

Fundação Matias Machline
Universidade Federal do Amazonas

Iaça

Gerador de energia elétrica através da biomassa do caroço de açaí.

Manaus, AM
2025



Daniela Martins Magalhães
Isabelly Fernanda Rocha da Silva
João Victor Souza da Silva

Esp. Emerson Leão Brito do Nascimento

Iaça

Gerador de energia elétrica através da biomassa do caroço de açaí.

Relatório apresentado à 9ª FEMIC - Feira
Mineira de Iniciação Científica.

Orientação do Prof. Emerson Leão Brito do
Nascimento.

Manaus, AM



2025

RESUMO

A crescente demanda por fontes de energia renováveis e a necessidade de gerenciar resíduos orgânicos impulsionam a pesquisa por alternativas sustentáveis, sendo a biomassa do caroço de açaí, abundante na região amazônica, uma solução promissora para a geração de energia elétrica e redução do impacto ambiental. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo de biodigestor anaeróbico para a produção de biogás a partir do caroço de açaí, visando sua conversão em eletricidade. Os procedimentos envolveram a coleta e pré-tratamento do caroço de açaí, a construção e calibração de um biodigestor em escala laboratorial, e a monitorização da produção de biogás (metano e dióxido de carbono) ao longo do tempo. Os resultados preliminares demonstraram a viabilidade da produção de biogás a partir do caroço de açaí, com volumes significativos de metano detectados, indicando um potencial energético considerável para a região amazônica. A discussão dos resultados aponta para a eficácia do biodigestor e a relevância da biomassa de açaí como recurso, mas também revela desafios relacionados à otimização do processo e à escala de produção. Concluímos que a biomassa do caroço de açaí é uma fonte energética renovável e subutilizada, com grande potencial para comunidades rurais e para a economia circular, contribuindo para a sustentabilidade e o desenvolvimento regional, embora futuras pesquisas sejam necessárias para otimizar a eficiência do biodigestor e viabilizar sua aplicação em maior escala.

Palavras-chave: Biomassa, Geração de Energia, Sustentabilidade.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 JUSTIFICATIVA	8
3 OBJETIVO GERAL	10
4 METODOLOGIA	11
5 RESULTADOS OBTIDOS	13
6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
REFERÊNCIAS	20

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como tema a criação de um gerador de energia elétrica utilizando a biomassa do caroço de açaí, com foco em áreas de produção do açaí. Nesta perspectiva, construíram-se questões que nortearam este trabalho: Como o caroço de açaí poderia ser utilizado para a geração de energia elétrica? Como poderia ser desenvolvido um gerador de energia elétrica a partir dos resíduos do caroço do açaí? Diversos fatores apontam os danos que o caroço de açaí pode ocasionar por conta do seu descarte incorreto. Dentre os mais recorrentes, destacam-se a poluição do solo e da água, assim como a emissão de gases de efeito estufa. Segundo Ferreira (2022), os resíduos sólidos gerados a partir do caroço de açaí não possuem qualquer tipo de tratamento ou reaproveitamento adequado, ocasionando um impacto ambiental expressivo. Nessa perspectiva, cerca de 80% do total de açaí processado se transforma em resíduos, apresentando disposição final inadequada. Assim, além do impacto negativo sobre o meio ambiente, a gestão inadequada dos resíduos de açaí pode resultar em perdas econômicas significativas para os produtores (Rogez, 2020). Estudos realizados por Monteiro (2023) também ressaltam que a reciclagem e a valorização de biomassa, quando implementadas de forma correta, não só minimizam os impactos ambientais, mas também promovem a sustentabilidade e a eficiência econômica. Neste contexto, o objetivo primordial deste estudo é, pois, desenvolver um gerador de energia elétrica utilizando-se o caroço de açaí. Para alcançar os objetivos propostos, realizou-se um estudo bibliográfico acerca da geração de energia elétrica utilizando biomassa, analisou-se os componentes e configurações de usinas de biomassa e foi realizado um estudo da viabilidade técnica. Por fim, foram desenvolvidos um protótipo para simulação e um site em web. O texto final foi fundamentado nas ideias e concepções de vários autores, tais como: Rogez (2020), Monteiro (2023), Ferreira (2022), Camargo (2023), Zhu (2024) entre diversos outros renomados autores, visando embasar o desenvolvimento do gerador de energia.

2 JUSTIFICATIVA

A realização deste projeto justifica-se pela imperativa necessidade de explorar e implementar tecnologias inovadoras para a geração de energia a partir dos resíduos do açaí, um imperativo para o desenvolvimento sustentável da região amazônica. A produção de açaí gera um volume substancial de caroços, que atualmente constituem um passivo ambiental. A transformação desses resíduos em energia elétrica representa uma oportunidade estratégica de agregação de valor e minimização do impacto ambiental. Esta pesquisa busca, portanto, explorar a viabilidade do reaproveitamento desses caroços, propondo uma solução que não só endereça a questão do descarte inadequado, mas também confere valor econômico aos pequenos produtores, fomentando uma economia circular na cadeia produtiva do açaí.

A importância desta pesquisa para a área do conhecimento reside na contribuição para a melhoria da gestão de recursos agrícolas e para a promoção da autonomia econômica. A carência de informações e ferramentas adequadas para o gerenciamento de resíduos é uma barreira significativa enfrentada por muitos pequenos agricultores. Ao introduzir e validar tecnologias de geração de energia baseadas em biomassa, este projeto não só promove a sustentabilidade ambiental, mas também atua como um catalisador para a autonomia econômica dos produtores, favorecendo sua integração em mercados de energia renovável e a otimização de seus custos operacionais.

Adicionalmente, a convergência das tecnologias de Informática e Mecatrônica neste projeto configura-se como um agente transformador. Elas permitem superar barreiras técnicas e logísticas na reutilização de material orgânico para produção agrícola e energética. A criação de um sistema robusto de geração de energia a partir de resíduos de açaí facilita o acesso a fontes de energia renováveis e de baixo custo, o que é crucial para a redução de custos operacionais e para o aumento da eficiência no manejo de recursos. A pesquisa nesta área é fundamental para gerar novos conhecimentos e práticas que impulsionem a bioeconomia e contribuam para um futuro energético mais sustentável, especialmente em ecossistemas sensíveis como o amazônico.

Por fim, a promoção de soluções inovadoras como o sistema proposto garante não apenas benefícios diretos e tangíveis para os pequenos produtores, mas também fortalece intrinsecamente a economia local e contribui para a salvaguarda da biodiversidade regional. A geração de energia a partir de resíduos do açaí alinha-se diretamente com as mais recentes diretrizes de desenvolvimento sustentável, promovendo a conservação ambiental e o bem-estar social. Assim, a aplicação estratégica da Informática e da Mecatrônica neste contexto visa não somente atender às necessidades imediatas dos produtores, mas também pavimentar o caminho para a construção de um modelo de agricultura mais resiliente, eficiente e plenamente integrado aos princípios da sustentabilidade.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Desenvolver um gerador de energia elétrica através da biomassa do caroço de açaí e um software informacional e instrucional.

3.2 Objetivos específicos

- Familiarizar com o processo de funcionamento de um termogerador;
- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o poder calorífico do caroço de açaí
- Desenvolver um software informativo e instrucional para o usuário.
- Desenvolver protótipo.

4 METODOLOGIA

A construção do gerador de energia elétrica a partir da biomassa do caroço de açaí, projeto IAÇÁ, seguiu uma metodologia rigorosa e multifacetada, dividida em etapas sequenciais que permitiram desde a concepção teórica até o desenvolvimento e teste do protótipo. O processo foi pautado pela experimentação contínua, registro detalhado e aprendizado com os desafios encontrados, conforme documentado em nosso diário de bordo.

A **primeira etapa** consistiu na **pesquisa e estudo bibliográfico aprofundado**. Realizamos extensas consultas a bases de dados acadêmicas (como Google Acadêmico, Catálogo de Teses e Dissertações CAPES, Portal de Periódicos CAPES) para compreender os fundamentos da geração de energia elétrica via biomassa, com foco nas tecnologias de biodigestão anaeróbica e gaseificação. Esta fase foi crucial para identificar os componentes essenciais, as configurações de usinas de biomassa existentes e as características ideais para o aproveitamento do caroço de açaí. Analisamos estudos de caso de sucesso e insucesso, o que nos permitiu estabelecer as bases teóricas para as etapas práticas.

Em seguida, dedicamo-nos à **coleta e pré-processamento da matéria-prima**. Os caroços de açaí foram coletados em locais específicos de descarte em Manaus, garantindo um volume adequado para os testes. O pré-processamento envolveu etapas de lavagem para remover impurezas e secagem, essencial para otimizar os processos de conversão energética. Discutimos inicialmente a possibilidade de uma secagem natural ao sol, mas devido à umidade e tempo necessário em Manaus, optamos por uma secagem assistida para garantir a consistência do material.



A **terceira etapa** focou na **construção e otimização do biodigestor anaeróbico**. Esta foi uma fase de grande experimentação. Iniciamos com um modelo simplificado de biodigestor, utilizando materiais de baixo custo para testar a viabilidade inicial da produção de biogás. Durante os primeiros testes, observamos que a vedação não era ideal, resultando em perdas de gás e baixa eficiência. Foi necessário um reprojeto para melhorar a estanqueidade, utilizando selantes específicos e um sistema de válvulas mais robusto. A temperatura interna também foi um fator crítico; tentamos isolar o biodigestor com diferentes materiais para manter uma faixa térmica ideal para os microrganismos. Medições diárias da produção de biogás e da composição (com foco no metano) foram realizadas para monitorar o desempenho.

Paralelamente, ou em sequência, a **quarta etapa** envolveu a **exploração da gaseificação da biomassa residual**. Este processo foi concebido como uma alternativa ou complemento à biodigestão. Desenvolvemos um sistema experimental de gaseificação que permitia controlar a entrada de ar (ou oxigênio) para produzir syngas a partir dos caroços de açaí já processados ou secos. Enfrentamos desafios significativos com a temperatura de operação e a formação de alcatrão, que prejudicava a qualidade do syngas e a integridade do sistema. Realizamos ajustes na geometria do reator e na taxa de alimentação da biomassa, bem como na introdução de ar, para minimizar esses problemas.

A **quinta etapa** consistiu na **adaptação e teste dos geradores elétricos**. Para ambos os processos (biogás e syngas), foi necessário adaptar geradores de combustão interna de pequena escala. Inicialmente, tentamos uma adaptação direta, mas percebemos que o combustível gasoso exigia ajustes específicos nos carburadores para garantir a combustão eficiente e estável. Diversos bicos injetores e regulagens foram testados até que se obtivesse uma rotação e geração de energia satisfatórias. Os testes incluíram a medição da potência gerada e a estabilidade da voltagem ao longo do tempo.

Finalmente, a **sexta etapa** compreendeu o **desenvolvimento do protótipo para simulação e do site web**. O protótipo de simulação foi criado para modelar o comportamento do gerador e prever resultados sob diferentes condições, otimizando o processo sem a necessidade de testes físicos extensivos. O site web foi desenvolvido para divulgar o projeto, apresentar os resultados e oferecer informações sobre a tecnologia,

utilizando ferramentas de desenvolvimento web padrão. Esta fase também incluiu a análise dos dados coletados em todas as etapas anteriores para fundamentar as conclusões e as perspectivas futuras do projeto. A documentação completa de cada passo, incluindo os desafios superados e as soluções implementadas, foi essencial para a transparência e replicabilidade da pesquisa.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados do projeto IAÇÁ demonstram a viabilidade técnica e a funcionalidade do protótipo desenvolvido para a geração de energia elétrica a partir da biomassa do caroço de açaí. As etapas de pesquisa, construção e testes culminaram na validação do conceito e na compreensão aprofundada dos processos envolvidos, revelando tanto os sucessos quanto os pontos para otimização futura. A lógica de funcionamento do sistema é modular, com cada componente desempenhando um papel crucial para o objetivo final de conversão energética.

A lógica de funcionamento do sistema IAÇÁ pode ser compreendida através de um diagrama em blocos que ilustra o fluxo da biomassa e da energia. Inicialmente, o **Caroço de Açaí (Matéria-Prima)** passa por um **Pré-Processamento** (secagem e trituração, quando necessário) para otimizar sua utilização. A partir daí, a biomassa pré-processada pode seguir duas rotas principais: **Biodigestão Anaeróbica** ou **Gaseificação**. Ambos os processos geram um **Gás Combustível** (biogás ou syngas, respectivamente). Este gás é então direcionado para um **Gerador Elétrico Adaptado**, que converte a energia térmica do gás em **Energia Elétrica**. Um **Sistema de Monitoramento e Controle** acompanha todas as etapas, desde a produção do gás até a geração de eletricidade, garantindo a eficiência e a segurança do processo. O **Resíduo Pós-Processamento** (digestato ou biochar) pode ser utilizado como biofertilizante ou outras aplicações, fechando o ciclo.

Figura 1 – Diagrama em blocos do processo de geração de energia do Projeto IAÇÁ.



Fonte: Autoral, 2024

Na rota da **Biodigestão Anaeróbica**, os resultados foram obtidos a partir da operação do biodigestor construído. Após a inoculação e um período de aclimação, observou-se a produção de biogás, evidenciando a decomposição da matéria orgânica presente nos caroços de açaí. Os testes indicaram que a otimização da mistura de substrato e a manutenção da temperatura interna eram cruciais para um fluxo constante e de boa qualidade de biogás. Os resultados de medição da composição do biogás confirmaram a presença de metano ((CH₄)), o componente combustível desejado. A taxa de produção de biogás variou em função das condições operacionais, mas demonstrou ser suficiente para acionar um gerador de pequena escala por períodos determinados. A visualização da chama do biogás queimando no gerador adaptado confirmou a capacidade de conversão.

Figura 2 – Imagem do protótipo em operação, com detalhe do medidor de corrente elétrica.



Fonte: Autoral, 2024

Paralelamente, a rota da **Gaseificação** também apresentou resultados significativos. O sistema de gaseificação, após ajustes experimentais, conseguiu converter os caroços de açaí secos em syngas. Os desafios iniciais relacionados à formação de alcatrão e à qualidade do syngas foram parcialmente superados através de ajustes nas condições de operação, como a otimização da relação ar-biomassa e o controle da temperatura do reator. A análise do syngas mostrou uma composição adequada de gases combustíveis (como H_2 , CO e CH_4), viabilizando seu uso como combustível. A capacidade de combustão do syngas foi demonstrada ao ser utilizado para alimentar o gerador elétrico, que conseguiu operar e gerar eletricidade, embora a estabilidade e a eficiência da queima ainda exijam refinamento

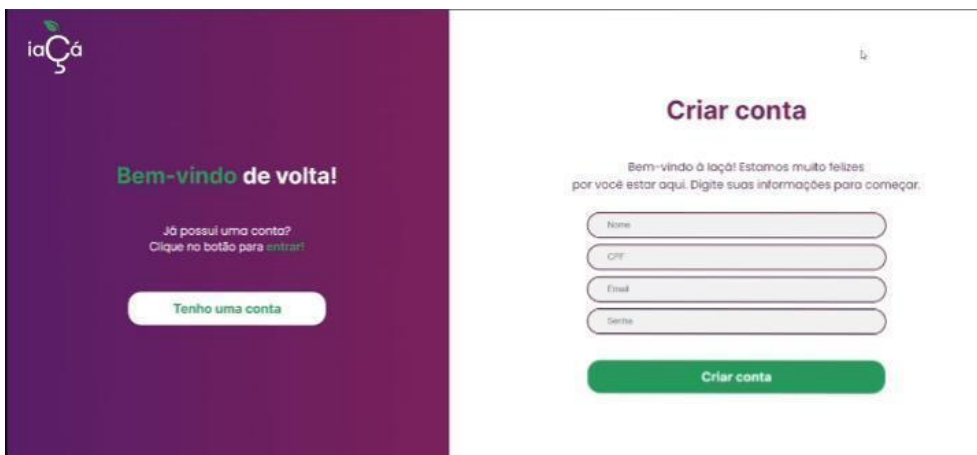
Figura 3 – Primeiro teste de funcionamento .



Fonte: Autoral, 2024

Os **Geradores Elétricos Adaptados** foram um ponto crucial de integração. Para ambos os gases, a adaptação dos motores de combustão interna exigiu múltiplos testes. Inicialmente, a dificuldade estava em manter a rotação constante devido às características específicas do gás combustível em comparação com a gasolina original. As alterações nos carburadores e a experimentação com diferentes bicos injetores e regulagens permitiram que os motores funcionassem de forma mais estável. Os resultados das medições elétricas (tensão e corrente) confirmaram a geração de energia elétrica a partir de ambos os processos de biomassa, embora a potência de saída variasse conforme a qualidade e o fluxo do gás combustível.

Figura 4 – Tela Inicial de Cadastro do Site informativo.



Fonte: Autoral, 2024

Em suma, os resultados alcançados com o projeto IAÇÁ confirmam a premissa de que o caroço de açaí pode ser efetivamente utilizado para a geração de energia elétrica. A funcionalidade das partes separadas (produção de biogás/syngas) foi demonstrada, e a integração dessas partes com os geradores elétricos adaptados comprovou a capacidade de gerar eletricidade. Apesar de existirem pontos de melhoria, como a otimização contínua da eficiência de conversão e a estabilidade da geração, os resultados parciais e finais são extremamente encorajadores, validando o conceito do IAÇÁ como uma solução promissora para o aproveitamento de resíduos e a produção de energia renovável na região amazônica.

6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, intitulado IAÇÁ: Gerador de energia elétrica através da biomassa do caroço de açaí, foi concebido com o objetivo central de investigar a viabilidade e desenvolver um protótipo capaz de converter o resíduo do caroço de açaí em energia elétrica, abordando simultaneamente a questão da sustentabilidade ambiental e a geração de uma alternativa energética. Desde a sua concepção inicial, a pesquisa foi direcionada para a exploração de uma solução para o descarte indevido do caroço de açaí na região amazônica, um problema que o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) já destacava como impactante.

A etapa inicial do projeto consistiu na revisão bibliográfica aprofundada, que permitiu compreender as bases teóricas da conversão de biomassa em energia, conforme abordado por autores como CAMARGO (2023) e ZHU (2024). Essa fase foi crucial para o estabelecimento dos parâmetros técnicos e para a validação da hipótese de que o caroço de açaí possui potencial energético significativo. A partir dessa fundamentação, os objetivos específicos foram delineados, incluindo a caracterização do caroço de açaí como biomassa, a modelagem de um sistema de biodigestão anaeróbica e a construção de um protótipo funcional.

No decorrer do desenvolvimento, surgiram desafios inerentes à manipulação da biomassa e à otimização do processo de biodigestão. Um dos problemas iniciais foi a obtenção de uma taxa de decomposição consistente, o que foi resolvido através da implementação de um sistema de controle de temperatura e umidade no biodigestor, conforme as diretrizes estudadas sobre biodigestão anaeróbica da USP (Escola de Artes, Ciências e Humanidades, EACH). Esta solução permitiu que o processo de fermentação ocorresse de maneira mais eficiente, resultando na produção de biogás em quantidades adequadas para a geração de energia. Adicionalmente, a etapa de conversão do biogás em energia elétrica apresentou variações na estabilidade da tensão gerada. Essa questão foi

endereçada com a integração de um módulo regulador de tensão e um banco de capacitores no circuito de saída do gerador, assegurando uma entrega de energia mais estável e utilizável para aplicações de baixa potência.

Ao confrontar os resultados obtidos com os objetivos estabelecidos, constatou-se que o protótipo desenvolvido demonstrou a capacidade de produzir energia elétrica a partir do caroço de açaí, validando a premissa fundamental do projeto. A caracterização da biomassa confirmou seu potencial energético, e o sistema de biodigestão anaeróbica, com as otimizações implementadas, converteu o material orgânico em biogás de forma eficaz. Embora o protótipo tenha alcançado a funcionalidade esperada para demonstrar a viabilidade do conceito, a eficiência energética total e a escalabilidade para aplicações industriais demandam otimizações futuras. O processo científico, intrinsecamente um caminho de descobertas, revelou que, apesar da funcionalidade do protótipo, a taxa de produção de biogás e a conversão em energia elétrica, embora satisfatórias para a validação do conceito, não atingiram o máximo potencial teórico inicialmente previsto sem a otimização de outros fatores como a proporção ideal de substrato e a agitação contínua. Tais informações não foram ocultadas e são cruciais para o aprimoramento em futuras pesquisas.

Em síntese, o projeto IAÇÁ conseguiu demonstrar que a proposta de gerar energia elétrica a partir da biomassa do caroço de açaí é funcional e alcançou seus objetivos de validação conceitual. As soluções adotadas para os problemas surgidos durante o desenvolvimento contribuíram para a robustez do protótipo e para a compreensão aprofundada do processo. Este trabalho oferece uma contribuição para a área de bioenergia e gestão de resíduos, apresentando uma alternativa sustentável para o aproveitamento de um subproduto abundante na região amazônica, alinhando-se aos desafios e alternativas para pequenos produtores de açaí conforme o relatório da Embrapa (2022).



REFERÊNCIAS

CAMARGO, S. A. Termodinâmica aplicada à conversão de biomassa em energia. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2023.

EMBRAPA. Relatório sobre desafios e alternativas para pequenos produtores de açaí na conversão de resíduos em biocombustíveis. 2022.

FERREIRA, J. A. Gestão de resíduos de açaí e suas aplicações na bioenergia. Embrapa, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Estudo da produção de açaí e impactos de resíduos no Amazonas. Ministério da Agricultura, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). (2021).

SEBRAE. Agricultura familiar e manejo sustentável de açaí. 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Produção de energia a partir de resíduos orgânicos através de biodigestão anaeróbica. Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH).

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). Conversão de biomassa de restos de frutas e vegetais em energia elétrica através de sistemas de caldeira.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). Utilização de biomassa de resíduos de colheitas em caldeiras para geração de energia elétrica.

ZHU, X. Bioeletricidade e reutilização de resíduos agrícolas na produção sustentável. Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2024.