



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-
ÁRIDO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-
GRADUAÇÃO
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**



Estudo da Viabilidade do Uso de Duct Burners como Estratégia de Recuperação de Calor na Indústria

Vitório Gabriel Gomes De Medeiros Silva

Mossoró, 2025



INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA:

O aproveitamento eficiente da energia é um dos maiores desafios enfrentados pelas indústrias atuais. O setor industrial é um dos maiores consumidores de energia no mundo, representando aproximadamente 37% do consumo final de energia global, segundo a **Agência Internacional de Energia (IEA, 2023)**. Apesar disso, estima-se que cerca de 20% a 50% da energia utilizada nas indústrias seja desperdiçada, principalmente na forma de calor residual não aproveitado em processos térmicos, conforme estudo do **U.S. Department of Energy (DOE, 2022)**. Esse desperdício representa não apenas uma perda significativa de energia, mas também um fator que contribui para o aumento dos custos operacionais e para o agravamento de impactos ambientais associados à geração de energia térmica, muitas vezes proveniente de fontes não renováveis.

Os ciclos termodinâmicos, essenciais para a geração e transformação de energia, ainda apresentam ineficiências que resultam em perdas térmicas consideráveis. Mesmo com o avanço da tecnologia e com a introdução de melhorias no desempenho dos equipamentos, grande parte da energia térmica gerada durante os processos industriais é liberada para o meio ambiente na forma de gases quentes, vapores ou superfícies aquecidas que não são adequadamente aproveitadas. A energia dissipada nesse processo poderia ser, em muitos casos, convertida novamente em trabalho útil ou realimentar etapas produtivas, desde que existam meios técnicos adequados para sua recuperação.

Nesse contexto, os duct burners surgem como uma solução promissora, pois dentre as diversas tecnologias disponíveis para o aproveitamento do calor residual na indústria, os duct burners destacam-se por sua versatilidade, eficiência e relativa simplicidade de integração em sistemas de recuperação térmica já existentes, especialmente em ciclos a gás e unidades de cogeração. Esses queimadores, inseridos diretamente nos dutos de gases de escape, permitem a recuperação e a reutilização do calor que, de outra forma, seria desperdiçado. A tecnologia se baseia no reaproveitamento térmico por meio de uma queima suplementar de combustível diretamente no fluxo dos gases de exaustão, promovendo o aumento de sua temperatura antes de sua passagem por trocadores de calor. Isso não apenas melhora o desempenho energético do sistema, como também contribui significativamente para a redução dos impactos ambientais e dos custos operacionais. Segundo o relatório do **U.S. Department of Energy (DOE, 2022)**, duct burners podem melhorar a eficiência de recuperação de calor em até **20%**, representando uma alternativa economicamente viável em comparação com sistemas mais complexos.

O princípio de funcionamento dos duct burners está associado à queima complementar de combustíveis — como gás natural, biogás ou mesmo outros gases industriais — dentro do fluxo de gases de escape, elevando sua temperatura e aumentando, assim, a taxa de recuperação de calor em caldeiras ou geradores de vapor (HRSG – Heat Recovery Steam Generator). Essa técnica é amplamente utilizada em plantas de cogeração e em usinas termelétricas com ciclos combinados, onde a integração entre turbinas a gás e a vapor possibilita o aproveitamento em cascata da energia contida nos combustíveis. A introdução dos duct burners nesses sistemas permite, por exemplo, compensar variações



de carga, estabilizar a temperatura dos gases e ampliar a produção de vapor sem a necessidade de instalar novas fontes primárias de calor, resultando em maior flexibilidade e melhor aproveitamento energético.

Além da contribuição direta para a eficiência energética, a adoção de duct burners também pode resultar em diversos outros benefícios industriais. Entre eles, destacam-se a redução da emissão de poluentes por unidade de energia gerada, já que menos combustível primário precisa ser utilizado para a mesma produção; a diminuição da dependência de fontes externas de energia; e o aumento da flexibilidade operacional de plantas industriais, que passam a contar com mecanismos para ajustar sua produção térmica de forma mais eficiente. Tais vantagens tornam a tecnologia especialmente atrativa para setores que trabalham com grandes volumes de energia térmica, como o petroquímico, o siderúrgico, o de papel e celulose, o de alimentos e bebidas, entre outros.

É importante destacar que, em tempos de pressão global por sustentabilidade e redução de emissões, o aproveitamento do calor residual deixou de ser apenas uma questão de economia energética e passou a representar também uma oportunidade estratégica de adequação às novas exigências de mercado. Investidores, consumidores e órgãos reguladores vêm exigindo das empresas maior comprometimento com a sustentabilidade, o que inclui o uso racional dos recursos energéticos e a adoção de tecnologias que reduzam impactos ambientais negativos.

Entretanto, apesar de sua aplicabilidade comprovada em determinados contextos, o uso de duct burners ainda é limitado em muitas indústrias brasileiras. Isso levanta a seguinte questão: quais são os principais fatores que limitam a adoção dessa tecnologia no país, e como esses obstáculos podem ser superados? Entre os entraves identificados, destacam-se o desconhecimento técnico por parte dos tomadores de decisão, as barreiras econômicas relacionadas ao investimento inicial e à necessidade de adaptação da infraestrutura existente. Além disso, a escassez de estudos nacionais voltados à avaliação da viabilidade dos duct burners em diferentes setores industriais compromete a confiança e a disseminação da tecnologia. Embora experiências internacionais demonstrem resultados positivos, é fundamental considerar o contexto específico da indústria brasileira para propor estratégias realistas e eficazes de implementação.

Essa análise reforça a necessidade de estudos que explorem as condições técnicas, operacionais e econômicas para a implementação de duct burners em plantas industriais brasileiras, uma lacuna ainda pouco explorada em pesquisas nacionais, conforme apontado em relatórios como os da EPE (2023) e da ABESCO (2022). Cada setor possui particularidades – como perfil térmico dos gases, composição de resíduos, estrutura produtiva e exigências ambientais – que demandam avaliações customizadas para garantir a viabilidade e eficácia da tecnologia em diferentes contextos industriais

Este projeto propõe avaliar a viabilidade técnica e econômica dos duct burners como solução de recuperação de calor para a indústria brasileira, com foco específico em ganhos de eficiência energética. O estudo analisará a adaptação da tecnologia às condições operacionais locais, priorizando setores com maior potencial de aproveitamento de calor residual. A pesquisa quantificará os possíveis ganhos energéticos, os impactos



na competitividade industrial e os requisitos para implementação, oferecendo um diagnóstico estratégico para reduzir desperdícios térmicos em processos industriais.

Para tanto, o estudo se apoiará em uma abordagem qualitativa e exploratória, baseada em revisão bibliográfica especializada, análise de estudos de caso e avaliação crítica de modelagens já desenvolvidas na literatura técnica. Como parte dessa investigação, será utilizado como referência um estudo publicado em congresso técnico que analisa, por meio de simulação computacional (CFD), o uso de duct burners em caldeiras de recuperação de uma usina termelétrica. Embora este projeto não desenvolva modelagens próprias, a análise dos resultados existentes permitirá ao pesquisador compreender aspectos importantes da dinâmica térmica e fluidodinâmica da tecnologia, além de identificar parâmetros críticos para sua eficiência.

Ao final da pesquisa, espera-se fornecer um panorama fundamentado sobre a aplicabilidade dos duct burners na indústria brasileira, destacando seus benefícios, limitações e desafios técnicos, com recomendações práticas para sua adoção. Os resultados poderão subsidiar políticas de eficiência energética e decisões empresariais, orientando a escolha de tecnologias sustentáveis e economicamente viáveis. Além disso, o estudo visa impulsionar inovações adaptadas à realidade nacional, como integração com energias renováveis, contribuindo para o avanço sustentável da indústria em alinhamento com as metas globais, como os ODS da ONU.

Dessa forma, o projeto se insere dentro de uma agenda mais ampla de transição energética, eficiência e descarbonização dos processos produtivos. Considerando o crescente apelo por soluções energéticas limpas, de baixo custo e alta eficiência, torna-se urgente explorar tecnologias que, como os duct burners, possam gerar impacto positivo tanto sob a perspectiva técnica quanto ambiental. A promoção do uso racional da energia nas indústrias é, portanto, não apenas uma demanda econômica, mas também uma responsabilidade ambiental, estratégica e social frente aos compromissos assumidos pelo Brasil no cenário internacional, como o Acordo de Paris e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, além das diretrizes estabelecidas pelo Plano Nacional de Energia (PNE 2050) e pela Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Nesse sentido, o estudo contribui diretamente para o avanço de metas nacionais de mitigação de emissões e modernização da matriz energética industrial.

OBJETIVOS

GERAL:

Analisar a viabilidade técnica e energética da utilização de duct burners como solução para melhorar a eficiência de processos industriais e reduzir o desperdício de calor.



ESPECÍFICOS:

- Estudar o funcionamento e a aplicação dos duct burners no setor de geração de energia, com foco em sua integração a sistemas de caldeiras para recuperação e aproveitamento de calor residual.
- Identificar, com base em critérios como consumo energético e geração de calor residual, os processos do setor de geração de energia com maior potencial para a aplicação de duct burners em sistemas de caldeiras
- Avaliar, por meio de simulações computacionais e análises de casos reais, o impacto do uso de duct burners na eficiência energética e nos custos operacionais de processos industriais selecionados



METODOLOGIA:

A metodologia deste trabalho será estruturada com base em uma abordagem qualitativa e exploratória, visando compreender, de forma aprofundada, as potencialidades do uso de *duct burners* na redução do desperdício de calor e na melhoria da eficiência energética em processos industriais. Essa abordagem é especialmente indicada para investigar fenômenos ainda pouco explorados em determinados contextos — como é o caso da adoção de queimadores de duto na indústria brasileira —, permitindo levantar hipóteses, mapear tendências e identificar oportunidades de aplicação a partir de dados qualitativos, técnicos e documentais.

Inicialmente, será realizada uma revisão bibliográfica ampla e criteriosa, com foco nos principais conceitos relacionados aos ciclos termodinâmicos aplicados à geração de calor e energia, nos mecanismos de perda térmica ao longo dos processos industriais e nas tecnologias disponíveis para recuperação de calor. Nesse escopo, será dado destaque especial ao funcionamento dos *duct burners*, suas aplicações em diferentes setores industriais, princípios operacionais, vantagens técnicas, limitações estruturais e impactos energéticos. A revisão incluirá artigos científicos, dissertações, livros técnicos, relatórios de instituições especializadas e normas técnicas nacionais e internacionais sobre eficiência energética e reaproveitamento de calor residual.

Paralelamente à fundamentação teórica, será conduzida uma análise de estudos de caso, com o objetivo de identificar indústrias — tanto brasileiras quanto estrangeiras — que já tenham implementado sistemas com *duct burners* ou que apresentem condições favoráveis para sua aplicação. Esses estudos funcionarão como fontes empíricas para mapear padrões de desempenho energético, identificar desafios técnicos enfrentados na instalação e operação dos sistemas e avaliar os impactos observados após a adoção da tecnologia. Serão também analisadas características estruturais e operacionais dos setores com maior potencial de aplicação, como siderurgia, petroquímica, papel e celulose, alimentos e bebidas, entre outros, com atenção especial aos processos que geram maior volume de calor residual e aos parâmetros operacionais que favorecem o uso eficiente dos queimadores de duto.

Como parte do processo analítico, será incluída uma avaliação crítica de modelagens computacionais e simulações previamente desenvolvidas na literatura técnica. Um exemplo relevante é o estudo apresentado em congresso técnico nacional que utilizou a técnica de CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para simular o comportamento térmico da inserção de *duct*



burners em caldeiras de recuperação (HRSG) de uma usina termelétrica. A análise desses resultados fornecerá subsídios técnicos importantes para a compreensão dos efeitos da tecnologia sobre a distribuição térmica, a uniformidade da temperatura dos gases, os limites operacionais seguros e a eficiência na geração de vapor. Embora este projeto não desenvolva sua própria modelagem computacional, a leitura crítica desses dados permitirá fundamentar inferências e reflexões relevantes para a realidade industrial brasileira.

Na etapa final da pesquisa, será realizada uma análise comparativa entre os dados obtidos nos estudos de caso, nas simulações analisadas e nas informações levantadas na revisão bibliográfica, confrontando essas evidências com o panorama de indústrias que ainda não utilizam tecnologias de recuperação térmica. Essa comparação permitirá evidenciar os ganhos energéticos potenciais, os aspectos econômicos envolvidos, as melhorias de desempenho nos processos e os principais obstáculos à difusão da tecnologia no país.

Com essa metodologia, espera-se produzir um diagnóstico detalhado e tecnicamente fundamentado sobre a viabilidade do uso de *duct burners* como solução para a recuperação de calor em processos industriais, contribuindo para o avanço das discussões sobre eficiência energética e sustentabilidade no setor produtivo nacional.



HABILIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS:

1- Leitura e interpretação crítica da literatura científica e técnica

- a- Desenvolvimento da habilidade de localizar, selecionar, organizar e compreender conteúdos técnicos confiáveis em fontes nacionais e internacionais;
- b- Interpretação de artigos científicos, relatórios de engenharia, manuais operacionais e normas técnicas associadas à eficiência energética, recuperação de calor e *duct burners*;
- c- Compreensão aprofundada de conceitos relacionados a ciclos termodinâmicos, perdas térmicas, combustão suplementar e sistemas de cogeração;
- d- Capacidade de distinguir metodologias, resultados e conclusões relevantes para aplicação prática no contexto da indústria brasileira.

2- Análise e síntese de dados qualitativos

- a- Interpretação de estudos de caso reais e documentos técnicos que descrevem a implementação de queimadores de duto em processos industriais;
- b- Identificação de padrões de desempenho energético, limitações técnicas e operacionais, e fatores críticos de sucesso;
- c- Desenvolvimento de pensamento analítico, raciocínio lógico e visão sistêmica para correlacionar dados teóricos com situações práticas.
- d- Comparação entre diferentes contextos industriais
- e- Avaliação crítica de ambientes industriais diversos, levando em conta especificidades setoriais, condições operacionais e possibilidades de aproveitamento de calor residual;



3- Interpretação técnica de modelagens computacionais (CFD)

- a- Leitura crítica de simulações desenvolvidas por outros autores, mesmo sem execução prática de modelagem própria;
- b- Entendimento de conceitos como distribuição térmica, escoamento de gases, eficiência em caldeiras de recuperação e limites operacionais de segurança;
- c- Introdução a metodologias de análise computacional e incentivo ao interesse por ferramentas como CFD para estudos futuros.

4- Produção de conteúdo técnico e científico

- a- Redação de relatórios, resumos, artigos e materiais de divulgação com clareza, coerência e fundamentação teórica;
- b- Estruturação lógica de argumentos técnicos com base em dados e referências científicas;
- c- Aprimoramento da capacidade de comunicação em eventos acadêmicos, apresentações orais e defesa de ideias com base em evidências.

5- Postura investigativa, ética e sustentável

- a- Desenvolvimento de uma mentalidade crítica e comprometida com a inovação, eficiência e responsabilidade ambiental;
- b- Articulação entre conhecimento técnico e impacto social da engenharia, com foco na redução de emissões, uso racional de energia e competitividade industrial sustentável.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BATISTA, Marcos Lazaro; RODRIGUES, Lucilene de Oliveira; NASCIMENTO, Marco Antônio Rosa do. Estudo da viabilidade da viabilidade do uso de duct burners em caldeiras de recuperação utilizando a técnica de CFD. *In: Anais do Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial*, 2022. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2022. p. 1. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/aconemi/405316-estudo-da-viabilidade-do-uso-de-duct-burners-em-caldeiras-de-recuperacao-utilizando-a-tecnica-de-cfd>.

DUCT BURNERS. *In: BCE ITALIA*. [s. d.]. Disponível em: <https://www.bceitalia.com/products/duct-burners/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

FLUXOS DE REAÇÃO EM QUEIMADORES DE DUTOS INDUSTRIAIS DE UM GERADOR DE VAPOR DE RECUPERAÇÃO DE CALOR. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: https://www.comsol.com/paper/reacting-flows-in-industrial-duct-burners-of-a-heat-recovery-steam-generator-5493?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 28 jul. 2025.

MAGHSOUDI, Mehrabani *et al.* Study of the effect of using duct burner on the functional parameters of the two repowered cycles through exergy analysis. **Thermal Science**, [s. l.], v. 21, n. 6 Part B, p. 3011–3023, 2017.

(PDF) THE CFD MODELING OF HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR INLET DUCT. **ResearchGate**, [s. l.], Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269747123_The_CFD_Modeling_of_Heat_Recovery_Steam_Generator_Inlet_Duct. Acesso em: 28 jul. 2025.



CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROJETO:

ETAPAS	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Levanta- mento bibliográ- fico	X						
Formu- lação do problem a e objetivos	X						
Definição da metodolo- gia		X					
Coleta de dados		X					
Análise de dados			X				
Redação do relatório final			X	X			
Prepara- ção para apresent ação dos resultados					X	X	X