



PROPOSTA DE DISCIPLINA E BANCADA DIDÁTICA PARA PROJETOS DE TRANSFORMADORES NA UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5201

Autores: MARCILIO ANDRE FELIX FEITOSA, GUSTAVO OLIVEIRA CAVALCANTI, CLÁUDIO ANDRÉ ROCHA ALVARES DE OLIVEIRA, MEIVE TAVARES DOS SANTOS

Resumo: O artigo propõe alterações nas ementas de algumas das disciplinas que tratam do assunto transformadores, ou a adição de uma nova disciplina eletiva ao currículo dos cursos de Engenharia Elétrica na Escola Politécnica de Pernambuco. É sugerido a criação de uma bancada em um laboratório já existente, dedicada ao projeto e dimensionamento de transformadores e indutores. A implementação desta bancada, mesmo com um investimento relativamente reduzido, serviria ao propósito de preencher a lacuna existente na formação prática dos estudantes, com uma aplicação didática para as disciplinas relacionadas. A bancada pode também ser utilizada como suporte para pesquisas, tanto na graduação como nas pós-graduações, além de em projetos P&D+I. Este trabalho busca sensibilizar a comunidade acadêmica sobre a necessidade de investimentos em infraestrutura laboratorial. Além disso, são discutidos tópicos sobre os materiais necessários para a construção da bancada, os parâmetros de montagem e projeto de transformadores (com núcleos de materiais diversos como Ferro, Ferrite, entre outros), as diversas aplicações dos transformadores e indutores, com destaque a circuitos que operam em alta velocidade de chaveamento, e a transmissores e receptores de radiofrequência (RF) e as especificidades a serem respeitadas no projeto de componentes para tais aplicações. Essas questões destacam a importância deste tópico para as disciplinas de um curso de engenharia elétrica. A falta de laboratórios especializados e aulas práticas adequadas é um problema comum em várias universidades, e isso impacta negativamente na qualidade do ensino e no desenvolvimento profissional dos alunos. As aulas práticas são essenciais para o desenvolvimento de habilidades, mas são frequentemente limitadas devido a restrições de infraestrutura e orçamento. A implementação de um laboratório bem equipado e a inclusão de conteúdos práticos nas disciplinas existentes (ou em uma nova disciplina) eleva a qualidade da formação dos engenheiros. O investimento necessário para a criação do laboratório representa uma pequena fração dos investimentos feitos pelo governo na instituição. Além disso, esse projeto pode ser financiado através de editais de apoio à inovação pedagógica. A proposta visa não só melhorar a formação dos alunos, mas também fomentar a pesquisa e a inovação na área de energia elétrica.

Palavras-chave: Projeto de Transformadores e Indutores, Atualização do Projeto Pedagógico, Laboratório Didático, Educação em Engenharia

PROPOSTA DE DISCIPLINA E BANCADA DIDÁTICA PARA PROJETOS DE TRANSFORMADORES NA UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

1 INTRODUÇÃO

No âmbito acadêmico da engenharia, a formação prática dos alunos é um pilar fundamental para o desenvolvimento de novos profissionais capacitados e inovadores. No entanto, é comum encontrar algumas lacunas na estrutura curricular, e na infraestrutura universitária, que dificultam a experiência prática dos estudantes, especialmente quando se trata de disciplinas específicas, mas também de fundamental importância. Esse problema não apenas compromete a qualidade do ensino, mas também limita o desenvolvimento de habilidades essenciais para o mercado profissional.

Um curso de graduação em engenharia, independente da especialização, é composto por aulas teóricas e práticas. No entanto, nem sempre as aulas teóricas abrangem todos os aspectos da situação real, o que pode diminuir o interesse do aluno pelas disciplinas e até pelo curso. Observa-se que, durante as aulas práticas, os alunos interagem mais com os conteúdos, quando comparado às teóricas, devido à mudança de ambiente e à oportunidade de aprender fazendo. Isso também se reflete numa maior presença nas aulas, demonstrando a importância e interesse na perspectiva do aluno (AMORIM, 2019). A chance de participar de aulas práticas faz com que os alunos tenham mais familiaridade e responsabilidade com suas futuras funções. Essas aulas permitem os estudantes vivenciarem novas experiências, ajudando na compreensão da teoria transmitida em sala de aula e contribuindo para formação de futuros profissionais (SILVA, 2019).

A escassez de laboratórios especializados e a falta de aulas práticas nesse domínio representam um desafio significativo tanto para os alunos quanto para os professores. Por diversas razões os cursos de graduação tendem a adotar currículos baseados na carga horária mínima estabelecida pelo MEC. Aliando isso ao fato que, em geral, Laboratórios Didáticos de Ensino são onerosos e a falta de investimentos em infraestrutura é um problema comum em quase todas as Universidades (FEITOSA, 2023), as aulas práticas são reduzidas ao mínimo. Infelizmente, poucos são os cursos no Brasil onde as práticas são evidenciadas e o “aprender fazendo” de fato predomina.

Diversos cursos de graduação vêm enfrentando problemas de evasão escolar, que em muitos casos estão relacionados à falta de uma metodologia adequada para o ensino e ao baixo estímulo às capacidades criativas dos estudantes. Vários assuntos que são de extrema importância para a formação do aluno não são abordados da melhor forma. São vistos com grande foco na teoria, com a prática sendo deixada de lado. Um exemplo de práticas que são pouco exploradas em um curso de engenharia elétrica são as de montagens de transformadores. O dimensionamento e montagem de transformadores são habilidades essenciais para engenheiros eletricitistas, pois esses dispositivos desempenham um importante papel em uma variedade de aplicações.

Essa carência foi observada na prática, quando, durante um projeto de P&D+I, foi necessário a confecção de alguns transformadores de uso bem específico, com dimensões reduzidas. Esses transformadores não são encontrados facilmente no mercado e, alguns similares encontrados, além de não apresentarem todas as especificações, dependiam de processo de importação, o que aumentava o custo. Se o pesquisador resolver mandar alguma empresa enrolar esse transformador, para a construção de um protótipo, o custo é

também um empecilho pois, as empresas precisam mudar o setup das máquinas, o que não é vantajoso para confeccionar apenas poucas unidades.

Os alunos participantes do projeto (dos cursos de Engenharia Eletrônica e Telecomunicações) relataram nunca terem dimensionado um transformador além da básica relação de espiras, tensão e corrente. Em nenhuma disciplina desses cursos foi detalhado considerações práticas como a escolha de materiais para o núcleo e enrolamentos, o dimensionamento térmico e a dissipação de calor, nem os processos diferenciados quando se trata de transformadores de alta frequência. Uma análise nas ementas confirmou esse relato. Apenas no curso de Eletrotécnica o tema é visto com um pouco mais de detalhes, na disciplina Equipamentos Elétricos. Expandindo a busca para outras Universidades brasileiras (USP, UFRJ, UFMG e Unicamp), o panorama se mostrou bastante similar.

Diante de tudo isso, este artigo propõe alterações na ementa de alguma das disciplinas que tratam do assunto transformadores, ou a adição de uma nova disciplina ao currículo dos cursos, bem como a criação de uma bancada em um laboratório já existente na Escola Politécnica de Pernambuco (POLI), dedicada ao projeto e dimensionamento de transformadores. A implementação desta bancada, mesmo com um investimento reduzido, serviria ao propósito de preencher a lacuna existente na formação prática dos estudantes, com uma aplicação didática para as disciplinas relacionadas. Além disso, poderia também ser utilizada como suporte para pesquisas, tanto na graduação como nas pós-graduações, além de em projetos P&D+I. Este trabalho busca sensibilizar a comunidade acadêmica sobre a necessidade de investimentos em infraestrutura laboratorial. Além disso, são discutidos os materiais necessários para a construção da bancada, os parâmetros de montagem e projeto de transformadores (Ferro, Ferrite, entre outros), destacando a importância deste tópico para as disciplinas de um curso de engenharia elétrica.

2 DISCIPLINA SOBRE PROJETO DE TRANSFORMADORES DE BAIXA TENSÃO NO PPC DOS CURSOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Os transformadores são abordados no curso de Engenharia Elétrica (Eletrotécnica, Eletrônica e Telecomunicações) em disciplinas como Fundamentos do Eletromagnetismo, Conversão Eletromagnética de Energia, Circuitos Elétricos, Eletrônica Industrial, Eletrônica de Potência, Máquinas Elétricas e Eletrotécnica Geral, nas quais são explicados os conceitos fundamentais, princípios de funcionamento, tipos existentes e principais aplicações. Na UPE (e em quase todas as ementas consultadas de outras universidades), nenhuma dessas disciplinas apresenta um detalhamento dos cálculos para o dimensionamento e projeto desses transformadores. Além disso, todas essas disciplinas são de caráter teórico, com pouca abordagem prática em laboratório.

Os transformadores são muito utilizados nos sistemas de potência, operando como elevador, abaixador ou isolador de tensão e/ou corrente. Na transmissão de energia elétrica, são de crucial importância pois permitem a condução de energia por longas distâncias com um custo reduzido de materiais (uso de fios mais compactos devido à tensão elevada). Esse tipo de aplicação é detalhado em disciplinas como Circuitos Elétricos e Conversão de Energia, por exemplo. Outra grande área de utilização dos transformadores é nos conversores de tensão. Os conversores podem ser CA-CA (com alteração da frequência), CA-CC (retificadores), CC-CA (inversores) ou CC-CC (com alteração da amplitude), apresentando várias topologias de montagem (SILVA, 2013). As principais topologias utilizadas nos conversores CC-CC são o conversor Buck (reduzidor de tensão), Boost (elevador de tensão) e Buck-Boost (a tensão de saída pode ser maior ou menor que a entrada) (SOIKA, 2017), mas são nos conversores tipo Flyback e Forward onde os transformadores assumem papel importante pois esses possuem isolamento galvânica entre

a entrada e a saída, justamente devido à presença do transformador (SILVA, 2013). Todas essas topologias são detalhadas na disciplina Eletrônica de Potência, mas sempre com foco no sistema de controle e no circuito de chaveamento. Nos conversores chaveados (*Switch Mode Power Converter* – SMPC) são utilizados componentes diversos e foi exatamente nessa aplicação, adotada no projeto de P&D+I, onde sentiu-se a carência de uma estrutura para o dimensionamento e a confecção de transformadores. Essas foram as etapas de maior grau de dificuldade no projeto do conversor CC-CC e são exatamente as mais negligenciadas nos cursos de graduação. Na Internet encontra-se diversos vídeos tratando do assunto, mas, ou são extremamente superficiais, se atendo apenas ao cálculo do número de espiras com base nas tensões e potências envolvidas (como os programas ilustrados na Figura 1), ou os cálculos são baseados em valores empíricos, sem a devida comprovação teórica, como ocorre nos materiais encontrados sobre dimensionamento de transformadores para alta frequência. Na ementa proposta nesse artigo, o dimensionamento é realizado com base em livros especializados na área (praticamente inexistentes no Brasil) e as práticas propostas poderão ser realizadas na bancada de baixo custo, também detalhada aqui. Vale ressaltar que a ementa e a bancada propostas permitem o dimensionamento e a confecção não apenas de transformadores. É possível também a confecção de indutores, muito utilizados em diversas disciplinas, como por exemplo algumas de Telecomunicações onde os indutores são amplamente empregados no projeto de circuitos osciladores e sintonizados.

A proposta é adicionar ao currículo vigente, dos cursos de Engenharia Elétrica da UPE, uma disciplina de 30h, que pode ser ofertada em caráter eletivo, onde serão detalhados os conceitos sobre o projeto de transformadores de baixa potência bem como realizadas atividades práticas de montagem de tais transformadores (e indutores). Uma alternativa é que os principais tópicos da ementa sejam adicionados a uma das disciplinas que já trata do assunto transformadores, com a realização de aulas práticas. Uma possível ementa para tal disciplina é sugerida no Quadro 1.

Quadro 1: Ementa proposta para a disciplina

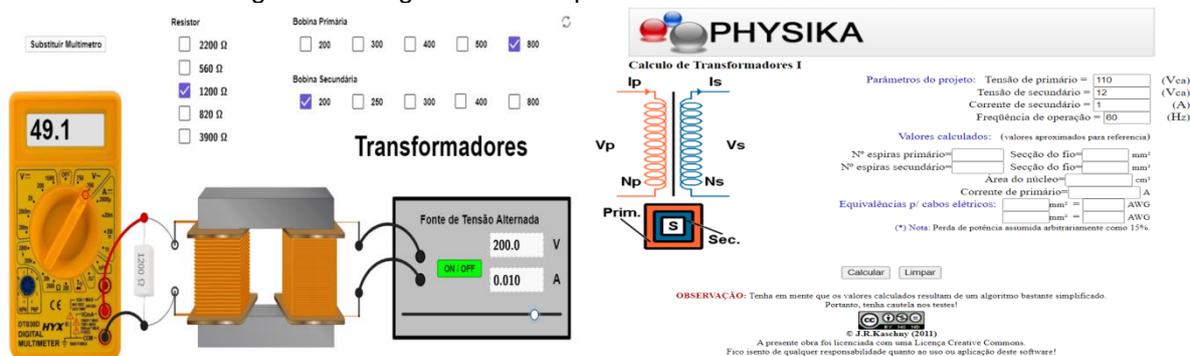
Nome da Disciplina: Projeto de Transformadores e Indutores para Circuitos Eletrônicos e de Telecomunicações
Ementa: 1. Princípios básicos de operação dos transformadores e indutores; 2. Tipos de transformadores e indutores e suas classificações; 3. Equações fundamentais dos transformadores e indutores; 4. Perdas no transformador (no núcleo e nos enrolamentos); 5. Projeto e Dimensionamento de Transformadores e Indutores; 6. Seleção de materiais para o núcleo (ferro, ferrite, ar) e enrolamentos; 7. Dimensionamento térmico e dissipação de calor; 8. Transformadores de Alta Frequência; 9. Projeto de transformadores e indutores para circuitos de alta frequência; 10. Aplicações em fontes chaveadas e conversores eletrônicos; 11. Processos de fabricação de transformadores para diferentes aplicações; 12. Práticas de montagem; 13. Análise de Desempenho e Testes.
Bibliografia: <ul style="list-style-type: none">• Colonel Wm. T. McLyman. Transformer and Inductor Design Handbook, 4th Edition, eBook Published January 2017, CRC Press, DOI: https://doi.org/10.1201/b10865, pages 667, eBook ISBN9781315217666.• Vecchio, R.M. & Poulin, B. & Feghali, P.T. & Shah, D.M. & Ahuja, R.. (2017). Transformer design principles: Third edition. 10.1201/9781315155920.• Hurley, W. & Wölfle, W.. (2013). Transformers and Inductors for Power Electronics: Theory, Design and Applications. 10.1002/9781118544648.• Flanagan, William. M. Handbook of Transformer Design & Applications. McGraw-Hill. 2nd Ed. 1993.

Fonte: Dos autores.

Como falado anteriormente, uma busca por livros didáticos, em português, que tratem do assunto, foi realizada e não se obteve sucesso. Nos poucos livros encontrados em nossa busca (OLIVEIRA, 2018 e JORDÃO, 2002), o foco é nas aplicações de média e alta potência, com técnicas de análise e metodologias para ensaios de rotina. Pela descrição encontrada em um conhecido site para venda de livros, o livro “Transformadores: teoria e exercícios”, de Gilio Aluisio SIMONE (2010), trata do projeto de transformadores, mas, segundo o site de vendas, a produção pela Editora só ocorre sob demanda.

Durante as aulas da disciplina, além dos cálculos baseados em livros e artigos científicos inteiramente dedicados ao assunto, também serão utilizadas ferramentas computacionais para facilitar a dinâmica das aulas. Um programa em Python (ou SciLab, software gratuito para computação numérica semelhante ao MATLAB®) será desenvolvido para permitir ao aluno entrar com os parâmetros ora vistos em aula e as informações sobre o núcleo e os condutores a serem utilizados, fornecidas pelos fornecedores, e obter o número de espiras que se deve ter em cada enrolamento e outras informações de interesse, calculados com base nas equações detalhadas em sala.

Figura 1 – Programas online para cálculo de transformadores



Fonte: CASTRO, 2024 e VIEIRA, 2024.

3 DIFICULDADES NO PROJETO DE TRANSFORMADORES E PROPOSTA DE LABORATÓRIO

O presente artigo não está focado nas equações necessárias ao projeto de transformadores e indutores. São equações estabelecidas pelos princípios do eletromagnetismo e baseadas nas dimensões e propriedades elétricas dos materiais a serem utilizados. Como dito anteriormente, encontrar literaturas nacionais sobre o tema não é fácil, mas livros importados apresentam bem essa metodologia a qual deve ser apresentada aos alunos de graduação. O foco do artigo é justamente propor a adição desses conteúdos à ementa de alguma disciplina já existente ou a criação de uma nova disciplina. Além disso, incentivamos que tal conteúdo seja visto com um viés prático e, para isso, sugerimos a criação da bancada para projetos de transformadores. A definição dos itens componentes dessa bancada varia de acordo com as características desejadas dos transformadores a serem projetados. A disciplina explana sobre transformadores de uso geral, mas a bancada é dedicada aos transformadores e indutores para circuitos eletrônicos e de telecomunicações, por isso não se trata aqui do projeto de transformadores para média e alta potência, que deixamos para disciplina similar em um curso de Eletrotécnica.

Um parâmetro que influencia bastante nas características elétricas de um transformador/indutor é o material a ser utilizado no núcleo.

- Núcleo de ar (ou plástico), apresenta baixa interferência eletromagnética e é comumente aplicado em circuitos eletrônicos de alta velocidade de chaveamento, e em transmissores e receptores de radiofrequência (RF).

- Núcleo de ferro, por sua alta permeabilidade magnética, permite obter altos valores de indutância e são amplamente utilizados em transformadores e indutores usados para armazenamento de energia e filtragem, como nas fontes de alimentação lineares. Além disso apresenta um bom acoplamento magnético entre as bobinas, aumentando a eficiência na transferência de energia.

- Núcleo de ferrite apresenta algumas vantagens sobre outros tipos, como alta indutância, baixas perdas magnéticas e capacidades de atuar em altas frequências. A ferrite é um material ferromagnético composto de óxido de ferro e outros óxidos metálicos. Devido às suas baixas perdas em alta frequência (até 2 MHz), este tipo de material oferece vantagens significativas, pois reduz o volume e aumenta a eficiência dos componentes quando comparado aos núcleos de ferro-silício. Os transformadores de ferrite proporcionam isolamento elétrico entre os enrolamentos primário e secundário, aspecto fundamental para a segurança e o funcionamento adequado de muitos circuitos (DOMCOIL, 2023). São comumente usados em fontes de alimentação com alta frequência de chaveamento, amplificadores e circuitos de RF.

Outro fator que influencia nas características elétricas do componente é o formato geométrico do núcleo e a forma de enrolamento. A configuração E+I é muito utilizada nos transformadores onde o núcleo é composto por lâminas de material ferromagnético. A montagem com chapas de aço laminadas (no geral usam-se chapas de aço-silício) diminui as perdas por Corrente de Foucault (ou correntes parasitas). O formato E+I (ou E+E) também é adotado em transformadores com núcleo de ferrite. Outro formato bastante comum, tanto para transformadores como indutores, é o toroidal, em forma de rosca enrolamentos de fio envoltos ao redor do núcleo. Esse tipo apresenta como vantagens permitir altas indutâncias para seu tamanho e baixa emissão de interferência eletromagnética (EMI). Existem ainda os indutores de montagem de superfície (SMD), comum nos circuitos integrados, mas que foge ao propósito da bancada/laboratório proposto (NEWARK, 2024). Alguns desses tipos de indutores e de transformadores, bem como de materiais dos núcleos e configurações geométricas, podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2 – Tipos de indutores e transformadores diversos. Da esquerda para a direita, núcleo de ar, de ferro, com formato E+I, toroidal e de ferrite.



Fonte: Adaptado pelos autores.

Além do tipo e formato do núcleo, o material utilizado para a confecção das bobinas é de extrema importância. Tanto nos enrolamentos como na isolação. Alguns transformadores e indutores exigem uma atenção especial a esse item pois, ao se trabalhar com sinais de alta frequência, perdas por aquecimento causadas pelo efeito skin passam a ser significativas. Isso pode ser minimizado adotando-se fios tipo Litz, que são formados por vários condutores encapados com nylon criando um efeito de isolação.

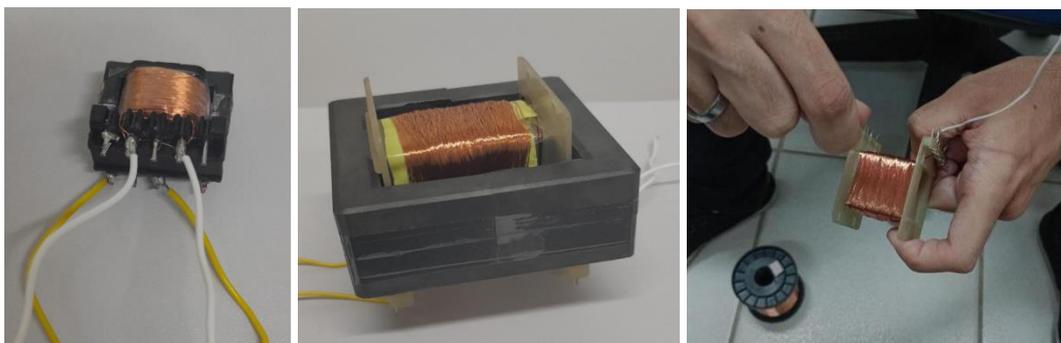
No projeto de P&D+I que motivou a origem desse artigo, o circuito a ser projetado necessitava de um transformador elevador (step-up), capaz de gerar na sua saída um sinal de alta tensão. Os transformadores tradicionais de núcleo de ferro que atenderiam às especificações seriam de dimensões, peso e custo excessivos. Para permitir a construção de circuitos menores, optou-se por trabalhar com frequências mais elevadas, o que conduziu à escolha de transformadores com núcleos de ferrite. Os núcleos de ferrite com formato de “E” são os mais comuns e amplamente utilizados, pelo seu design e por permitir uma boa distribuição do fluxo magnético. Para o cálculo do transformador, são necessários parâmetros como a área efetiva do núcleo, o volume efetivo, o comprimento, a área da janela, a permeabilidade e o fluxo magnético. GILI (2012), apresenta uma solução em software para o cálculo físico dos núcleos indutores de ferrite tipo “E”. A seleção do tamanho do núcleo se dá a partir da potência máxima a ser entregue pela fonte, a frequência de operação, o aquecimento nos fios de cobre e o circuito básico utilizado. Uma vez definido o núcleo, o cálculo do tipo de condutor dos enrolamentos é realizado, e depende do duty-cycle da onda de chaveamento a ser aplicada pelo circuito de controle adotado, no caso do projeto, um flyback. Após definido o tipo de enrolamento é possível calcular a indutância primária mínima e encontrar o número de espiras no primário e no secundário a partir das especificações iniciais de tensão e corrente do transformador. A partir disso, é possível definir as bitolas dos fios utilizados nos enrolamentos seguindo o valor da corrente no secundário e da densidade de corrente. A ICOTRON (1983), por meio de um boletim técnico apresentou um detalhamento acerca do cálculo para um transformador de ferrite usado em conversores CC-CC para uma topologia flyback e SOIKA (2017) apresentou uma série de passos para projeto de um transformador para fontes de alimentação chaveada. Essas técnicas são detalhadas na ementa proposta para a disciplina.

3.1 Dificuldades encontradas na montagem do transformador

Muitas dificuldades foram encontradas durante a fase de construção, sendo a maior delas a não disponibilidade de equipamentos adequados, tendo que ser realizada toda a confecção do transformador de forma manual. Inicialmente, foi feita a compra de núcleos de ferrites e carretéis compatíveis, fios de cobre esmaltados para enrolamento das bobinas, como também fita para blindar o enrolamento primário do secundário, uma vez que não se tinha disponível nenhum desses materiais de forma acessível em laboratório na universidade. A Figura 3 apresenta dois modelos de transformadores montados, para diferentes dimensões de núcleos de ferrite. A falta de equipamentos adequados gerou múltiplos desafios, sendo o mais difícil a fase de enrolamento das bobinas. Para o transformador elevador projetado, o número de espiras no secundário ficou entre 2000 e 2500, para os dois transformadores respectivamente. A montagem manual foi feita por alunos e professores e exige paciência, atenção e delicadeza. O processo gera fadiga e, possivelmente erros, uma vez que a atenção deve ser redobrada por se tratar de um fio de cobre 42 AWG, de 0,06 mm de diâmetro, que pode romper facilmente durante o enrolamento. Todo esse processo poderia ser mais rápido e preciso com uma bobinadeira manual ou automática, como também outros equipamentos que auxiliam na montagem.

Dessa forma, uma bancada voltada para o projeto de transformadores em laboratório seria de grande proveito não apenas para os projetos P&D+I, como também para toda universidade no geral, sendo possível cada vez mais a qualificação dos alunos por meio de aulas práticas.

Figura 3 – Transformadores de ferrite, para altas frequências, fabricados manualmente.



Fonte: Dos autores.

4 BANCADA/LABORATÓRIO PARA PROJETO DE TRANSFORMADORES

A bancada aqui proposta foi dimensionada para uma turma de 20 a 25 alunos, divididos em 5 grupos. Essa bancada seria constituída de núcleos para transformador de diferentes materiais e tamanhos, carretéis para o enrolamento, fios de cobre esmaltado de várias espessuras, fitas para blindagem e uma máquina para bobinar (bobinadeira) para facilitar o enrolamento dos fios no núcleo, como a indicada na Figura 4. Materiais como a máquina para bobinar e os diferentes tipos de núcleos, podem ser utilizados diversas vezes. Já os fios para os enrolamentos e fitas, dificilmente poderão ser reaproveitados e precisarão ser repostos periodicamente. Os materiais de uso único, propostos para a bancada dimensionada nesse artigo, são suficientes para dois semestres de uma disciplina ofertada em apenas um turno. Para outras situações, o orçamento deve ser recalculado. Além disso, caso seja necessário a confecção, nesse laboratório, de transformadores para uso em pesquisas (Iniciação Científica, Mestrado, P&D+I), os materiais necessários devem ser adquiridos de acordo com a demanda.

Diversas atividades práticas deverão ser realizadas durante a disciplina, como por exemplo o projeto e a montagem de transformador monofásico, redutor de tensão, para fontes lineares com núcleo de ferro laminado; a confecção de transformadores para fontes chaveadas, para altas frequências, com núcleo de ferrite e a construção de indutores, com diferentes tipos de núcleos, e propriedades distintas.

Figura 4 – Bobinadeira manual com mandril e contador de giros.



Fonte: EPIDIOXI, 2023.

A Tabela 1, apresenta valores orçados em maio de 2024, para uma quantidade estimada de materiais a serem adquiridos, suficientes para a demanda de uma turma por 2 semestres. São núcleos de ferro e ferrite de diferentes tipos e tamanhos, como também fios de cobre esmaltado de diferentes diâmetros e tamanho de carretéis. Também foi previsto a compra de fitas adesivas de poliéster para isolamento e blindagem das bobinas, uma bobinadeira manual, e moldes para o encaixe dos carretéis na bobinadeira, necessários para a realização dos enrolamentos. Como alternativa a Tabela 1 também apresenta orçamentos para uma bancada mais completa, com equipamentos auxiliares para a montagem dos transformadores.

Na prática os alunos vão dimensionar os transformadores utilizando os núcleos de ferrite, lâminas de ferro e núcleos toroidais de ferro e ferrite. A quantidade de lâminas de ferro e fios para enrolamento dos transformadores depende das características elétricas necessárias de cada transformador. Os cálculos para saber a quantidade de condutores para os enrolamentos depende da potência do transformador, tensão de entrada e saída, área do núcleo e indutância mínima. É previsto que, durante as aulas práticas, cada grupo fique responsável pelo projeto de alguns transformadores e indutores. As características desses componentes (multiplicadas por 10, já que serão 5 equipes em 2 semestres) é que permitem estimar a quantidade de materiais a serem adquiridos.

Tabela 1 - Comparativo dos orçamentos dos materiais necessários para a elaboração de uma bancada simples ou uma com mais recursos.

	Bancada simplificada (em R\$)	Bancada completa (em R\$)
Núcleos de ferrite (16 tamanhos diferentes, 10 unid. de cada)	3100,00	3100,00
Lâminas para núcleos ferromagnéticos (10kg)	800,00	800,00
Núcleos toroidais (22 tamanhos diferentes, 10 unid. de cada)	1500,00	1500,00
Núcleos de ferrite para indutores (10 tamanhos diferentes, 10 unid. de cada)	200,00	200,00
Fios de cobre 8 AWG (20 kg)	3000,00	3000,00
Fios de cobre 18 AWG (20 kg)	3100,00	3100,00
Fios de cobre 28 AWG (10 kg)	1600,00	1600,00
Fios de cobre 40 AWG (10 kg)	2200,00	2200,00
Fita adesiva de poliéster para isolamento (240 m)	150,00	150,00
Carretéis (16 tamanhos diferentes, 10 unid. de cada)	1900,00	1900,00
5 Multímetros com medição de indutância	-	1400,00
2 Estações de solda	-	800,00
Ferramentas (kits de alicates)	-	300,00
Bobinadeira manual com moldes	450,00	-
Bobinadeira automática	-	3000,00
Total	18000,00	23050,00

Fonte: Autores.

Um transformador de núcleo de ferro, por exemplo, do tipo step-down (abaixador), de 220V para 12V e com potência de 500W, necessita no primário de um fio que suporte uma corrente na ordem de 2,3 A. Um fio 18 AWG (diâmetro de 0,75 mm²), que suporta uma corrente máxima de 11 A, atende a exigência. Já no secundário, a corrente fica em torno de 42 A, e um fio 8 AWG (diâmetro de 6 mm²), que suporta uma corrente máxima de 50 A

pode ser utilizado (COBRECUM, 2024). O número de espiras no primário e no secundário deve obedecer a relação de transformação e poderíamos ter, por exemplo, 550 espiras no primário e 30 no secundário. De acordo com informações do fabricante, 1 kg de fio 8 AWG equivale a, aproximadamente, 13,5 metros. O enrolamento do secundário desse transformador, calculado considerando as dimensões do núcleo chega a, aproximadamente, 16 metros. Assim seria necessário pouco mais de 1 kg de fio para cada grupo. Para termos folgas, o dimensionamento dos materiais foi sempre arredondado para mais. Dessa forma foram dimensionados os materiais da Tabela 1. Entre os outros transformadores previstos estão um transformador de ferrite, elevador de tensão, um com núcleo toroidal para elevar ou diminuir a tensão, e indutores de indutâncias diversas, o que determina o material necessário.

5 CONCLUSÕES

A disponibilidade de uma bancada em laboratório, dedicada ao projeto e dimensionamento de transformadores e indutores no âmbito do ensino superior de engenharia trará vantagens significativas para os alunos, professores e instituições de ensino, preparando-os de forma mais abrangente e eficaz para os desafios do mercado de trabalho e promovendo avanços na pesquisa e inovação na área de energia elétrica. A inclusão de conteúdos didáticos, sobre o projeto de transformadores e indutores para circuitos eletrônicos e de telecomunicações, nas disciplinas já existentes no Projeto Pedagógico dos cursos ou a oferta de uma disciplina eletiva com ementa dedicada a esse assunto será algo inovador, tomando como base a análise realizada nas ementas das disciplinas que abordam esse tema, nos principais cursos de Engenharia Elétrica do país.

O ensino desses conteúdos e a existência da bancada em laboratório apresenta vantagens não apenas para os alunos de graduação, mas também para as pesquisas desenvolvidas por alunos e professores da Universidade. O valor do Laboratório (R\$ 18.000,00) equivale a, aproximadamente, 5% das despesas do Governo de Pernambuco com Investimentos na Escola Politécnica da UPE em 2023, que foi de R\$ 383.045,64 de acordo com o Portal da Transparência do Estado de Pernambuco (<https://transparencia.pe.gov.br>), onde foram adotados os seguintes filtros: Despesas Gerais + Órgão Universidade de Pernambuco + Unidade Gestora Escola Politécnica de Pernambuco + Despesas de Capital + Investimentos + Empenhado. Nossa análise é que vale a pena. Outra opção é professores se unirem e submeterem o projeto do Laboratório, de forma fracionada, a Editais de Apoio à Vivência de Componentes Curriculares ou a Editais de Apoio a Inovação Pedagógica, existentes na Universidade, de forma que os financiamentos somados sejam suficientes para a montagem do Laboratório. Já a mudança das ementas das disciplinas, ou à inclusão de uma nova disciplina ao PPC, é necessário apenas o convencimento dos demais componentes do Colegiado Pleno do curso e alteração do PPC na época da Reforma Curricular.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Bill C. T. de; BÖES, Jeferson S. **Contribuição de aulas práticas no ensino/aprendizagem de técnicas construtivas: uma visão do aluno**. In: XLVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2019, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza. Disponível em: <https://tinyurl.com/3mdkjuf>. Acesso em: 01 maio 2024.

CASTRO, Giselle et al. **Transformadores, Laboratório Virtual de Física**, Universidade Federal do Ceará (UFC), Simulações Interativas para o Ensino de Física, Disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/transformadores>. Acesso em: 11 maio 2024.

COBRECOM, **Tabela Técnica do Eletricista**, São Paulo, Disponível em: <https://www.cobrec.com.br>, Acesso em: 21 de maio de 2024.

DOMCOIL. **Qual é a função do transformador de ferrite**. Disponível em: <https://encurtador.com.br/IDX36>. Acesso em: 24 abril 2024.

EPIDIOXI, **Coil Winding Machine**, Chine, july 2023, Disponível em: <https://encurtador.com.br/TmjfR>. Acesso em: 15/05/2024.

FEITOSA, Marcilio A. F. et al. **Contribuição dos projetos de P&D na modernização dos cursos de graduação - Relato de casos de sucesso na engenharia elétrica da UPE**. In: 51º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2023, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro.

GILI, Cleiton et al. **Aplicativo para cálculo físico de indutores com núcleo tipo “E” utilizando linguagem de alto nível**. In: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2012, Belém. **Anais**. Belém. Disponível em: <https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/7/artigos/104460.pdf>. Acesso em: 1 maio 2024.

ICOTRON. **Transformadores de ferrite para fontes switch-mode**. Boletim técnico informativo Icotron, 1983.

JORDÃO, R. G., **Transformadores**, 1a Edição, Editora Blucher, 2002.

NEWARK, **Inductors demystified: exploring their function and applications**, Disponível em: <https://www.newark.com/inductors-demystified-exploring-their-function-and-applications-trc-ar>, Acesso em: 01 maio 2024.

OLIVEIRA, J. C. et al. **Transformadores: Teoria e ensaios**, 2a Edição, Editora Blucher, 2018.

SILVA, João David Ferreira da. **Transformador para fonte de alta-tensão contínua**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica - Ramo de Automação e Eletrônica Industrial. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://tinyurl.com/mrx6te69>. Acesso em: 01 maio 2024.

SILVA, Wesley L. da et al. **A percepção dos estudantes do curso de licenciatura em ciências biológicas sobre a importância das aulas práticas na graduação**. In: IV Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 2019, Campina Grande. **Anais**. Campina Grande. Disponível em: <https://tinyurl.com/56xvnu8t>. Acesso em: 11 maio 2024.

SIMONE, G. A., **Transformadores: Teoria e exercícios**, Editora Érica - Sob Demanda; 1ª edição, 2010.

SOIKA, Yuri Wendhausen. **Desenvolvimento de uma fonte de alimentação com múltiplas saídas, para um barco movido a energia solar.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://tinyurl.com/4wk6k34e>. Acesso em: 01 maio 2024.

VIEIRA, S. R., KASCHNY, J. R. A., **Physika – Ciência, Tecnologia e Informação.** Instituto Federal da Bahia, Campus Vitória da Conquista, Disponível em <https://physika.info/site/index.php/utilidades>. Acesso em: 15 maio 2024.

PROPOSAL FOR A COURSE AND EDUCATIONAL LABORATORY FOR TRANSFORMER DESIGN PROJECTS AT THE UNIVERSITY OF PERNAMBUCO

Abstract: *The article proposes changes to the program of certain subjects that cover electrical transformers and inductors or the addition of a new elective course to the Electrical Engineering curriculum at the Polytechnic School of Pernambuco. It suggests establishing a dedicated workstation in an existing laboratory for the design and sizing of transformers and inductors. Implementing this workstation, even with a relatively small investment, would address the current gap in practical training for students by providing hands-on experience in related subjects. This workstation can also support research activities for both undergraduate and postgraduate students, as well as R&D&I projects. This work aims to raise awareness within the academic community about the necessity of investing in laboratory infrastructure. Furthermore, it discusses the materials required for constructing the workstation, the assembly and design parameters of transformers (using various core materials such as iron and ferrite), and the diverse applications of transformers and inductors. Emphasis is placed on circuits operating at high switching speeds, RF transmitters and receivers, and the specific considerations necessary for designing components for these applications. These points underscore the importance of this topic within an electrical engineering course. The lack of specialized laboratories and adequate practical classes is a common issue in many universities, negatively impacting the quality of education and students' professional development. Practical classes are essential for skill development but are often limited due to infrastructure and budget constraints. The creation of a well-equipped laboratory and the integration of practical content into existing subjects (or a new course) would significantly enhance the quality of engineering education. The investment required for the laboratory represents a small fraction of the government's overall investment in the institution. Moreover, this project can be funded through calls for proposals supporting pedagogical innovation. The proposal aims not only to improve student training but also to foster research and innovation in the field of electrical energy.*

Keywords: *Transformer Design, Curriculum Enhancement, Practical Training, Laboratory Infrastructure, Engineering Education.*

