



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO SUBSEQUENTE EM QUÍMICA

WALIFY SANTOS GONÇALVES

PROCESSO DE GERAÇÃO DE VAPOR EM CALDEIRAS DE BIOMASSA

PENEDO, AL
2025

WALIFY SANTOS GONÇALVES

PROCESSO DE GERAÇÃO DE VAPOR EM CALDEIRAS DE BIOMASSA

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

Orientador (a): Dr. Mirelle Márcio Santos Cabral

PENEDO, AL
2025



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

G635p

Gonçalves, Walify Santos.

Processo de geração de vapor em caldeiras de biomassa / Walify Santos Gonçalves. – 2025.
16f.; il.

Orientação: Prof. Mirelle Márcio Santos Cabral.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Subsequente em Química) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Penedo*, Penedo, 2025.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Caldeiras - Geração de vapor. 2. Biomassa 3. Setor sucroenergético. I. Cabral, Márcio Mirelle Santos. II. Título.

CDD: 621.194

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

PROCESSO DE GERAÇÃO DE VAPOR EM CALDEIRAS DE BIOMASSA

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, campus Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

APROVADO EM: 14/11/2025.

Documento assinado digitalmente
gov.br MIRELLE MARCIO SANTOS CABRAL
Data: 11/11/2025 09:02:57-0900
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Mirelle Márcio Santos Cabral (orientador)
Instituto federal de Alagoas-IFAL

Documento assinado digitalmente
gov.br FELIPE THIAGO CALDEIRA DE SOUZA
Data: 11/11/2025 09:17:44-0900
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Felipe Thiago Caldeira de Souza
Instituto federal de Alagoas-IFAL

Documento assinado digitalmente
gov.br RENAN ATANAZIO DOS SANTOS
Data: 14/11/2025 09:18:45-0900
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Renan Atanázio dos Santos
Instituto federal de Alagoas-IFAL

PROCESSO DE GERAÇÃO DE VAPOR EM CALDEIRAS DE BIOMASSA

STEAM GENERATION PROCESS IN BIOMASS BOILERS

Walify Santos Gonçalves¹

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre o processo de geração de vapor em caldeira aquatubular alimentada com bagaço de cana-de-açúcar para a produção de vapor superaquecido, operando sob pressão de 30 kgf/cm². O trabalho tem como objetivo analisar os principais fatores que interferem na eficiência do sistema de geração de vapor, com ênfase na influência da umidade do combustível, na relação ar/combustível e no papel dos equipamentos auxiliares. A metodologia adotada combinou levantamento bibliográfico em referências técnicas e científicas, aliado à observação prática do funcionamento da caldeira em ambiente industrial. Os resultados obtidos indicam que o alto teor de umidade do bagaço compromete o aproveitamento energético, uma vez que parte da energia liberada na combustão é direcionada à evaporação da água presente no combustível. Para compensar essa limitação, torna-se necessário operar com excesso de ar, garantindo a queima mais completa e reduzindo a emissão de poluentes. Observou-se ainda que dispositivos auxiliares, como desaerador, economizador e bombas de alimentação, são fundamentais para otimizar a operação e assegurar maior segurança. Conclui-se que a eficiência do sistema depende não apenas da qualidade do combustível, mas também do controle da estequiometria e da aplicação de tecnologias de automação, que permitem ajustar em tempo real as condições operacionais. Dessa forma, o estudo reforça a importância da caldeira aquatubular utilizando a biomassa como alternativa viável e sustentável no setor sucroenergético.

Palavras-chave: caldeira; aquatubular; cana-de-açúcar; bagaço.

ABSTRACT

This paper presents a study on the steam generation process in a water-tube boiler fed with sugarcane bagasse for the production of superheated steam, operating under a pressure of 30 kgf/cm². This study aims to analyze the main factors that affect the efficiency of a steam generation system, with emphasis on the influence of fuel moisture, the air/fuel ratio, and the role of auxiliary equipment. The methodology adopted combined a literature review of technical and scientific references with practical observation of boiler operation in an industrial environment. The methodology combined a bibliographic review of technical and scientific references with practical observation of the boiler's operation in an industrial energy efficiency, since part of the heat released during combustion is used to evaporate the water contained in the fuel. To overcome this limitation, it is necessary to operate with excess air, ensuring more complete combustion and reducing pollutant emissions. It was also observed that auxiliary devices, such as the deaerator, economizer, and feedwater pumps, are essential to optimize performance and ensure operational safety. The study concludes

that the efficiency of the system depends not only on the fuel quality but also on proper stoichiometric control and the implementation of automation technologies, which allow real-time adjustments of operating conditions. Therefore, the research highlights the importance of biomass-fired water-tube boilers as a feasible and sustainable alternative for the sugar-energy sector.

Keywords: boiler; water tube; sugar cane; bagasse.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a preocupação com os impactos ambientais causados pelo uso intensivo de combustíveis fósseis tem impulsionado a busca por fontes de energia mais sustentáveis e renováveis. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica Aneel, (2020), a biomassa representa aproximadamente 9% da matriz energética do Brasil, configurando-se como uma alternativa promissora na produção de energia térmica e elétrica.

A biomassa, composta por materiais orgânicos de origem vegetal e animal, é considerada uma fonte de energia limpa e de baixo impacto ambiental, Silva *et al.*, (2021). O processo de combustão de biomassa em caldeiras tem sido cada vez mais adotado por indústrias que buscam soluções para reduzir custos operacionais e diminuir as emissões de poluentes atmosféricos.

As caldeiras movidas a biomassa são projetadas para queimar diferentes tipos de resíduos orgânicos, como cavacos de madeira, bagaço de cana-de-açúcar, pellets e cascas de arroz, Pavan *et al.*, (2021). Durante a combustão, a energia química armazenada nesses materiais é transformada em energia térmica, que pode ser utilizada para geração de vapor ou, em alguns casos, na produção de eletricidade. Saidur *et al.*, (2011).

Entretanto, para garantir a eficiência do processo e minimizar os impactos ambientais, é fundamental realizar um controle rigoroso das condições de operação, além de escolher adequadamente o tipo de biomassa e os sistemas de tratamento de emissões atmosféricas. Ratchakaweer *et al.*, (2022).

Diante dessa realidade, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise detalhada do processo de combustão em caldeiras de biomassa, abordando seu funcionamento, os combustíveis utilizados, a eficiência energética e os principais aspectos ambientais envolvidos.

2 BIOMASSA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

A busca por soluções energéticas que reduzam os impactos ambientais tem levado muitas indústrias a adotarem a biomassa como fonte alternativa para geração de calor e energia. Conforme Silva *et al.*, (2021) essa fonte de energia se destaca pela sua ampla disponibilidade, baixo custo operacional e por gerar menores volumes de gases causadores do efeito estufa quando comparada aos combustíveis fósseis.

Entre os tipos de biomassa utilizados, o bagaço de cana-de-açúcar se destaca por sua disponibilidade nas indústrias sucroalcooleiras e pelo alto potencial energético. Segundo Pavan *et al.*, (2021), o bagaço possui poder calorífico elevado, permitindo a geração eficiente de vapor em caldeiras industriais. Além disso, seu aproveitamento reduz a quantidade de resíduos sólidos e a necessidade de combustíveis fósseis, contribuindo para a economia e a diminuição de emissões de gases poluentes.

3 CALDEIRAS INDUSTRIAIS

Segundo Pera, (1990) Caldeiras (gerador de vapor) é uma junção de equipamentos trocadores de calor que trabalham em conjunto para a obtenção de elevadas quantidades de energia térmica essencial para produção de vapor.

Existem dois tipos comuns de caldeiras. Na caldeira flamotubular, os gases da combustão passam por dentro dos tubos e aquecem a água que fica ao redor deles. Já na caldeira aquatubular, acontece o contrário: a água circula dentro dos tubos e recebe calor dos gases quentes que passam por fora.

FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA DA COMBUSTÃO

Diversos fatores influenciam diretamente o rendimento térmico das caldeiras de biomassa. Lin *et al.*, (2023) destacam que o teor de umidade é um dos principais responsáveis pelas perdas de eficiência. Combustíveis com alta quantidade de água demandam maior energia para evaporação, dificultando a queima completa e reduzindo o aproveitamento energético.

Outros parâmetros relevantes incluem a temperatura dentro da câmara de combustão, o tempo de permanência dos gases e o nível de turbulência durante o processo. Tecnologias modernas, como queimadores de múltiplos estágios e sistemas de pré-aquecimento de ar, têm sido amplamente empregadas para melhorar o

desempenho da queima e reduzir as emissões atmosféricas Ratchakawer *et al.*, (2022); U.S. Department of energy, (2012).

3.1 ANÁLISE TÉCNICA DE CALDEIRA AQUATUBULAR ALIMENTADA POR BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM AMBIENTE INDUSTRIAL

Este trabalho contempla a análise operacional de uma caldeira do tipo aquatubular instalada em uma unidade industrial que utiliza biomassa como principal fonte de energia térmica. Este equipamento é amplamente reconhecido por sua robustez e por apresentar elevada eficiência térmica, sendo especialmente indicado para processos industriais que demandam geração contínua e em grande escala de vapor sob alta pressão.

A caldeira estudada é alimentada por bagaço de cana-de-açúcar, um subproduto amplamente disponível nas indústrias sucroalcooleiras. Seu aproveitamento como biomassa sólida contribui não apenas para a autossuficiência energética da planta, mas também para a mitigação de impactos ambientais, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. O equipamento opera com pressão de trabalho de 30 kgf/cm², o que permite uma geração de vapor altamente eficiente e compatível com as exigências dos processos térmicos em larga escala.

Conforme apontam Lin *et al.*, (2023), o desempenho térmico de caldeiras movidas a biomassa está fortemente condicionado à qualidade do combustível, em especial ao seu teor de umidade. No caso do bagaço de cana-de-açúcar, quando este apresenta elevados níveis de umidade, parte significativa da energia disponível é consumida na evaporação da água, comprometendo a eficiência da combustão e, por consequência, o aproveitamento energético total.

Para otimizar o desempenho e minimizar as perdas térmicas, a caldeira avaliada está equipada com sistemas de pré-aquecimento do ar de combustão e controle automatizado da alimentação, recursos que, segundo Ratchakaweer *et al.*, (2022), representam estratégias eficazes na maximização da eficiência energética e na redução de emissões de gases poluentes. Tais soluções tecnológicas refletem a busca contínua por processos industriais mais sustentáveis e energeticamente otimizados.

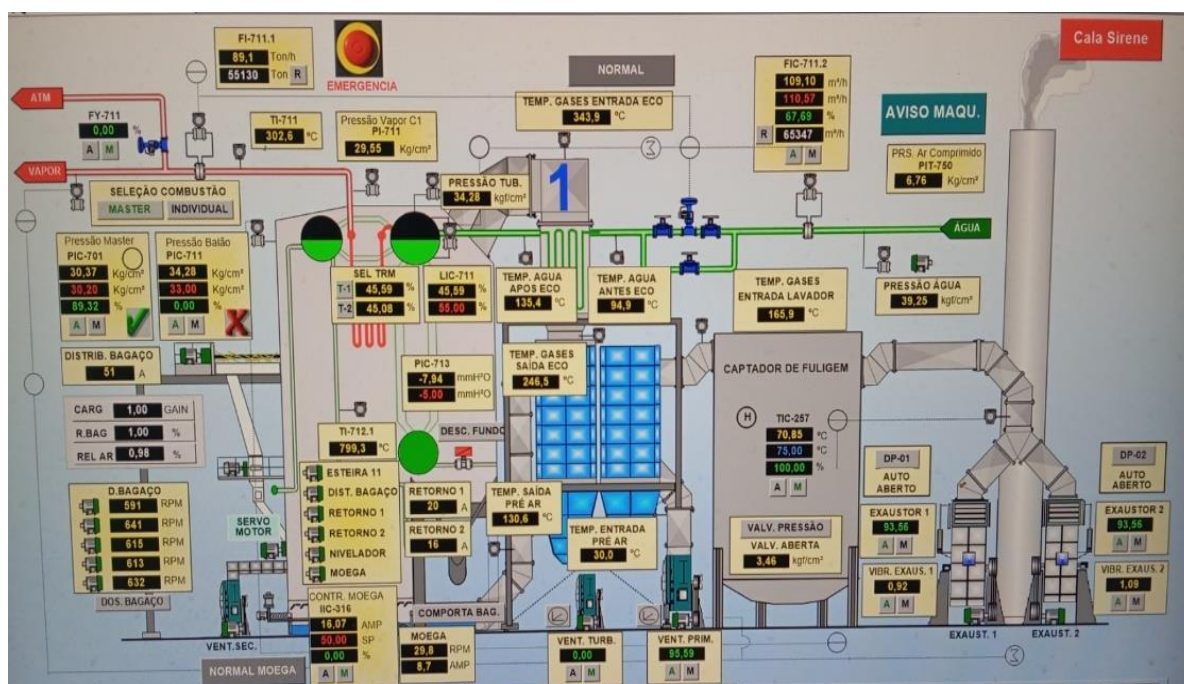
3.2 FUNCIONAMENTO DE UMA CALDEIRA AQUATUBULAR

A seguir é descrito o processo de geração de vapor em uma caldeira aquatubular, a qual utiliza bagaço de cana-de-açúcar como combustível.

De acordo com Pera (1990) o ar atmosférico é introduzido ao interior da caldeira através de ventiladores (primário e secundário) e aquecido na fornalha, onde reage para que haja uma queima contínua do combustível. O calor dos gases em elevadas temperaturas obtidos da combustão por meio da tiragem do sistema, circulam no corpo da caldeira entrando em contato indireto com toda a água presente no interior dos tubos.

A Figura 1 mostra o fluxograma do processo de funcionamento de uma caldeira aquatubular. A água é inserida devidamente pré-aquecida oriunda do desaerador (Figura 2), passa pelo economizador para elevar ainda mais sua temperatura antes de chegar ao tubulão de vapor.

Figura 1 – Fluxograma do Processo de geração de vapor.



Fonte: Autor, 2025.

O calor gerado pela câmara de combustão (fornalha) aquece os tubos ligados ao tubulão de vapor, fazendo com que a água presente nesses tubos atinja seu ponto de ebulição e comece a se tornar vapor. O calor é transferido dos gases quentes,

gerados pela combustão, as paredes dos tubos e, conseqüentemente, para a água. A água se torna menos densa e começa a subir pelos tubos, enquanto a água mais fria desce para ser aquecida (convecção) Pera, (1990).

O vapor produzido (saturado) ainda possui pequenas gotículas de água, as quais se separam, e, ao sair do tubulão é direcionado ao superaquecedor (conjunto de tubos que recebe calor residual dos gases de combustão, mas, está localizado depois do tubulão) com a finalidade de elevar a temperatura e reduzir (eliminar) umidade, transformando-o em vapor superaquecido. Este vapor é utilizado, por exemplo, em turbinas para conversão em eletricidade e sistemas de aquecimento em processos externos Pera, (1990).

A Tabela 1 apresenta as principais malhas de controle do processo de geração de vapor, com suas respectivas funções e parâmetros de trabalho.

Tabela 1 – Funções e parâmetros de trabalho no sistema de geração de vapor.

Malha de Controle	Função no Processo	Parâmetros de trabalho
Controle de pressão da caldeira	Mantém a pressão do vapor estável e garante operação segura.	30 kgf/cm ²
Controle de nível da caldeira	Ajusta o nível de água, prevenindo falta ou excesso dentro da caldeira.	50 %
Controle de temperatura do vapor/tubulão	Monitora e regula a temperatura dos gases e do vapor para melhorar a eficiência térmica.	471 °C
Controle da quantidade de bagaço (combustível)	Regula a quantidade de bagaço enviada à fornalha, determinando a intensidade da combustão.	Relação de bagaço 90 a 100 %
Controle da temperatura dos gases	Mantém a temperatura dos gases de saída para a atmosfera em níveis adequados para o bom rendimento do sistema.	135 °C
Controle do fluxo de ar primário	Ajusta o ar primário utilizado na combustão, estabilizando a chama.	Relação de ar 90 a 100%
Controle do fluxo de ar secundário	Fornecer ar adicional para completar a combustão, aumentando sua eficiência.	0 ou 100 %
Controle da alimentação da moega	Regula a quantidade de bagaço alimentada para a caldeira de forma contínua quando tem variação de cargas na moenda.	20 a 35 %
Controle de pressão no sistema de exaustão	Mantém a pressão ideal no sistema de remoção de gases, evitando retorno para a caldeira.	3,40 kgf/cm ²
Controle de tiragem	Ajusta a diferença de pressão entre fornalha e chaminé para garantir o fluxo adequado dos gases.	-5 mmH ₂ O
Controle dos exaustores	Regula a operação dos ventiladores responsáveis pela extração dos gases da combustão.	90 a 100 %

Fonte: Autor, 2025.

4 EQUIPAMENTOS AUXILIARES DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE VAPOR

O processo de geração de vapor em uma caldeira industrial exige mais do que apenas a combustão e a produção de calor. Um conjunto de equipamentos auxiliares atuam de forma integrada para garantir que o sistema funcione de forma segura, eficiente e sustentável. Esses dispositivos desempenham papéis essenciais no preparo da água, no controle das condições operacionais e na recuperação de energia. A seguir, são apresentados alguns dos principais equipamentos encontrados na planta estudada.

4.1 DESAERADOR

O desaerador (Figura 2) tem a função de remover os gases dissolvidos na água de alimentação, como oxigênio e dióxido de carbono. Esses gases são corrosivos e, se não forem eliminados, podem comprometer a integridade das tubulações e componentes internos da caldeira. O processo ocorre por meio do aquecimento da água com vapor, facilitando a liberação dos gases e melhorando a qualidade da água enviada à caldeira Botelho; Bifano, (2015).

Figura 2 – Desaerador.

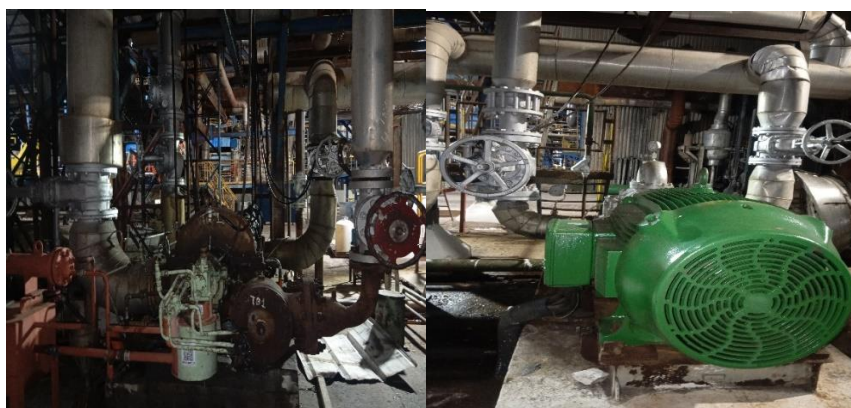


Fonte: Autor, 2025.

4.2 BOMBAS DE ALIMENTAÇÃO

As bombas de alimentação (Figura 3) são essenciais para manter o fornecimento contínuo de água à caldeira. Elas são responsáveis por transportar a água tratada até o interior da caldeira, vencendo a pressão interna do equipamento. A estabilidade no nível de água é fundamental para evitar falhas como superaquecimento ou danos por escassez de líquido. Botelho; Bifano, (2015).

Figura 3 – Bombas de alimentação.



Fonte: Autor, 2025.

4.3 ECONOMIZADOR

O economizador é um equipamento de recuperação de calor instalado na saída dos gases de combustão. Ele permite o pré-aquecimento da água de alimentação utilizando o calor residual dos gases, o que resulta em menor consumo de combustível e aumento do rendimento térmico da caldeira Botelho; Bifano, (2015). Trata-se de uma tecnologia que contribui para o uso racional da energia térmica.

4.4 TANQUE DE CONDENSADO

O tanque de condensado (Figura 4) tem a finalidade de armazenar a água que retorna à forma líquida após a utilização do vapor nos processos industriais. Como essa água ainda possui temperatura elevada e baixo nível de impurezas, seu reaproveitamento contribui para a redução no consumo de água nova e na economia de energia, ao exigir menos aquecimento. Botelho; Bifano, (2015); U.S. Department of energy, (2012).

Figura 4 – Tanque de condensado.



Fonte: Autor, 2025

4.5 SISTEMA DE PURGA

Durante o funcionamento da caldeira, pode haver o acúmulo de sais minerais e partículas sólidas no tubulão inferior. O sistema de purga (Figura 5) é projetado para remover esses resíduos, evitando incrustações nas paredes internas dos tubos da caldeira e melhorando sua vida útil. A purga de fundo elimina sedimentos mais pesados que se depositam no fundo do equipamento, enquanto a purga contínua remove sais dissolvidos de forma gradual. Botelho; Bifano, (2015); Abnt, (2019).

Figura 5 – Sistema de purga.



Fonte: Autor, 2025.

4.6 VÁLVULAS DE SEGURANÇA

As válvulas de segurança (Figura 6) são dispositivos de proteção indispensáveis em sistemas pressurizados. Elas são responsáveis por manter a pressão dentro dos limites operacionais seguros, liberando automaticamente o excesso de pressão quando necessário, prevenindo acidentes e protegendo os operadores e os equipamentos. U.S. Department of energy, (2012); Abnt, (2019).

Figura 6 – Válvulas de segurança.



Fonte: Autor, 2025.

5 TRATAMENTO DE ÁGUA

A água utilizada para geração de vapor precisa passar por um processo rigoroso de tratamento físico e químico, com o objetivo de remover impurezas, gases e sais minerais que podem comprometer o desempenho da caldeira. A qualidade da água é diretamente relacionada à eficiência e à durabilidade do sistema. Botelho; Bifano, (2015).

Segundo Pera (1990), o tratamento da água usada na caldeira começa pela clarificação, etapa em que são removidas as partículas sólidas por meio de filtração e decantação. Em seguida, ocorre o abrandamento, que reduz a dureza da água e evita o acúmulo de sais minerais no sistema. Quando a caldeira opera em pressões mais altas, apenas o abrandamento não é suficiente, sendo necessário realizar a desmineralização. Em alguns casos, utiliza-se até água destilada para garantir a qualidade adequada ao processo.

6 COMBUSTÃO E ESTEQUIOMETRIA NA CALDEIRA AQUATUBULAR

O rendimento de uma caldeira a biomassa está diretamente ligado à forma como ocorre a combustão. A estequiometria da combustão corresponde à proporção exata de ar necessária para que todo o combustível seja queimado completamente, transformando o carbono em dióxido de carbono (CO_2) e o hidrogênio em vapor d'água (H_2O), sem sobra ou falta de oxigênio Botelho; Bifano, (2015).

No caso do bagaço de cana-de-açúcar, combustível utilizado na caldeira em estudo, a elevada umidade dificulta alcançar esse ponto ideal. Isso ocorre porque parte da energia gerada na queima precisa ser usada para evaporar a água presente no combustível, o que reduz a temperatura da chama e a eficiência do processo Lin *et al.*, (2023).

Por essa razão, a operação da caldeira exige o uso de uma quantidade de ar superior à calculada teoricamente. Esse acréscimo, conhecido como excesso de ar, é necessário para garantir a queima mais completa do bagaço, minimizando a emissão de monóxido de carbono (CO) e de material particulado resultante da combustão incompleta Ratchakaweer *et al.*, (2022).

Entretanto, quando o excesso de ar é muito elevado, o sistema também perde eficiência, já que os gases de exaustão carregam parte da energia para fora da caldeira. Assim, o ajuste da relação ar/combustível é fundamental para equilibrar eficiência e segurança. Tecnologias de automação, como sistemas supervisórios e analisadores de gases, contribuem para esse controle, permitindo ajustes em tempo real Botelho; Bifano, (2015).

Na prática, a caldeira aquatubular analisada, que opera a 30 kgf/cm^2 utilizando bagaço de cana com alto teor de umidade, não trabalha em condições perfeitamente estequiométricas. O fornecimento de ar é sempre ajustado para garantir estabilidade na queima e reduzir emissões poluentes, sem comprometer a eficiência térmica. Esse equilíbrio é essencial para o bom desempenho do sistema de geração de vapor e para a confiabilidade do processo industrial Botelho; Bifano, (2015).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou compreender o funcionamento de uma caldeira aquatubular que utiliza bagaço de cana-de-açúcar como combustível, destacando sua importância para a geração de energia térmica em ambientes industriais. A análise mostrou que esse tipo de equipamento é eficiente e atende bem às necessidades de processos que exigem produção constante de vapor sob alta pressão.

Ao longo do estudo ficou evidente que o teor de umidade do bagaço influencia diretamente o desempenho da caldeira, pois quanto maior a umidade, maior é a perda de energia útil. Por outro lado, recursos como o pré-aquecimento do ar e o controle automático da alimentação ajudam a tornar a queima mais completa, melhorando a eficiência e diminuindo os impactos ambientais.

A observação prática reforçou os conhecimentos apresentados na parte teórica, confirmando que a biomassa, especialmente o bagaço de cana-de-açúcar, é uma alternativa viável, sustentável e de baixo custo para geração de energia. Além de aproveitar um resíduo abundante no setor agroindustrial, seu uso contribui com a preservação do meio ambiente.

Com isso, conclui-se que estudar e investir em tecnologias que melhorem o uso da biomassa nas caldeiras é fundamental para tornar os processos industriais mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.121: Caldeiras de vapor – Inspeção e segurança. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2020.

BOTELHO, M. H. C.; BIFANO, H. M. Operação de caldeiras: gerenciamento, controle e manutenção. São Paulo: Blucher, 2015.

DOE – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Improving steam system performance: a sourcebook for industry. 2. ed. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, 2012.

LIN, K. W.; WANG, C. H.; YANG, Y. L. Emissions and energy/exergy efficiency in an industrial biomass boiler. *Energy Reports*, v. 9, 2023.

PAVAN, M. C. O.; MONTEIRO, M. B.; OLIVEIRA, L. E. D.; VASCONCELOS, R. M. Barriers to broaden the electricity production from biomass in Brazil. *Produção e Pesquisa*, v. 21, 2021.

PERA, H. Geradores de vapor: Um compêndio sobre a conversão de energia com vistas à preservação da ecologia. São Paulo: fama, 1990.

RATCHAKAWEE, C.; SRISAWANG, P.; SIRISOMPUN, S. *A review of thermal efficiency and optimal design for biomass boilers*. *AIP Conference Proceedings*, v. 2645, 2022.

SAIDUR, R.; ABDEL-AZIZ, E.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M.; MEKHILEF, S. *A review on biomass as a fuel for boilers*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, 2011.

SILVA, A. C.; PEREIRA, J. R.; OLIVEIRA, M. S. An overview on the Brazilian electricity production based on biomass. *Brazilian Journal of Development*, 2021.