectro representativo.

As atividades experimentais e o uso de equipamentos/software, de elementos de suporte deve prever condições de aplicação além dos espaços de uma bancada, emitindo olhar também para a realidade e as possibilidades de atuação do Engenheiro Eletricista. Nota-se, neste viés, qualidades em contexto, integração de diversos aspectos técnico-científicos e cognitivos nos estudantes, além de novos esquemas (estruturação, teste, ação, percepção, inferência), os quais valorizam a articulação e desenvolvimento de saberes quando eles são imersos em situações-problema contextualizadas que trazem consigo desafios para além da fronteira disciplinar preliminarmente prevista para o Laboratório de Circuitos Elétricos.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, W. V. S. et al. Sobre experimentação e consecução de projetos na disciplina Laboratório de Circuitos Elétricos. *Anais... XLVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE)*, p. 1-9, Fortaleza, 2019.
- AVILÉS-CRUZ, C.; VILLEGAS-CORTEZ, J. A smartphone-based augmented reality system for university students for learning digital electronics. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 27, n. 3, p. 615-630, 2019.
- BRINSON, J. R. Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, v. 87, p. 218-237, 2015.
- COPPENS, P. *Engineering technology students activities and learning in an electronics laboratory*. 2016. 245f. Doctoral dissertation (Arenberg Doctoral School – Faculty of Science) – Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 2016.
- DE JONG, T.; LINN, M. C.; ZACHARIA, Z. C. Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, v. 340, n. 6130, p. 305-308, 2013.
- DESPORTES, K. et al. Circuit diagrams vs. physical circuits: the effect of representational forms during assessment. *Proceedings... 2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. IEEE, p. 1-9, 2016.
- ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students' understanding of direct current

resistive electrical circuits. **American Journal of Physics**, v. 72, n. 1, p. 98-115, 2004.

FINKELSTEIN, N. D. et al. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. **Physical review special topics-physics education research**, v. 1, n. 1, p. 010103, 2005.

HERMAN, G. L.; LOUI, M. C.; ZILLES, C. Students' misconceptions about medium-scale integrated circuits. **IEEE Transactions on Education**, v. 54, n. 4, p. 637-645, 2011.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. **Science education**, v. 88, n. 1, p. 28-54, 2004.

KIRCHHOFF, G. L. On the motion of electricity in wires. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 13, n. 88, p. 393-412, 1857.

KIRCHHOFF, G. L. On a deduction of Ohm's laws, in connection with the theory of electrostatics. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 37, n. 252, p. 463-468, 1850.

MANUNURE, K.; DELSERIEYS, A.; CASTÉRA, J. The effects of combining simulations and laboratory experiments on Zimbabwean students' conceptual understanding of electric

circuits. **Research in Science & Technological Education**, p. 1-19, 2019.

MOODLEY, K; GAIGHER, E. Teaching electric circuits: Teachers' perceptions and learners' misconceptions. **Research in Science Education**, v. 49, n. 1, p. 73-89, 2019.

OHM, G. S. **Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet**. 1 ed. Berlim: TH Riemann, 1827.

ÖNDER, F.; SENYIGIT, Ç.; SILAY, I. The Effects of Misconceptions on Pre-Service Teachers' Ability to Constructing Simple Electric Circuits. **European Journal of Physics Education**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2017.

SINGH, G. et al. Evaluating the impact of the augmented reality learning environment on electronics laboratory skills of engineering students. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 27, n. 6, p. 1361-1375, 2019.

ROSENGRANT, D.; THOMSON, C.; MZOUGH, T. Comparing experts and novices in solving electrical circuit problems with the help of eye-tracking. **Proceedings... AIP Conference Proceedings**. American Institute of Physics, p. 249-252, 2009.

OLIVEIRA, V. F. et al. **A Engenharia e as Novas DCNs: Oportunidades para Formar mais e Melhores Engenheiros**. LTC/GEN, 2019.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Wilker Victor da Silva Azevêdo – Graduado e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em 2008 e 2010, respectivamente. Doutorando (2016-2020) do Programa de Educação Matemática e Tecnológica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atua como Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico desde 2010. É docente do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) desde 2011, lecionando no curso técnico em Eletroeletrônica e no Bacharelado em Engenharia Elétrica do *campus* Garanhuns, tendo atuado ainda nas funções de Diretor de Pesquisa, Inovação Tecnológica e Extensão (2015), Diretor de Ensino (2014) e chefia da Divisão de Ensino nessa instituição (2012). Em 2013 recebeu, pelo IFPE, a medalha de honra Paulo Freire. Em 2018, projeto sob sua orientação acerca do Ensino de Circuitos Elétricos recebeu 1º lugar no Congresso de Iniciação Científica do IFPE. Atuou em projetos de consultoria na área de planejamento de sistemas elétricos. Tem coordenado e colaborado em projetos de pesquisa e extensão, principalmente, nos seguintes temas: Ensino e Aprendizagem em Circuitos Elétricos, Energias

Renováveis e Geração Distribuída, Educação em Engenharia, Educação Tecnológica, Transmissão de Energia, Aprendizagem Baseada em Projetos, Eficiência Energética.



Múcio D'Emery Alves Filho – Atualmente é graduando em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Pernambuco - *Campus* Garanhuns. Tem realizado cursos de formação complementar em Eletrotécnica e Automação Industrial. Tem atuado como monitor em disciplinas de Cálculo para Engenharia Elétrica e como pesquisador, desenvolvendo ações no diagnóstico de evasão no curso e participando de estudos sobre Aprendizagem em Circuitos Elétricos (Educação em Engenharia) e Linhas Transmissão de Potência Natural Elevada (Sistemas de Potência). Principais temas de interesse: Evasão e Retenção, Educação em Engenharia, Transmissão de Energia Elétrica, Planejamento de Sistemas Elétricos, Automação Industrial.