



Análise Exergética como eixo integrador em grades Curriculares do curso de Engenharia de energia

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6312

Autores: SUZANA SANTOS SANTANA

Resumo: *Este estudo investiga a integração da Análise Exergética nos currículos de Engenharia de Energia em nove universidades brasileiras, destacando sua importância para a eficiência energética e sustentabilidade industrial. Por meio de análise documental e uma atividade prática baseada em um estudo de caso de turbina a gás, o estudo revelou disparidades na abordagem do tema, desde disciplinas específicas até a ausência total de conteúdos práticos. O feedback dos alunos mostrou que a metodologia adotada foi eficaz, mas apontou a necessidade de maior contextualização com desafios industriais e materiais de apoio mais robustos. Como recomendações, sugere-se a criação de disciplinas dedicadas, parcerias com a indústria e o uso de dados reais para enriquecer o aprendizado.*

Palavras-chave: *Análise exergética, Eficiência energética, Engenharia de Energia*

Análise Exergética como eixo integrador em grades Curriculares do curso de Engenharia de energia

1 INTRODUÇÃO

A busca por eficiência energética e sustentabilidade tem se tornado um pilar estratégico no setor industrial, especialmente em sistemas de geração de energia, onde turbinas a gás respondem por cerca de 23% da capacidade global (IEA, 2022). No entanto, a eficiência térmica desses sistemas frequentemente não ultrapassa 30% (Kabeyi & Olanrewaju, 2021), com perdas significativas associadas a irreversibilidades termodinâmicas, como calor residual nos gases de exaustão (74,6% da energia do combustível) e limitações materiais.

Nesse contexto, a Análise Exergética emerge como ferramenta indispensável para quantificar e mitigar tais perdas. A aplicação dessa metodologia, porém, exige profissionais capacitados, destacando a urgência de sua integração nos currículos de Engenharia de Energia como competência transversal. Além disso, o atual plano de ensino nos cursos ainda prioriza, em 72% das disciplinas, conteúdos teóricos dissociados de aplicações práticas, conforme evidenciado no relatório ABENGE 50 Anos (2024). Pode-se observar um ponto de melhoria para disciplinas que integrem a Análise Exergética a desafios industriais reais, como otimização de sistemas termodinâmicos ou redução de perdas energéticas, temas relevantes para um setor que desperdiça até 40% da energia primária em processos industriais (EPE, 2023).

O mesmo estudo da ABENGE (2024, Cap. 2) aponta que apenas 18% das universidades brasileiras incluíram metodologias ativas vinculadas a problemas reais da indústria em suas grades, reforçando a desconexão entre formação acadêmica e demandas do mercado. Diante desse cenário, a hipótese central deste artigo é que a integração transversal da exergia, articulando-a a projetos aplicados, como a análise de turbinas a gás ou eficiência em plantas termelétricas, pode elevar a qualidade da formação profissional, preparando engenheiros para reduzir custos operacionais e impactos ambientais, alinhando-se às diretrizes das novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) (ABENGE, 2024, Cap. 5).

Para isso, este estudo irá analisar como o ensino de Análise Exergética está incorporado nas grades curriculares de oito universidades brasileiras de referência em Engenharia de Energia, propondo um modelo de atividade prática que proporcione uma relação mais satisfatória entre teoria e aplicação industrial. Esse procedimento irá mapear instituições públicas e privadas de diferentes regiões do país, selecionadas com base diferentes critérios. Como exemplo didático central, será adaptado o estudo de caso da turbina a gás de 30 MW (Kabeyi & Olanrewaju, 2021), transformando-o em uma atividade prática que simula desafios reais de eficiência energética, como a análise de perdas exergética em ciclos termodinâmicos. A escolha por focar exclusivamente em instituições nacionais justifica-se pela necessidade de diagnosticar os desafios específicos do contexto brasileiro, onde a integração entre exergia e problemas industriais pode ser aprimorada (ABENGE, 2024).

Por fim, este trabalho oferece três contribuições principais para o avanço do ensino em Engenharia de Energia, a primeira sendo a apresentação de um diagnóstico da integração da Análise Exergética nos currículos brasileiros. Em segundo, o desenvolvimento de um modelo pedagógico aplicado, centrado no estudo de caso da turbina a gás, que permite aos estudantes relacionar os conceitos teóricos com indicadores de eficiência industrial.

Além de formulações e recomendações curriculares específicas, incluindo a criação de uma disciplina obrigatória de Exergia Aplicada, a integração de estudos de caso em

termodinâmicas básicas, e parcerias com empresas para desenvolvimento de projetos reais. A seção de metodologia detalha os critérios e instrumentos utilizados nesta análise abrangente.

2 METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem mista, combinando análise documental e desenvolvimento de atividades práticas, para avaliar como a Análise Exergética está inserida nas grades curriculares de cursos de Engenharia de Energia no Brasil. Diante disso, a metodologia foi estruturada em três etapas principais: (1) seleção criteriosa de 9 universidades brasileiras; (2) análise detalhada de projetos pedagógicos, ementas e planos de ensino para mapear a presença e abordagem da exergia nos currículos; e (3) desenvolvimento e validação de uma atividade prática baseada no estudo de caso de uma turbina a gás, adaptado para fins didáticos.

Na primeira etapa foram selecionadas instituições de ensino superior brasileiras para análise, seguindo critérios que garantissem uma amostra representativa e qualificada. Esses critérios são definidos por três aspectos fundamentais:

- Representatividade Institucional, incluindo cinco universidades federais, duas estaduais e uma privada de excelência reconhecida pelo MEC;
- Capacidade de Inovação Curricular, priorizando instituições com projetos pedagógicos inovadores aprovados pelo MEC nos últimos cinco anos, especialmente aquelas que já implementaram as novas Diretrizes Curriculares Nacionais para Engenharia;
- Infraestrutura Laboratorial, com foco em universidades que dispõem de laboratórios especializados em termodinâmica avançada e análise de sistemas energéticos.

Para validar essas informações, cruzaram-se dados oficiais do INEP com documentos institucionais disponíveis nos sites das universidades, considerando o período de 2015 a 2023. Essa abordagem permitiu captar diferentes modelos de inserção da análise exergética nos currículos, desde disciplinas específicas até abordagens integradas em projetos interdisciplinares, proporcionando uma visão abrangente do cenário atual no país.

Já a segunda etapa foi conduzida através de um processo metodológico que envolveu o exame de três tipos de documentos fundamentais: os Projetos Pedagógicos de Curso (PPCs), que forneceram a estrutura macro dos programas de ensino; as ementas disciplinares, que detalharam os conteúdos programáticos; e os planos de ensino, que especificaram as metodologias e atividades práticas adotadas. Esta análise foi estruturada segundo a metodologia de análise de conteúdo de Bardin (2011), complementada pelo modelo de análise de integração curricular proposto por Lattuca et al. (2017), permitindo a criação de um sistema de categorização detalhado que avaliou:

- a presença explícita da exergia como disciplina autônoma (identificada em cursos como "Análise Exergética Aplicada" ou "Termodinâmica Avançada");
- a integração transversal dos conceitos exergéticos em outras disciplinas do núcleo de energia (como em módulos específicos de Termodinâmica, Sistemas Energéticos ou em projetos interdisciplinares);
- a abordagem prática desses conceitos (através de atividades laboratoriais com equipamentos específicos, simulações computacionais utilizando softwares como Engineering Equation Solver (EES), e estudos de caso baseados em problemas reais da indústria energética).

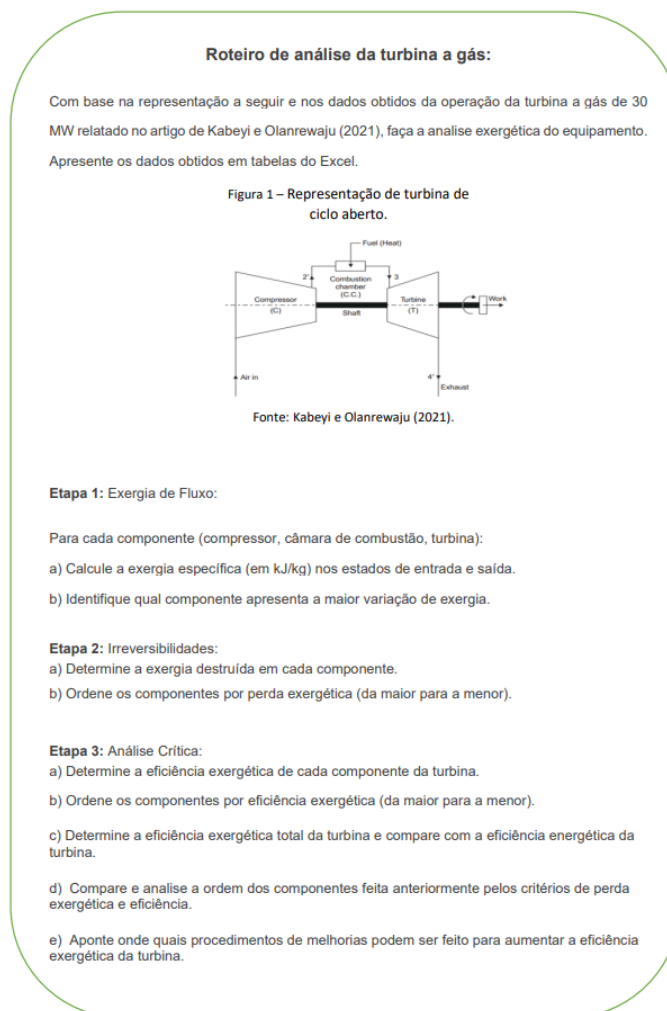
Esse procedimento foi realizado por meio da coleta de informações através de múltiplas fontes: acesso direto aos sistemas acadêmicos digitais das instituições como o Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA) e sites oficiais. Logo após, foi feita uma análise crítica de relatórios institucionais e publicações recentes da ABENGE (2022-

2023), as quais forneceram diferentes perspectivas sobre as inovações curriculares implementadas nos últimos anos. Esta abordagem permitiu não apenas mapear a presença formal da exergia nos currículos, mas também avaliar a profundidade e a aplicabilidade do seu ensino nas diferentes instituições.

Por fim, a terceira etapa consistiu no desenvolvimento e validação de uma atividade prática baseada no estudo de caso, a qual essa atividade aplicada se iniciou com o processo da Modelagem Termodinâmica, onde o aluno foi direcionado a analisar o processo e os equipamentos que compõe a turbina a gás industrial de 30 MW (Kabeyi & Olanrewaju, 2021). Essa modelagem deveria ser executada utilizando o software EES para simular o ciclo Brayton real, afim de desenvolver cálculos de irreversibilidades em cada componente da turbina (compressão, combustão e expansão).

No procedimento seguinte foi disponibilizado ao docente o seguinte roteiro de exercícios progressivos de cálculo e análise das perdas exérgica, cálculo de eficiência exérgica e propostas de otimização, como evidenciado abaixo:

Figura 1 – Roteiro da análise exérgica.



Fonte: Autoral.

Como etapa final do desenvolvimento, a atividade prática foi submetida a um processo de validação didática com 20 estudantes de Engenharia de Energia em uma universidade-piloto, utilizando análises individuais para avaliar a aquisição de competências específicas. Os participantes realizaram os exercícios propostos no roteiro, enquanto seus desempenhos foram monitorados por meio de feedbacks coletados com base nas seguintes perguntas:

- 1 A sequência de exercícios (cálculos exergeticos → análise de perdas → otimização) foi clara e facilitou seu entendimento gradual dos conceitos? (Escala: 1 (não clara) a 5 (muito clara)).
- 2 Como você avalia a conexão entre os problemas propostos (ex.: otimização da turbina) e desafios reais da indústria energética? (Escala: 1 (não clara) a 5 (muito clara)).
- 3 Quais foram os principais obstáculos durante a atividade?
- 4 Que mudanças você propõe para tornar a atividade mais acessível ou engajadora?

A coleta sistemática desse feedback dos estudantes é essencial para validar a eficácia pedagógica da atividade proposta, garantindo que os objetivos de aprendizagem sejam alcançados e identificando oportunidades de melhoria. As respostas às quatro perguntas-chave permitem: avaliar a clareza da estrutura didática, revelando se a progressão dos exercícios (cálculos → análise → otimização) facilitou a compreensão dos conceitos, verificar a relevância prática, confirmando se os problemas simulados refletem desafios reais da indústria energética.

Além de diagnosticar dificuldades específicas, como a complexidade dos cálculos ou a curva de aprendizado com softwares como o EES e coletar sugestões concretas para tornar a atividade mais acessível e engajadora. Esse processo iterativo não apenas aprimora o material didático, mas também fortalece a conexão entre teoria e prática, preparando os estudantes para aplicações profissionais. Outro ponto importante é que os dados quantitativos (escalas de 1 a 5) e qualitativos (respostas abertas) fornecem evidências robustas para publicações acadêmicas e reformas curriculares, alinhando o ensino às necessidades do setor energético.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta pesquisa revelam um panorama detalhado da integração da Análise Exergetica nos currículos de Engenharia de Energia em nove universidades brasileiras selecionadas. A análise documental, permitiu categorizar as instituições conforme o nível de inserção da exergia: desde disciplinas dedicadas até a ausência total do tema.

A “Tabela 1” sintetiza esses achados, destacando contrastes relevantes, como a predominância da exergia como conteúdo transversal em detrimento de disciplinas específicas. Esses dados não apenas mapeiam o cenário atual, mas também identificam possíveis melhorias, como a integração entre laboratórios de termodinâmica e parcerias com a indústria, fatores que demonstraram impacto direto na qualidade da formação oferecida.

Tabela 1 – Análise das instituições de ensino.

Instituição	Disciplina Específica de Exergia	Integração Transversal (em outras disciplinas)	Abordagem Prática (laboratórios, softwares, projetos)	Projetos ou TCCs que pode aplicar Exergia	Observações
UFABC (SP)	Termodinâmica Aplicada I (conteúdo parcial)	Termodinâmica II, Máquinas de Fluxo, Combustão	Uso de EES em projetos interdisciplinares (TG I-III)	Sim (Trabalhos de Graduação I-III)	-
UNIPAMPA (RS)	Não (optativa sugerida)	Termodinâmica, Máquinas Térmicas, Eficiência Energética	Laboratório de Sistemas Térmicos e Projetos de Engenharia	Sim (Projetos de Engenharia de Energia)	Abordagem prática em eficiência energética.
UFPA (PA)	Não	Termodinâmica (irreversibilidades)	Foco teórico; sem laboratórios específicos	Apenas TCC (10º período)	-
UFC (CE)	Análise de Sistemas Térmicos	Termodinâmica Aplicada, Tópicos Especiais	Projetos Integradores (1-4) e simulações	Sim (Tópicos Especiais optativos)	Ênfase em energias renováveis.
IFBA (BA)	Eficiência Energética e Exergética	Termodinâmica I e II	Laboratórios de termodinâmica	Não explicitado	Curso tecnólogo com foco prático.
UnB (DF)	Não	Termodinâmica I, Máquinas Térmicas (optativa)	Atividades de extensão e projetos integradores	Não explícito	Prioriza análise energética, não exergética.
UFSC (SC)	Não	Termodinâmica II, Sistemas Térmicos	Sem menção a softwares ou laboratórios específicos	Não explícito	-
IFRN (RN)	Análise Exergética de Processos Industriais (optativa)	Termodinâmica Aplicada, Sistemas Térmicos I-II	Laboratórios e projetos em eficiência energética	Sim (optativas específicas)	Destaque para disciplinas optativas avançadas.
PUC Minas (MG)	Análise Exergética de Processos	Termoeconomia	Foco teórico; sem laboratórios específicos	Sim (projeto integrador)	Abordagem prática em eficiência energética.

Fonte: Autoral.

A “Tabela 1” apresenta um panorama diversificado sobre a integração da análise exergética nos cursos de Engenharia de Energia das universidades brasileiras analisadas. Um ponto relevante é a disparidade na oferta de disciplinas específicas sobre exergia: enquanto instituições como o IFRN e a PUC Minas possuem disciplinas dedicadas somente para esse conteúdo (optativa e obrigatória, respectivamente), outras, como a UFPA e a UnB, limitam-se a abordagens voltadas para disciplinas de termodinâmica. Essa diferença demonstra que as diretrizes nacionais podem trazer um maior incentivo a inclusão da exergia como tema transversal ou específico. Além disso, a presença de disciplinas optativas, como no IFRN,

sugere uma flexibilidade curricular que pode ser replicada em outras instituições para suprir lacunas sem sobrecarregar a grade obrigatória.

Outro aspecto notável é a variação na aplicação prática dos conceitos exergéticos. Universidades como a UFABC e a UFC se destacam ao integrar softwares como EES e projetos interdisciplinares, alinhando teoria e prática. Por outro lado, a UFPA e a UFSC apresentam um enfoque mais voltado para a teoria. Essa diferença é relevante, pois para a análise exergética, a familiaridade com ferramentas computacionais e estudos de caso reais para preparar os estudantes para desafios industriais podem contribuir na eficiência do aprendizado.

A abordagem prática, como a do Laboratório de Sistemas Térmicos da UNIPAMPA, demonstra como a exergia pode ser vinculada a problemas concretos, como eficiência energética, reforçando a relevância do tema para a formação profissional. Por fim, a tabela revela que a conexão entre exergia e trabalhos acadêmicos (TCCs ou projetos) ainda é incipiente na maioria das instituições, com exceção da UFABC, UFC e IFRN.

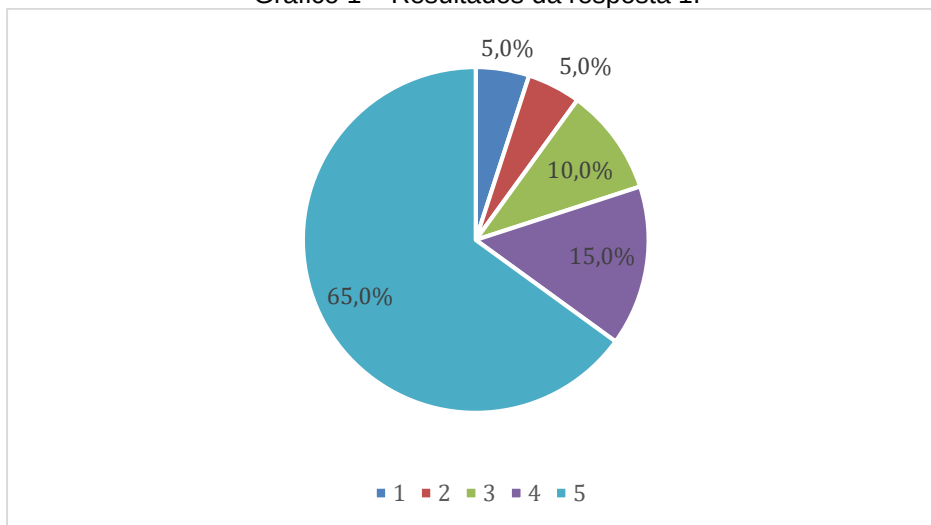
A PUC Minas, apesar de ter uma disciplina específica, não menciona laboratórios, o que pode limitar a aplicabilidade do conhecimento. A ênfase em projetos integradores, como na UFC, e a criação de optativas avançadas, como no IFRN, surgem como modelos promissores para equilibrar teoria e prática, preparando os alunos para otimizar sistemas energéticos em contextos reais, um requisito que pode ser visto como necessário diante dos desafios de sustentabilidade e eficiência no setor energético.

Referente a avaliação da atividade proposta, foi realizada junto a 20 discentes da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), incluindo alunos do 7º ao 9º período de Engenharia de Energia e egressos recentemente formados, garantindo uma amostra com diversidade de experiência acadêmica e profissional. Para assegurar uma aplicação realista e sem pressões artificiais, não foi estabelecido limite de tempo para a conclusão dos exercícios, permitindo que os participantes dedicassem o tempo necessário para resolver os problemas com profundidade. Além disso, foram disponibilizados recursos de apoio, como livros de termodinâmica (ex.: Çengel & Boles, 2015) e acesso à internet, simulando um ambiente de trabalho próximo ao que encontrariam na indústria.

O feedback foi coletado de forma estruturada por meio de um formulário do Google Forms, contendo perguntas quantitativas e qualitativas (respostas abertas), o que permitiu uma análise abrangente tanto dos resultados de aprendizagem quanto das percepções sobre a eficácia didática da atividade.

Diante disso, para a primeira pergunta feita aos alunos (A sequência de exercícios (cálculos exergéticos → análise de perdas → otimização) foi clara e facilitou seu entendimento gradual dos conceitos, o “Gráfico 1” apresenta os resultados do feedback recebido. Os resultados deste gráfico evidenciaram que a maioria dos respondentes, representada por 65,0%, atribuiu a nota máxima (5), indicando que a estrutura proposta foi muito eficaz no entendimento gradual dos conceitos. As notas intermediárias (1, 2, 3 e 4) tiveram percentuais menores (5,0%, 5,0%, 10,0% e 15,0%, respectivamente). Isso sugere que a abordagem adotada foi bem-sucedida para a grande maioria dos alunos, com apenas uma pequena parcela indicando dificuldades ou insatisfação.

Gráfico 1 – Resultados da resposta 1.

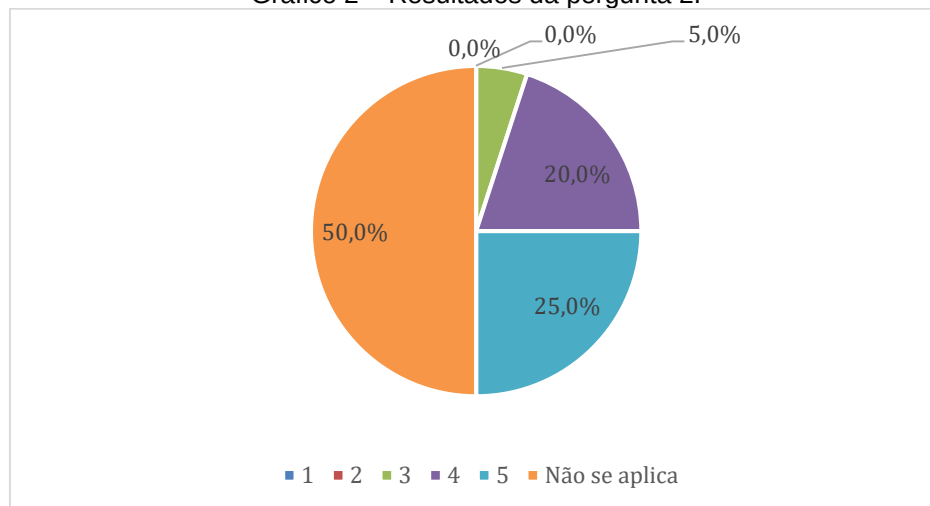


Fonte: Autoral.

A predominância da nota 5 revela que a progressão dos exercícios, desde os cálculos básicos até a análise e otimização é satisfatória, facilitando a compreensão dos conceitos de forma coerente e acessível. Esse resultado positivo reforça a eficácia da metodologia aplicada, embora a pequena porcentagem de notas menores sugira a necessidade de ajustes pontuais, como revisões explicativas ou materiais complementares, para atender a todos os alunos de maneira mais abrangente.

Já para a segunda pergunta o “Gráfico 2” apresenta os seguintes resultados:

Gráfico 2 – Resultados da pergunta 2.



Fonte: Autoral.

O “Gráfico 2” revela uma avaliação interessante sobre a percepção dos alunos quanto à conexão entre os problemas propostos, como a otimização de turbinas, e os desafios reais da indústria energética. Metade dos respondentes (50,0%) selecionou a opção “Não se aplica”, o que sugere que uma parcela dos alunos não teve contato direto com o setor industrial abordado ou não vê relação clara entre os exercícios e sua realidade acadêmica/profissional. Entre os que avaliaram a conexão, 25,0% atribuíram nota 3 (neutra), 20,0% nota 4 (boa) e apenas 5,0% notas 2 (insatisfatória). Nenhum aluno escolheu as notas 1 (muito insatisfatória) ou 5 (excelente), indicando que, entre os que consideraram a questão relevante, a percepção foi moderadamente positiva, mas sem total aprovação ou rejeição.

Esses resultados apontam para um cenário dividido: enquanto parte dos alunos não se sente apta a julgar a aplicabilidade dos problemas (possivelmente por falta de experiência no setor industrial específico), outra parte reconhece uma ligação razoável, mas não plenamente consolidada. A ausência de notas máximas ou mínimas entre os que responderam sugere que a conexão existe, mas pode não ser suficientemente clara ou aprofundada.

Para melhorar esse aspecto, seria válido contextualizar melhor os exercícios com exemplos práticos do setor energético ou até mesmo incluir depoimentos de profissionais da área, ajudando os alunos a visualizar como os conceitos teóricos se aplicam no dia a dia da indústria. Para aprimorar essa conexão, poderiam ser incluídos exemplos concretos da indústria ou até visitas técnicas, reforçando o vínculo entre o aprendizado acadêmico e as demandas do setor energético.

Com relação a pergunta 3 (Quais foram os principais obstáculos durante a atividade?), alguns estudantes destacaram a complexidade dos cálculos exergéticos como principal obstáculo, especialmente na conversão entre unidades e no balanço de exergia em sistemas abertos. Também foi mencionado a dificuldade em aplicar o conceito de exergia destruída em cenários reais, apesar de conhecer a teoria. Outras respostas relataram desafios com o software EES, principalmente na interpretação de mensagens de erro durante a simulação.

Também foi apresentada críticas construtivas sobre o tempo de adaptação aos materiais, como a planilha de cálculo. Uma resposta singular veio de um egresso que sugeriu integrar dados de sensores industriais (ex.: temperaturas em tempo real) para aumentar o realismo.

Esses feedbacks revelam que, embora a atividade tenha alcançado seus objetivos, ajustes na curva de dificuldade (ex.: inclusão de um exercício introdutório) e na diversificação de cenários, como ciclos combinados, poderiam ampliar seu impacto. A predominância de dificuldades técnicas, cálculos e software, sugere ainda a necessidade de roteiros de apoio mais detalhados, enquanto as observações dos egressos reforçam a importância de alinhar os problemas à realidade do setor energético.

Por fim a pergunta 4 (Que mudanças você propõe para tornar a atividade mais acessível ou engajadora?). Dentre as respostas, foi solicitado a inclusão de materiais de apoio adicionais, como vídeos tutoriais explicando os passos dos cálculos exergéticos e um guia rápido de referência para o software EES.

Outros estudantes sugeriram uma sessão introdutória do software EES antes da atividade avaliativa e também foi solicitado a criação de cenários mais diversificados, incluindo análises comparativas entre diferentes tipos de turbinas (ex.: aeronáuticas vs. industriais) para aumentar o engajamento e a aplicabilidade prática.

Três alunos apresentaram propostas criativas, como a integração de dados reais de usinas locais (ex.: dados operacionais de turbinas da região) para aumentar a relevância regional da atividade. Outra sugestão recorrente foi a introdução de trabalho em equipe, o que ajudaria a simular um ambiente de trabalho colaborativo, comum na indústria.

Essas respostas indicam que, além de ajustes técnicos, os alunos valorizam elementos de contextualização realista e colaboração, que podem transformar a atividade em uma experiência mais dinâmica e próxima das demandas profissionais. A ênfase em materiais de apoio e prática prévia revela uma lacuna na preparação gradual para os desafios complexos da exergia, enquanto as sugestões de cenários diversificados e dados reais refletem um desejo por maior conexão com aplicações práticas no setor energético.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentou uma análise detalhada da integração da Análise Exergética nos currículos de Engenharia de Energia em nove universidades brasileiras, destacando a importância dessa ferramenta para a eficiência energética e a sustentabilidade no setor industrial. Os resultados revelaram uma diferença na abordagem do tema entre as universidades, com algumas instituições oferecendo disciplinas específicas e práticas laboratoriais, enquanto outras traz uma abordagem mais voltada para conteúdos teóricos.

A atividade prática desenvolvida, baseada no estudo de caso de uma turbina a gás, demonstrou ser eficaz no ensino dos conceitos exergéticos, conforme evidenciado pelo feedback positivo dos alunos. No entanto, a percepção limitada da conexão entre os exercícios propostos e os desafios industriais sugere a necessidade de maior contextualização e integração com dados reais do setor. Além disso, as dificuldades relatadas com cálculos complexos e softwares como o EES indicam que materiais de apoio mais detalhados e sessões introdutórias poderiam melhorar a acessibilidade e o engajamento dos estudantes.

Para avançar na integração da Análise Exergética nos currículos, recomenda-se a criação de disciplinas obrigatórias ou optativas dedicadas ao tema, aliadas a parcerias com a indústria para o desenvolvimento de projetos reais. A inclusão de estudos de caso diversificados, como ciclos combinados ou turbinas aeronáuticas, e a utilização de dados operacionais de usinas locais podem enriquecer a experiência dos alunos, tornando o aprendizado mais tangível e relevante. Além disso, a produção de tutoriais em vídeo e guias práticos para softwares como o EES facilitaria a curva de aprendizado.

Por fim, a promoção de metodologias ativas, como trabalhos em equipe e visitas técnicas, fortaleceria a conexão entre teoria e prática, preparando os futuros engenheiros para os desafios do setor energético. Essas medidas não apenas elevariam a qualidade da formação, mas também alinhariam as instituições de ensino às demandas globais por sustentabilidade e eficiência energética.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) pelo apoio institucional e pela infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa, a qual disponibilizou o acesso a recursos bibliográficos e ferramentas computacionais que foram essenciais para o desenvolvimento da análise exergética apresentada neste artigo.

REFERÊNCIAS

ABENGE. **ABENGE 50 Anos: Desafios de Ensino, Pesquisa e Extensão na Educação em Engenharia**. Brasília: ABENGE, 2024. Cap. 2: Fragmentação curricular e ciclos básicos, p. 43-86; Cap. 5: Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs), p. 159-210. Disponível em: <https://www.abenge.org.br/publicacoes>. Acesso em: 20 jul. 2025.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. 3. ed. Lisboa: Edições 70, 2016.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2023: Ano-base 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Seção 3.2: Perdas energéticas industriais, p. 71-89. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional>. Acesso em: 20 jul. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2022**. Paris: IEA Publications, 2022. p. 71. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Acesso em: 21 mai. 2025.

KABEYI, M. J. B.; OLANREWAJU, O. A. Performance Analysis of an Open Cycle Gas Turbine Power Plant in Grid Electricity Generation. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT (IEEM), 2020, Singapore. **Anais**. Singapore: IEEE, 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9309840>. Acesso em: 2 mai. 2025.

LATTUCA, Lisa R.; KNIGHT, David B.; BERGOM, Inger M. **Engineering Change: A Study of the Impact of EC2000**. Baltimore: ABET, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC (UFABC). Pró-Reitoria de Graduação – Engenharia de Energia. Disponível em: <https://prograd.ufabc.edu.br/cursos/ee>. Acesso em: 19 jul. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA (UNIPAMPA). Engenharia de Energias Renováveis e Ambiente – Bagé/RS. Disponível em: <https://www.unipampa.edu.br/portal/cursos/engenharia-de-energias-renovaveis-e-ambiente-bage>. Acesso em: 18 jul. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA). Engenharia de Energia. Disponível em: <https://www.ufpa.br/engenhariadeenergia>. Acesso em: 19 jul. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC). Engenharia de Energias Renováveis. Disponível em: <https://www.ufc.br/curso/engenharia-de-energias-renovaveis>. Acesso em: 18 jul. 2025.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA (IFBA). Engenharia de Energia. Disponível em: <https://www.ifba.edu.br/engenharia-de-energia>. Acesso em: 19 jul. 2025.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB). Engenharia de Energia. Disponível em: <https://www.ene.unb.br>. Acesso em: 18 jul. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Engenharia de Energia. Disponível em: <https://energia.ufsc.br>. Acesso em: 19 jul. 2025.

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE (IFRN). Engenharia em Energias Renováveis. Disponível em: <https://www.ifrn.edu.br/cursos/engenharia-em-energias-renovaveis>. Acesso em: 18 jul. 2025.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS (PUC Minas). Engenharia de Energia – Belo Horizonte/MG. Disponível em: <https://www.pucminas.br/ensino/graduacao/engenharia-de-energia>. Acesso em: 19 jul. 2025.

EXERGY ANALYSIS AS A CORE INTEGRATIVE ELEMENT IN ENERGY ENGINEERING CURRICULUMS

Abstract: *This study examines the integration of Exergy Analysis into Energy Engineering curricula across nine Brazilian universities, emphasizing its role in energy efficiency and industrial sustainability. Through document analysis and a practical activity based on a gas turbine case study, the study revealed disparities in how the topic is addressed, ranging from dedicated courses to a complete lack of practical content. Student feedback indicated the methodology's effectiveness but highlighted the need for better alignment with real-world industrial challenges and more comprehensive support materials. Recommendations include creating specialized courses, fostering industry partnerships, and incorporating real operational data to enhance learning.*

Keywords: *Exergy Analysis, Energy Engineering, Energy Efficiency.*

