



EXPERIMENTOS EM ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA AQUISIÇÃO DE COMPETÊNCIAS EM CURSOS DE ENGENHARIA: UM EXEMPLO EM GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6455

Autores: MARCELLA VALLES FELICIANO, GISELE MARIA RIBEIRO VIEIRA, NIVAL NUNES DE ALMEIDA

Resumo: O presente trabalho tem por objetivo contribuir com a implementação das Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia, por meio de práticas laboratoriais que favorecem o desenvolvimento de competências essenciais à formação do engenheiro. Esta proposta traz um problema concreto de engenharia, com abordagem interdisciplinar, articulando conhecimentos, habilidades e atitudes previstos nos Projetos Pedagógicos dos Cursos. Optou-se por abordar o ensino da energia fotovoltaica, que inclui a educação ambiental no tocante ao descarte de resíduos. A iniciativa envolve experimentos em laboratório e a realidade de uma usina fotovoltaica implementada no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Considerando a relevância dos sistemas fotovoltaicos para a geração sustentável de energia, destaca-se o desafio do descarte adequado de seus resíduos. O projeto impacta positivamente a formação acadêmica e a responsabilidade socioambiental dos futuros engenheiros.

Palavras-chave: diretrizes curriculares nacionais de engenharia, competências, energia solar

EXPERIMENTOS EM ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA AQUISIÇÃO DE COMPETÊNCIAS EM CURSOS DE ENGENHARIA: UM EXEMPLO EM GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

1 INTRODUÇÃO

As Diretrizes Curriculares Nacionais das Engenharias (DCN), atualizadas pela Resolução CNE/CES nº2, de 24 de abril de 2019, e alteradas em seu Art. 9º pela Resolução CNE/CES nº1, de 26 de março de 2021, estabelecem que os egressos dos cursos de Engenharia devem, ao longo de sua formação, desenvolver diversas competências gerais, a partir de conhecimentos, habilidades e atitudes adquiridas durante as disciplinas e atividades previstas no Projeto Pedagógico do Curso (PPC). No entanto, sua implementação ainda enfrenta desafios. Estratégias para superá-los incluem ações de sensibilização, programas de formação docente, bem como sistemas de monitoramento e avaliação dos cursos. A efetiva implementação das DCNs visa proporcionar uma formação abrangente e de qualidade aos futuros engenheiros. Este trabalho teve origem em um projeto de iniciação tecnológica que abordou a importância da temática das energias renováveis nos currículos de Engenharia, com ênfase na energia fotovoltaica.

Segundo a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), o Brasil é atualmente um dos maiores geradores de empregos em energias renováveis, com cerca de 1,6 milhão de vagas no setor, ficando atrás apenas da China (IRENA, 2024). Em 2018, a agência publicou um estudo com projeções até 2050. De acordo com o relatório, as fontes renováveis deverão compor 85% da matriz energética global até 2050. Para isso, será necessário acelerar, ao menos em seis vezes, a adoção de tecnologias limpas, com destaque para a geração solar e eólica. A energia solar fotovoltaica continua sendo o setor de maior crescimento, com mais de 7 milhões de empregos em 2023, representando quase metade da força de trabalho no setor de energia renovável. É necessário, contudo, atenção à gestão dos resíduos provenientes dessa geração, como a destinação adequada das placas fotovoltaicas pós-consumo.

Em 2024, o Brasil encerrou o ano entre os seis maiores geradores de energia solar do mundo, conforme a IRENA, e avança a cada ano rumo à liderança global no setor. Em março de 2025, o país atingiu 55 gigawatts (GW) de potência instalada em energia solar, somando usinas de grande porte (geração centralizada) e sistemas de menor porte (geração distribuída), segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2025). Assim, a fonte solar ocupa a segunda posição na matriz elétrica nacional, ficando atrás apenas da fonte hídrica, responsável por cerca de 50% da geração. A energia solar, por ser limpa e renovável, não emite poluentes nem gases de efeito estufa. Além disso, apresenta vantagens econômicas, como a redução dos custos operacionais após a instalação dos sistemas fotovoltaicos.

De acordo com os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2024), as quatro maiores fontes renováveis que compõem a matriz de energia elétrica brasileira em 2024 são: hídrica (55%), eólica (14,8%), biomassa (8,4%) e fotovoltaica (6,28%). Entre as fontes não renováveis, destacam-se o gás natural (9%), o petróleo (4%) e o carvão mineral (1,75%). Esse percentual atribuído à energia solar fotovoltaica considera apenas as usinas de geração centralizada conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), excluindo os sistemas de geração distribuída. O percentual da energia solar refere-se apenas às usinas conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), não incluindo os sistemas de geração distribuída, os quais elevam a energia solar à segunda maior fonte da matriz, superando 41 GW, ficando atrás apenas das hidrelétricas.

A abordagem deste tema — ainda pouco explorado no que diz respeito ao descarte dos resíduos envolvidos — contribui para a formação dos estudantes de Engenharia diante de problemas reais, permitindo a aquisição de conteúdos e competências em consonância com as exigências das DCNs. A inserção de temáticas pouco abordadas nos currículos, que demandam pesquisa para seu desenvolvimento e solução, favorece novas abordagens pedagógicas. Além disso, este projeto está alinhado ao Manual de Oslo (OCDE, 2004), por visar não apenas um novo produto ou serviço, mas uma inovação de processo — neste caso, a melhoria das práticas pedagógicas e da dinâmica ensino-aprendizagem. Por sua vez, a cultura da inovação, do empreendedorismo tecnológico e da sustentabilidade está presente em diversos artigos das DCNs, especialmente no Capítulo II - “Do Perfil e Competências Esperadas do Egresso”, onde se pode resumir acerca da formação dos estudantes:

Art. 3º O perfil do egresso do curso de graduação em Engenharia deve compreender, entre outras, as seguintes características:

(...)

II - estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora;

(...)

VI - atuar com isenção e comprometimento com a responsabilidade social e com o desenvolvimento sustentável.

(...)

Art. 4º O curso de graduação em Engenharia deve proporcionar aos seus egressos, ao longo da formação, as seguintes competências gerais:

(...)

IV - implantar, supervisionar e controlar as soluções de Engenharia:

(...)

d) projetar e desenvolver novas estruturas empreendedoras e soluções inovadoras para os problemas;

(...)

VIII - aprender de forma autônoma e lidar com situações e contextos complexos, atualizando-se em relação aos avanços da ciência, da tecnologia e aos desafios da inovação: a) ser capaz de assumir atitude investigativa e autônoma, com vistas à aprendizagem contínua, à produção de novos conhecimentos e ao desenvolvimento de novas tecnologias.

(...)

Art. 5º O desenvolvimento do perfil e das competências, estabelecidas para o egresso do curso de graduação em Engenharia, visam à atuação em campos da área e correlatos, em conformidade com o estabelecido no Projeto Pedagógico do Curso (PPC), podendo compreender uma ou mais das seguintes áreas de atuação:

I - atuação em todo o ciclo de vida e contexto do projeto de produtos (bens e serviços) e de seus componentes, sistemas e processos produtivos, inclusive inovando-os;

II - atuação em todo o ciclo de vida e contexto de empreendimentos, inclusive na sua gestão e manutenção; e

III - atuação na formação e atualização de futuros engenheiros e profissionais envolvidos em projetos de produtos (bens e serviços) e empreendimentos.

Dessa forma, torna-se fundamental inovar nas estratégias de ensino, visando à melhoria do binômio ensino-aprendizagem, por meio dos PPCs, aproveitando os ambientes educacionais das Instituições de Ensino Superior (IES), sejam laboratórios ou empreendimentos reais. A introdução de temas tecnológicos sem soluções consolidadas representa um desafio formativo, despertando o interesse dos estudantes em contribuir ativamente. Essa dinâmica extrapola a sala de aula, gerando conhecimentos relevantes sobre temáticas ainda pouco exploradas — como a destinação adequada das placas fotovoltaicas ao fim de sua vida útil. O estudo contribui para a formação de um novo perfil profissional, em consonância com os princípios das DCNs e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial:

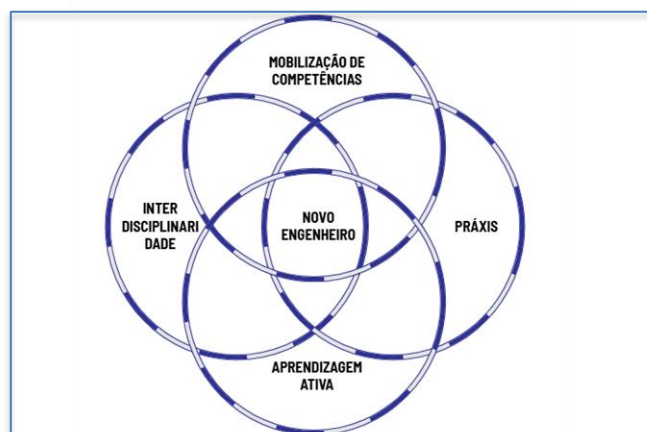
ODS 4 - Educação de Qualidade;
ODS 7 - Energia acessível e limpa;
ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura e
ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este estudo fundamenta-se nas Diretrizes Curriculares Nacionais das Engenharias (DCNs), atualizadas pela Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019, e alteradas em seu Art. 9º pela Resolução CNE/CES nº 1, de 26 de março de 2021. As DCNs estabelecem que os egressos dos cursos de Engenharia devem desenvolver, ao longo da graduação, diversas competências, com base em conhecimentos, habilidades e atitudes adquiridos nas disciplinas e atividades previstas no Projeto Pedagógico do Curso (PPC). Embora a noção de competências já estivesse presente na resolução anterior, o enfoque da nova versão é significativamente mais abrangente.

De forma geral, todas as atividades previstas no PPC devem estar alinhadas ao desenvolvimento das competências esperadas para o perfil do egresso. As novas diretrizes definem um perfil voltado à sólida formação técnica e à aquisição de competências, permitindo que cada instituição tenha flexibilidade para atingi-las conforme seu projeto pedagógico. O ensino passa a ser centrado no estudante e não mais no professor, e o currículo, antes focado no conteúdo, prioriza o desenvolvimento de habilidades e competências. Martins e Lima (2023) sintetizam os conceitos-chave das DCNs de Engenharia na Figura 1:

Figura 1 – Esquema de formação de engenheiros a partir dos conceitos-chave das DCNs.



Fonte: Martins e Lima (2023)

A implementação das DCNs tem sido amplamente debatida, especialmente no que se refere às adequações necessárias nos currículos dos cursos de Engenharia. Telles (2023) destaca que a formação “generalista” prevista na Resolução CNE/CES nº 11, de 11 de março de 2002, foi substituída por uma abordagem “holística” nas diretrizes atuais. Enquanto as DCNs anteriores priorizavam uma visão ampla das atribuições do engenheiro, a nova versão enfatiza a compreensão sistêmica e inter-relacional da prática profissional.

Segundo Botelho et al. (2020), o modelo de ensino por competências, defendido nas novas DCNs, permite formar engenheiros criativos, inovadores e socialmente responsáveis, valorizando a experiência prática como elemento central da aprendizagem. Garbin e Kampff (2022) reforçam a importância da adoção de metodologias ativas e tecnologias digitais

no ensino de Engenharia, como forma de promover o desenvolvimento de competências e superar o modelo tradicional de ensino centrado na transmissão de conhecimento.

3 METODOLOGIA

O presente projeto teve como objetivo abordar uma inovação tecnológica no ensino da energia fotovoltaica, que inclui a educação ambiental no tocante ao descarte de resíduos decorrentes dessa fonte de energia renovável. Nesse sentido, a metodologia utilizada foi a pesquisa documental e exploratória.

A iniciativa contemplou a análise de disciplinas ofertadas nos cursos de Engenharia da Instituição, face as Diretrizes Curriculares Nacionais das Engenharias e a realidade de uma usina fotovoltaica implementada. O conteúdo referente ao tema proposto foi levantado a partir de buscas na plataforma de periódicos, no catálogo de dissertações e teses da Capes, em legislações disponíveis em sítios governamentais e em visitas a portais de centros nacionais e internacionais da área de energias renováveis.

Para aprofundar a compreensão acerca do funcionamento de uma usina solar fotovoltaica e dos processos relacionados ao descarte de seus resíduos, foram utilizados dois ambientes experimentais. O primeiro foi o laboratório de energia/transferência de calor do curso de Engenharia Mecânica, localizado na unidade-sede do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, que dispõe de uma Estação de Estudos em Energias Renováveis. Entre os equipamentos disponíveis, destacam-se dois módulos fotovoltaicos, que possibilitaram o estudo do funcionamento das placas solares, do ciclo de vida dos módulos e das alternativas para o descarte adequado dos resíduos. O segundo ambiente de estudo foi a própria usina fotovoltaica instalada na Instituição. A familiarização com o sistema simplificado em laboratório favoreceu a compreensão da estrutura mais complexa e integrada da usina, permitindo uma análise entre os dois contextos.

4 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

A Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019, torna obrigatória a realização de atividades de laboratório que contribuam para o desenvolvimento de competências gerais e específicas, sendo necessário que o enfoque e a intensidade dessas atividades estejam alinhados com a habilitação ou a ênfase do curso. Ao longo da formação em Engenharia, é essencial que o estudante vivencie situações práticas semelhantes às que enfrentará no exercício profissional, não apenas para desenvolver as competências exigidas, mas também para estar preparado para lidar com imprevistos inerentes à prática da profissão.

Nesse contexto, e em consonância com a referida Resolução, as disciplinas que envolvem atividades laboratoriais buscam atender às exigências da formação do engenheiro, promovendo o desenvolvimento tanto teórico quanto pessoal, especialmente nos aspectos de engajamento, proatividade e planejamento voltados à resolução de problemas. Esta proposta contribui para o desenvolvimento educacional do estudante ao incorporar um problema real de Engenharia, abordado de forma interdisciplinar e articulado aos conhecimentos, habilidades e atitudes previstas no Projeto Pedagógico do Curso (PPC). Essa investigação é fundamental para responder às crescentes demandas energéticas enfrentadas nos cursos de Engenharia, bem como para o fortalecimento das competências dos egressos em atividades relacionadas ao uso e à gestão de fontes renováveis de energia.

Para subsidiar a compreensão do funcionamento de uma usina solar fotovoltaica e do descarte adequado dos resíduos gerados, foram utilizados dois ambientes experimentais. O primeiro foi o laboratório de energia/transferência de calor do curso de Engenharia Mecânica da unidade-sede da Instituição, o qual dispõe de uma Estação de Estudos em Energias

Renováveis e Hidrogênio. Entre os equipamentos disponíveis, destacam-se dois módulos de painéis solares, que possibilitaram a investigação do funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, do ciclo de vida dos módulos e das formas apropriadas de descarte. O segundo ambiente foi a usina fotovoltaica instalada na própria Instituição. O conhecimento prévio adquirido no laboratório, com sistemas mais simplificados, facilitou a compreensão do funcionamento da usina, cuja estrutura apresenta maior complexidade.

5 EXPERIMENTOS

Os experimentos realizados no âmbito das atividades de laboratório demonstram como as atividades práticas experimentais contribuem para a formação do engenheiro no enfrentamento de problemas do dia a dia do mundo do trabalho. Para a realização dos experimentos foi utilizada uma Estação de Estudos em Energias Renováveis e Hidrogênio (Rio Link, 2012). Essa Estação conta com três sistemas: fotovoltaico, eólico e de células a combustível H₂. O foco deste trabalho é o sistema fotovoltaico; os demais sistemas são mencionados apenas quando houver interação direta com ele.

O sistema fotovoltaico da Estação de Estudos em Energias Renováveis e Hidrogênio é composto por dois módulos solares fotovoltaicos com potência nominal de 20Wp, um controlador de carga que gerencia o carregamento das baterias, componentes de controle e monitoramento (fusível, amperímetro e chave), um inversor de corrente contínua para corrente alternada (12Vcc/110Vca), além de cargas em corrente contínua (lâmpadas LED, motor e eletrolisador) e corrente alternada (lâmpadas LED 110Vca). Alguns componentes são compartilhados com o módulo de sistemas de células a combustível e de energia eólica.

Os módulos solares fotovoltaicos podem ser conectados em série ou em paralelo, dependendo da atividade proposta. Quando se utiliza o inversor, a conexão deve ser feita em paralelo. Isso vale para o banco de baterias, que, nesse caso, opera em 12 volts. Para simular a luz solar utiliza-se um tripé com refletor e lâmpada de 1000 watts e, para o vento, um aerogerador. Os módulos devem ser conectados ao circuito de controle e ajustados à tensão das baterias.

Na conexão em série dos módulos fotovoltaicos, a tensão de saída corresponde à soma das tensões individuais de cada módulo, mantendo-se a corrente. Esse arranjo é ideal para aplicações que exigem maior tensão, como a ligação de dois módulos de 12 volts para fornecer 24Vcc. Já na ligação em paralelo, a tensão permanece constante (igual à de um módulo), enquanto as correntes se somam, sendo essa configuração recomendada para situações em que se demanda maior corrente contínua.

As atividades de laboratório indicadas no Quadro 1 visam explorar a tecnologia dos módulos solares fotovoltaicos para a geração de eletricidade a partir da energia solar, considerada uma fonte limpa e renovável. A compreensão desse processo capacita os estudantes a entender o funcionamento de uma usina solar — realidade já presente em muitas instituições de ensino — e os prepara, posteriormente, para investigar a questão do descarte adequado dos resíduos gerados ao longo do ciclo de vida dos módulos.

Quadro 1 – Práticas de Laboratório

Atividade 1: Testes Iniciais dos Módulos Solares Fotovoltaicos.
Objetivos: Teste de tensão de saída de cada módulo solar fotovoltaico.
Atividade 2: Preparação dos Componentes do Circuito de Controle do Sistema Fotovoltaico.
Objetivos: Montagem do circuito básico de controle e monitoramento do sistema solar fotovoltaico não interligado à rede (off grid).
Atividade 3: Influência do Ângulo de Incidência do Sol no Desempenho do Módulo Solar Fotovoltaico.
Objetivos: Determinar as tensões de saída do módulo solar fotovoltaico a partir de diferentes ângulos de incidência dos raios solares ou da fonte de luz artificial.

Atividade 4: Influência do Sombreamento no Desempenho do Módulo Solar Fotovoltaico.
Objetivos: Determinar as tensões de saída do módulo solar fotovoltaico a partir de sombras pontuais e sobre todo o painel solar.
Atividade 5: Influência do Calor no Desempenho do Módulo Solar Fotovoltaico.
Objetivos: Determinar as tensões de saída do módulo solar fotovoltaico a partir das variações de temperatura nos módulos solares fotovoltaicos.
Atividade 6: Configuração das baterias
Objetivos: Determinar as tensões de saída para cada configuração do conjunto de baterias.
Atividade 7: Sistema Fotovoltaico com Controle de Carga.
Objetivos: Montagem das ligações do sistema fotovoltaico ao banco de baterias, incluindo o controlador de carga da Estação de Estudos em Energias Renováveis e Hidrogênio.
Atividade 8: Ligação do Sistema Fotovoltaico à Carga Em Corrente Contínua 12Vcc.
Objetivos: Fornecer energia para cargas em corrente contínua de 12Vcc a partir do sistema fotovoltaico.
Atividade 9: Ligação do Sistema Fotovoltaico à Carga Em Corrente Alternada.
Objetivos: Fornecer energia para uma carga em corrente alternada a partir do sistema fotovoltaico.
Atividade 10: Curva Característica de um Módulo Solar Fotovoltaico.
Objetivos: Obter e interpretar a curva característica de um módulo solar fotovoltaico. Determinar a tensão de circuito aberto e a corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico.
Atividade 11: Curva Característica de Dois Módulos Fotovoltaicos Conectados em Série.
Objetivos: Obter e interpretar a curva de polarização das células a combustível de dois módulos associados em série. Determinar a tensão de circuito aberto e a corrente de curto-circuito da associação de módulos fotovoltaicos.
Atividade 12: Curva característica de dois módulos fotovoltaicos conectados em paralelo.
Objetivos: Obter e interpretar a curva de polarização das células a combustível de dois módulos associados em paralelo. Determinar a tensão de circuito aberto e a corrente de curto-circuito da associação de módulos fotovoltaicos.

Fonte: Rio Link, 2012.

6 COMPETÊNCIAS

A Resolução CNE/CES nº2, de 24 de abril de 2019, estabelece que o curso deve proporcionar aos egressos as seguintes competências gerais descritas no Quadro 2, as quais, no escopo do presente trabalho, possuem estreita relação com as práticas laboratoriais:

Quadro 2 – Competências Gerais

Competências
C1) Formular e conceber soluções desejáveis de Engenharia, analisando e compreendendo os usuários dessas soluções e seu contexto.
C2) Analisar e compreender os fenômenos físicos e químicos por meio de modelos simbólicos, físicos e outros, verificados e validados por experimentação.
C3) Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos (bens e serviços), componentes ou processos.
C4) Implantar, supervisionar e controlar as soluções de Engenharia.
C5) Comunicar-se eficazmente nas formas escrita, oral e gráfica.
C6) Trabalhar e liderar equipes multidisciplinares.
C7) Conhecer e aplicar com ética a legislação e os atos normativos no âmbito do exercício da profissão.
C8) Aprender de forma autônoma e lidar com situações e contextos complexos, atualizando-se em relação aos avanços da ciência, da tecnologia e aos desafios da inovação.

Fonte: Brasil, 2019.

Durante o período de formação, é essencial que o aluno de Engenharia entre em contato com situações práticas semelhantes àquelas que enfrentará em sua futura atuação profissional, não apenas para atender às competências que lhe serão exigidas, mas também para estar apto a lidar com imprevistos inevitáveis.

Nesse sentido, em consonância com a Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019, as disciplinas que envolvem atividades de laboratório buscam atender às exigências e necessidades da formação do engenheiro, possibilitando a capacitação tanto teórica quanto

pessoal, no que se refere ao engajamento, à proatividade e ao planejamento frente à resolução de problemas.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entende-se que os experimentos propostos forneceram a base necessária para que os estudantes compreendessem o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos. Com a visita à usina solar, foram capazes de compreender a importância do descarte adequado dos resíduos resultantes deste processo. Nesse contexto, destaca-se o relatório da Agência Internacional de Energias Renováveis – IRENA (2016), que apresenta projeções globais sobre os volumes futuros de resíduos de painéis fotovoltaicos até 2050. Estima-se uma geração anual de cerca de 60 milhões de toneladas no caso de perdas precoces, e outros 78 milhões de toneladas decorrentes da substituição regular após 30 anos de uso, totalizando aproximadamente 138 milhões de toneladas por ano.

Diversos estudos relevantes contribuem para aprofundar a discussão sobre os impactos e as alternativas relacionadas ao descarte de resíduos fotovoltaicos. Goes et al. (2023) analisam de que maneira os resíduos de painéis solares afetam a saúde humana e o meio ambiente, propondo medidas que promovam uma gestão mais eficaz, com foco na mitigação dos impactos socioambientais. Pedroso et al. (2023) destacam a urgência na implementação de novas políticas globais, fundamentais para o planejamento sustentável da expansão da energia solar, a fim de evitar sérios problemas econômicos e ambientais causados pelo descarte inadequado desses materiais.

Sinha e Kumar (2020), em uma revisão da literatura, discutem os impactos ambientais e apontam possíveis soluções para a gestão de resíduos de usinas solares. Os autores também contribuem para o debate sobre regulamentações e práticas sustentáveis, alertando que o descarte inadequado de resíduos pode causar sérios danos ambientais, como a contaminação do solo e dos recursos hídricos. Já Oliveira e Almeida (2021) abordam a reciclagem de resíduos de módulos solares no Brasil, identificando os principais obstáculos e as oportunidades para a implementação de sistemas de reciclagem. Os autores destacam que esse campo ainda é emergente no país, exigindo superação de desafios regulatórios e tecnológicos para garantir maior sustentabilidade ambiental.

Os resultados deste trabalho confirmam que a metodologia adotada contribui significativamente para o aprimoramento da formação dos estudantes no tema das energias renováveis, fortalecendo os Projetos Pedagógicos dos Cursos de Engenharia da Instituição. O projeto apresenta impacto expressivo tanto na qualificação acadêmica quanto na formação de uma consciência socioambiental dos futuros egressos, possibilitando a abordagem do tema em disciplinas comuns, como Introdução à Engenharia e Educação Ambiental, bem como de forma mais aprofundada em disciplinas específicas dos cursos de Engenharia Mecânica, Engenharia Civil, Engenharia Elétrica e Engenharia Ambiental.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente projeto teve como objetivo abordar uma inovação tecnológica no ensino da energia fotovoltaica, que inclui a educação ambiental no que se refere ao descarte de resíduos provenientes dessa fonte de energia renovável. A iniciativa contemplou a análise de disciplinas ofertadas nos cursos de Engenharia da Instituição, à luz das Diretrizes Curriculares Nacionais das Engenharias e da realidade de uma usina fotovoltaica implementada. O conteúdo referente ao tema proposto foi levantado a partir de buscas em plataformas de periódicos, no catálogo de dissertações e teses da Capes, em legislações em sítios governamentais e em portais de centros nacionais e internacionais voltados à área de energias renováveis.

Para a compreensão do funcionamento de uma usina solar fotovoltaica e o descarte dos resíduos envolvidos foram utilizados dois ambientes experimentais. O primeiro foi o laboratório de energia/transferência de calor do curso de Engenharia Mecânica da unidade-sede da Instituição, que dispõe de uma Estação de Estudos em Energias Renováveis e Hidrogênio e, entre outros equipamentos, conta com dois painéis solares. Esses recursos permitiram o estudo do funcionamento dos módulos, de seu ciclo de vida e do descarte adequado de resíduos. O segundo ambiente foi uma usina solar fotovoltaica instalada na própria Instituição. A familiaridade com o sistema mais simples, disponível no laboratório, possibilitou uma melhor compreensão do funcionamento da usina, cuja configuração é significativamente mais complexa.

Nesse contexto, esta proposta contribui para o desenvolvimento educacional dos estudantes ao abordar um problema concreto de Engenharia, de forma interdisciplinar — envolvendo ciências básicas, aplicadas, aspectos tecnológicos e de gestão — articulando-se aos conhecimentos, habilidades e atitudes previstos no Projeto Pedagógico do Curso. Esta investigação é essencial para atender às crescentes demandas relacionadas à questão energética nos cursos de Engenharia, diante do avanço tecnológico observado nos últimos anos, além de preparar os estudantes para lidar com competências associadas ao uso e descarte de resíduos tanto em ambiente educacional, quanto no início de suas trajetórias profissionais, promovendo sua educação continuada. O projeto apresenta impacto significativo na formação acadêmica e na responsabilidade socioambiental dos futuros egressos dos cursos de Engenharia da Instituição, os quais atuarão nas mais diversas áreas do setor industrial e de serviços.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) pela concessão da bolsa de estudo proveniente do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – INOVA.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). Brasil atinge 55 gigawatts (GW) de potência instalada da fonte solar. Março de 2025. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-e-6o-colocado-no-ranking-global-de-energia-solar-de-2024>. Acesso em: 10 jun. 2025.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW. [S. l.], 7 mar. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BOTELHO, V. B.; MATTASOGLIO NETO, O.; LIMA, J. S. B. Comparação entre as competências do Grand Challenges Scholars Program e das DCNs do curso de graduação em engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 48., 2020, Brasília. Anais. Brasília: Abenge, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 80, 26 abr. 2019a. Seção 1. P. 43-44. Disponível em: <http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolu%C3%87%C3%83o-n%C2%BA-2-de-24-de-abril-de-2019-85344528>. Acesso em: 06/08/2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Resolução CNE/CES nº 1, de 26 de março de 2021. Altera o Art. 9º, § 1º da Resolução CNE/CES 2/2019 e o Art. 6º, § 1º da Resolução CNE/CES 2/2010, que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=175301-rces001-21&category_slug=marco-2021-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 06/08/2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Resolução CNE/CES nº 11, de 11 de março de 2002. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 abr. 2002. Seção 1. P. 32. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>. Acesso em: 06/08/2024.

de OLIVEIRA, J. M. M.; de ALMEIDA, A. (2021). Recycling of photovoltaic panels: A Brazilian perspective. Waste Management, 120, 1-10. doi:10.1016/j.wasman. 2020.11.014.

GARBIN, F. G de B.; KAMPFF, J. C. A. Novas Diretrizes Curriculares Nacionais das Engenharias e as Metodologias Ativas: potenciais do uso de aprendizagem baseada em projetos. In: VIESBA, E.; ROSALEN, M. (Org.). Metodologias Ativas: aprendizagem baseada em projetos. 1ed.Diadema: V&V Editora, 2022, v. 1, p. 166-179.

GÓES, P. F.; DE SOUSA FILHO, C. L.; SOUZA, D. DE A.; FERREIRA, E.; LOPES, V. A. J., SILVA; M. S.; DE ALBUQUERQUE, ÉDLER L.; TANIMOTO, A. H. (2023). Resíduos de painéis solares fotovoltaicos: uma revisão dos impactos ambientais e toxicológicos. Revista de Gestão e Secretariado, 14(8), 12528–12553. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i8.2553>.

IRENA – International Renewable Energy Agency. End-of-Life Management Solar Photovoltaic Panels. IRENA and IEA-PVPS; 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305331245_IRENA_andIEA_PVPS_2016_-_End-of-Life_Management_Solar_Photovoltaic_Panels. Acesso em: 06/08/2024.

IRENA–International Renewable Energy Agency. Global Energy Transformation: A roadmap to 2050. Disponível em: http://aprobio.com.br/novosite/wpcontent/uploads/2018/04/Relatorio_Irena_2018_190418.pdf Acesso em: 06/08/2024.

IRENA – International Renewable Energy Agency. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2024. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2024/Oct/Renewable-energy-and-jobs-Annual-review-2024>. Acesso em: 10/03/2025.

MARTINS, R. X.; LIMA, F. P. M. Diretrizes curriculares para engenharia: oportunidades e desafios. Vértice Técnica, Belo Horizonte, MG, p. 64-76, 2023. http://www.crea-mg.org.br/sites/default/files/publicacao/2023-10/diretrizes-curriculares-para-engenharia-oportunidades-e-desafios_organized.pdf

OCDE. Manual de Oslo: diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. FINEP, 2004. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5406>. Acesso em: 06/08/2024.

PEDROSO, R. N. S.; SANTOS, L. R. DOS; PIRES, R. C. S. (2023). Um Futuro Problema Com o Descarte de Painéis Solares. Epitaya E-Books, 1(32), 204-213. <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2023724p204>

RIO LINK. Estação de Estudos em Energias Renováveis e Hidrogênio: Sistema de energia solar fotovoltaica. Rio de Janeiro: Rio Link, 2012.

SINHA, S. M. K. K.; KUMAR, A. (2020). Environmental impacts of solar photovoltaic waste: A review. Journal of Cleaner Production, 258, 120-130. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120130

TELLES, F. Um olhar sobre as mudanças e os desafios para a implementação das Diretrizes Curriculares Nacionais de 2019 nos cursos de engenharia. Revista Thema, Pelotas, v. 22, n. 2, p. 565–583, 2023. DOI: 10.15536/thema.V22.2023.565-583.2988.

EXPERIMENTS IN RENEWABLE ENERGY FOR COMPETENCE DEVELOPMENT IN ENGINEERING PROGRAMS: AN EXAMPLE IN PHOTOVOLTAIC GENERATION

Abstract: *This work aims to contribute to the implementation of the National Curriculum Guidelines for Engineering Programs through laboratory practices that promote the development of essential competencies in engineering education. In this context, the proposal introduces a real-world engineering problem, approached in an interdisciplinary manner, integrating knowledge, skills, and attitudes as outlined in the Pedagogical Course Projects. The focus is on teaching photovoltaic energy, including environmental education regarding the disposal of waste generated by this renewable source. The initiative involves laboratory experiments and the analysis of a photovoltaic power plant implemented at the Federal Center for Technological Education Celso Suckow da Fonseca. Given the importance of photovoltaic systems for sustainable energy generation, proper waste disposal emerges as a significant challenge. This project has a positive impact on both the academic development and the socio-environmental responsibility of future engineering graduates.*

Keywords: *national curriculum guidelines for engineering, competences, solar energy, waste disposal.*

