

REATOR DE BIOMASSA COM MATERIAL RECICLADO PARA PRODUÇÃO DE EXTRATO PIROLENHOSO NO SEMIÁRIDO

BIOMASS REACTOR CONSTRUCTED FROM RECYCLED MATERIALS FOR
PYROLIGNEOUS EXTRACT PRODUCTION IN THE BRAZILIAN SEMIARID
REGION

Ciências Agrárias • 10/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/780968917](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/780968917)

Daniel Siqueira Mariano¹

Neiton Silva Machado²

Bruno França da Trindade Lessa³

Julio Cesar Ferreira Melo Junior⁴

Karla dos Santos Melo de Sousa⁵

Cristina Akemi Mogami⁶

RESUMO

A adoção de tecnologias de baixo custo para o aproveitamento da biomassa tem ganhado relevância no contexto da agricultura sustentável e da economia circular. Nesse cenário, o extrato pirolenhoso (EP), também denominado vinagre de madeira ou fumaça líquida, e o biochar apresentam múltiplas aplicações agrícolas e ambientais. Este trabalho relata a experiência de construção e avaliação de um reator experimental confeccionado com materiais metálicos reciclados para a produção de biochar e extrato pirolenhoso a partir de biomassa vegetal de *Bougainvillea glabra* na região semiárida do Brasil. O protótipo foi desenvolvido no Laboratório de Construções Rurais do Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco (CCA/UNIVASF), em Petrolina-PE. O reator foi composto por duas câmaras metálicas, de combustão e carbonização, associadas a um sistema de condensação e troca de calor para coleta do extrato. No ensaio experimental, utilizou-se 8,6 kg de biomassa seca na câmara de carbonização e a câmara de combustão foi alimentada com lenha de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. Após 2 h e 20 min de operação, foram coletados 1,2 L de extrato pirolenhoso, resultando em rendimento estabilizado de aproximadamente 93 mL kg⁻¹ de biomassa seca após o período de decantação e volatilização dos compostos mais leves. O produto apresentou pH 4,4, condutividade elétrica de 2,29 dS m⁻¹ e concentrações detectáveis de macronutrientes, destacando-se N (0,58 g L⁻¹), K (0,50 g L⁻¹) e Ca (0,60 g L⁻¹), além de micronutrientes como B, Cu, Mn, Zn e Fe. A comparação com um extrato pirolenhoso comercial revelou concentrações semelhantes de N, P e K, evidenciando o potencial agrônômico do produto obtido. Entretanto, o tempo de operação e a temperatura atingida na câmara de carbonização (130–150 °C) foram

insuficientes para promover a pirólise completa da biomassa e a consequente produção de biochar neste primeiro ensaio.

Palavras-chave: biochar; vinagre de madeira; pirólise de biomassa; agricultura sustentável.

ABSTRACT

The adoption of low-cost technologies for biomass valorization has gained increasing relevance within the context of sustainable agriculture and the circular economy. In this scenario, pyroligneous extract (PE), also known as wood vinegar or liquid smoke, and biochar have multiple agricultural and environmental applications. This study reports the experience of constructing and evaluating an experimental reactor made from recycled metallic materials for the production of biochar and pyroligneous extract from *Bougainvillea glabra* biomass in the Brazilian semiarid region. The prototype was developed at the Rural Constructions Laboratory of the Agricultural Sciences Campus of the Federal University of the São Francisco Valley (CCA/UNIVASF), located in Petrolina, Pernambuco, Brazil. The reactor consisted of two metallic chambers, one for combustion and another for carbonization, coupled to a condensation and heat-exchange system for pyroligneous extract collection. In the experimental trial, 8.6 kg of dry biomass were placed in the carbonization chamber, while the combustion chamber was fueled with *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir firewood. After 2 h and 20 min of operation, 1.2 L of pyroligneous extract were collected, resulting in a stabilized yield of approximately 93 mL kg⁻¹ of dry biomass after the settling period and volatilization of lighter compounds. The product exhibited a pH of 4.4, electrical conductivity of 2.29 dS m⁻¹, and detectable concentrations of macronutrients, particularly N (0.58 g L⁻¹), K (0.50 g L⁻¹), and Ca (0.60 g L⁻¹), as well as micronutrients such as B, Cu, Mn, Zn, and Fe. Comparison with a commercial

pyroligneous extract revealed similar concentrations of N, P, and K, highlighting the agronomic potential of the product obtained. However, the operating time and the temperature reached in the carbonization chamber (130–150 °C) were insufficient to promote complete biomass pyrolysis and the consequent production of biochar during this first trial.

Keywords: biochar; wood vinegar; biomass pyrolysis; sustainable agriculture.

1. INTRODUÇÃO

A biomassa tem sido amplamente investigada como fonte renovável de energia e matéria-prima para a produção de diversos produtos de interesse agrícola e industrial (Machado *et al.*, 2026). Entre os principais processos de conversão termoquímica utilizados para o aproveitamento energético da biomassa destacam-se a combustão, a gaseificação e a pirólise, sendo esta última responsável pela produção simultânea de biochar, gases combustíveis e extrato pirolenhoso (Lora e Andrade, 2009; Purohit, 2009).

O uso de subprodutos da destilação da madeira remonta à antiguidade, tendo sido formalmente categorizado pela ciência no século XIX (Patterson, 2021). Entre esses subprodutos destaca-se o extrato pirolenhoso (EP), um líquido obtido a partir da condensação da fumaça gerada durante a pirólise ou carbonização da biomassa vegetal para produção de carvão. Historicamente considerado um resíduo do processo de carbonização, o EP vem sendo progressivamente revalorizado como um insumo multifuncional, sobretudo no contexto da agricultura sustentável, mitigação de impactos ambientais e redução do uso de agroquímicos sintéticos.

Do ponto de vista químico, o extrato pirolenhoso é constituído majoritariamente por água (frequentemente superior a 80%) e por uma fração orgânica altamente complexa composta por mais de 200 substâncias, incluindo ácidos orgânicos, fenóis, aldeídos, cetonas, álcoois, furanos e ésteres (Mungkunkamchao et al., 2013; Sumanatrakul et al., 2015; Suresh et al., 2019; Zhu et al., 2020; Medeiros et al., 2022; Celletti et al., 2023; Fuhr et al., 2024). Essa diversidade química confere ao EP propriedades biológicas relevantes, como atividade antimicrobiana, potencial bioestimulante e ação reguladora em processos fisiológicos das plantas, embora também represente desafios relacionados à padronização de sua composição e ao manejo seguro em aplicações agrícolas.

Diversos estudos recentes têm destacado o potencial do biochar e dos extratos derivados da pirólise da biomassa como ferramentas promissoras para melhoria da fertilidade do solo, aumento da eficiência no uso de nutrientes e incremento da produtividade agrícola (Amalina et al., 2023; Bolan et al., 2024). Além disso, o extrato pirolenhoso tem sido investigado como bioestimulante agrícola e adjuvante em caldas de pulverização, apresentando efeitos positivos no desenvolvimento vegetal e na proteção contra patógenos (Cândido et al., 2023).

Apesar do crescente interesse científico e tecnológico nesses produtos, ainda existe uma carência significativa de tecnologias acessíveis para sua produção em pequena escala, especialmente em regiões semiáridas, onde a disponibilidade de biomassa vegetal e a necessidade de soluções sustentáveis para manejo do solo e aumento da produtividade agrícola são particularmente relevantes.

Nesse contexto, o desenvolvimento de protótipos experimentais de baixo custo para produção de biochar e extrato pirolenhoso pode representar uma alternativa importante para democratizar o acesso a essas tecnologias, possibilitando sua utilização tanto por agricultores familiares quanto por pesquisadores e instituições de ensino.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo relatar a experiência de desenvolvimento, construção e avaliação de um reator experimental construído com material metálico reciclado de baixo custo para produção de biochar e extrato pirolenhoso a partir de biomassa vegetal da região semiárida brasileira, contribuindo para a difusão de tecnologias acessíveis de conversão termoquímica da biomassa e para o fortalecimento de práticas agrícolas mais sustentáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo e Caracterização da Experiência

O estudo foi conduzido no Laboratório de Construções Rurais do Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), localizado no município de Petrolina, Pernambuco, Brasil. A atividade foi desenvolvida no âmbito de um projeto de iniciação científica voltado ao desenvolvimento de tecnologias acessíveis para o aproveitamento energético da biomassa, em parceria com o grupo de estudos EngBICS – Engenharia de Biossistema e Convivência com o Semiárido.

O trabalho caracteriza-se como um relato de experiência de natureza aplicada, envolvendo o desenvolvimento, construção e avaliação preliminar de um protótipo experimental destinado à

produção simultânea de biochar e extrato pirolenhoso a partir de biomassa vegetal.

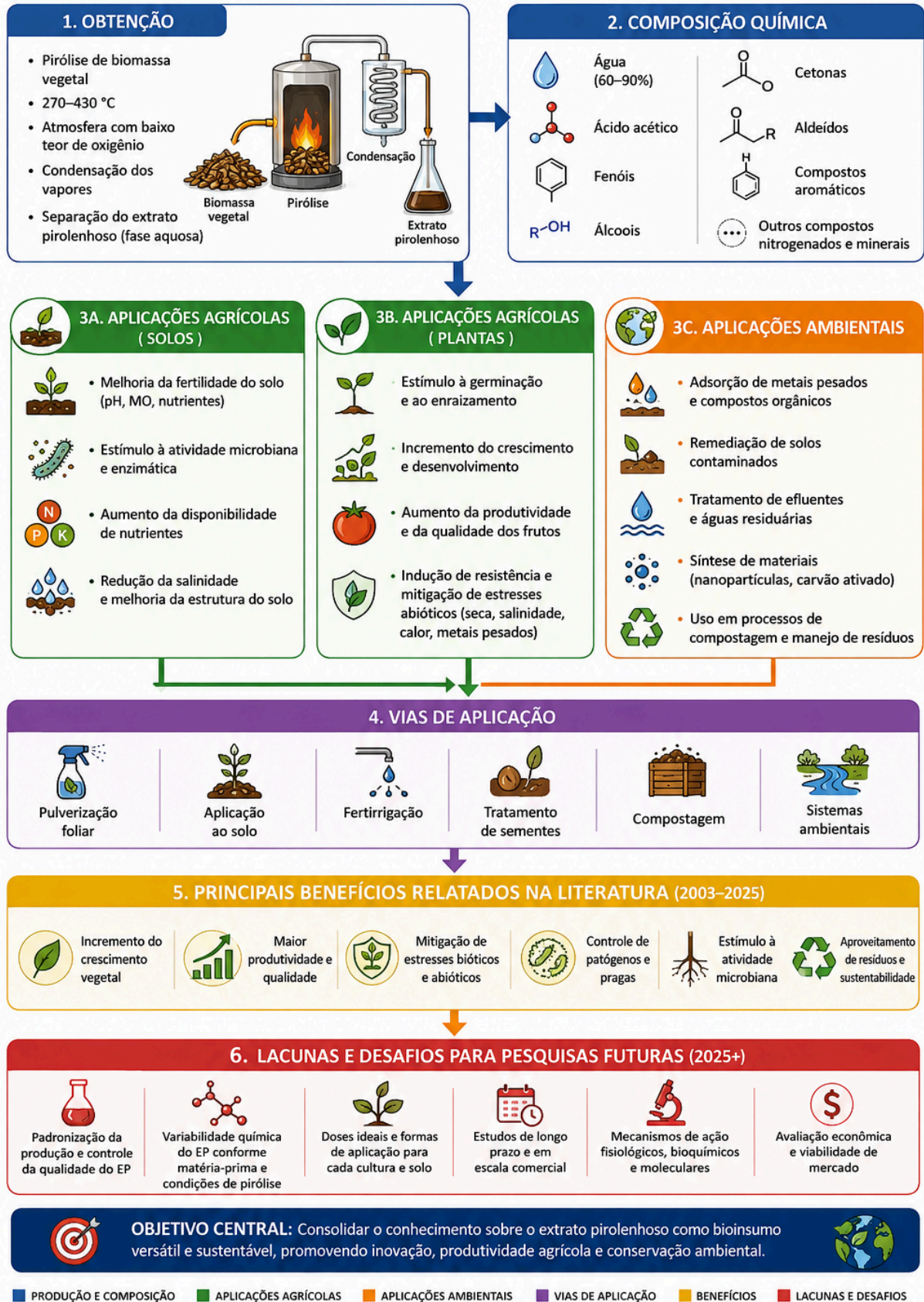
2.2. Levantamento Bibliográfico e Concepção do Protótipo

Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico em artigos científicos, documentos técnicos e publicações institucionais relacionadas aos processos de pirólise da biomassa e à produção de biochar e extrato pirolenhoso, conforme ilustrado no Roadmap da Figura 1. Foram consultadas bases de dados acadêmicas nacionais e internacionais tais como SciELO, Google Acadêmico e ScienceDirect.

Figura 1 - Roadmap das evidências científicas sobre Extrato Pirolenhoso (2000 - 2026)

ROADMAP DAS EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS SOBRE O EXTRATO PIROLENHOSO (2003–2025)

Revisão Quantitativa da Produção Científica



Fonte: Autores (2026)

Com o objetivo de identificar alternativas construtivas de baixo custo para a produção desses produtos, também foram analisados

conteúdos audiovisuais disponibilizados na plataforma YouTube, incluindo vídeos técnicos produzidos em países como Índia, Tailândia e Indonésia, reconhecidos pelo desenvolvimento de tecnologias simplificadas para aproveitamento da biomassa. As informações obtidas serviram como base para a adaptação e definição do modelo construtivo adotado no presente estudo.

2.3. Seleção dos Materiais e Aquisição dos Componentes

Após a etapa de planejamento, foi realizada a prospecção dos materiais necessários à construção do protótipo, com ênfase na identificação de recipientes metálicos adequados para compor as câmaras de combustão e carbonização.

A busca por fornecedores foi realizada por meio de plataformas digitais, especialmente o Google Maps, complementada por consultas diretas a estabelecimentos comerciais e indicações de contatos locais na região de Petrolina, Pernambuco. A pesquisa teve como objetivo identificar alternativas com melhor relação custo-benefício para aquisição dos recipientes metálicos utilizados na montagem do sistema.

Entre os fornecedores avaliados, o estabelecimento Acirilo Tambores apresentou as condições mais favoráveis de disponibilidade e custo, sendo selecionado para fornecimento dos tambores empregados na construção do reator.

2.4. Construção do Reator Experimental

O protótipo foi construído utilizando tambores metálicos reciclados, formando duas câmaras principais: uma câmara de combustão, destinada à geração de calor, e uma câmara de carbonização,

responsável pela pirólise da biomassa sob baixa disponibilidade de oxigênio.

Os recipientes metálicos foram cortados, adaptados e soldados para formação da estrutura do equipamento, utilizando principalmente esmerilhadeira angular e equipamentos convencionais de soldagem. As etapas construtivas e os materiais para construção do sistema são apresentadas nas Figuras 2 e 3.

Para monitoramento das condições térmicas do processo foram instalados dois termômetros analógicos, posicionados nas câmaras de combustão e carbonização, permitindo o acompanhamento da evolução da temperatura durante a operação do sistema.

As características dimensionais dos tambores utilizados na construção do reator são apresentadas na Tabela 1.

Figura 2 – Ilustração geral da construção da câmara de combustão e da câmara de carbonização do reator de produção de biochar e extrato pirolenhoso: A,B) Planejamento do furo para inserção da câmara de carbonização na câmara de combustão; C,D) Execução do furo na tampa da câmara de combustão; E,F) Fixação da câmara de carbonização na tampa da câmara de combustão; G) Abertura da boca de alimentação da câmara de combustão; H,I) Fixação dos sensores de temperatura; J) Reator em funcionamento; K) Teste manual do isolamento da base da câmara de combustão; L) Fim do processo de combustão do material lenhoso; M,N) Coleta e quantificação do extrato pirolenhoso



Figura 3 – Ilustração dos tambores metálicos utilizados para compor as câmaras de combustão (200L) e carbonização (80L) do reator de biomassa para produção de biochar e EP



Tabela 1 - Dimensões dos tambores

Volume do tambor (L)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Espessura da chapa (mm)	Tipo de trava da tampa
200	610	849	1,06 (Bitola ϕ 18)	Fecho rápido
80	474	617	1,06 (Bitola ϕ 18)	Parafuso e porca

Fonte: RAFT Embalagens Ltda adaptado pelos autores (2026).

2.5. Sistema de Condensação e Isolamento Térmico

Para coleta do extrato pirolenhoso foi instalado um sistema de condensação acoplado à chaminé do reator, constituído por dois tubos metálicos concêntricos com diâmetros externos de 31,75 mm (1¼") e 25 mm (1"), respectivamente, e comprimento aproximado de 6 m.

Nesse sistema, a fumaça gerada durante a carbonização percorre a tubulação interna, enquanto água em temperatura ambiente circula pelo tubo externo, promovendo o resfriamento dos gases e a consequente condensação dos compostos voláteis. O líquido condensado foi coletado em recipiente apropriado para posterior quantificação e caracterização.

Com o objetivo de reduzir perdas térmicas durante a operação do equipamento, foi realizado o isolamento da base da câmara de combustão utilizando uma mistura composta por cimento, areia, argila expandida e água, na proporção 1:3:1:0,66, formando uma camada isolante ao redor da estrutura.

2.6. Ensaio Experimental de Carbonização

A avaliação do funcionamento do protótipo foi realizada por meio de um ensaio experimental utilizando biomassa de *Bougainvillea glabra*, espécie amplamente distribuída na região semiárida brasileira.

A câmara de carbonização foi preenchida com 8,6 kg de biomassa seca, enquanto a câmara de combustão foi abastecida com lenha de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir (jurema-preta), utilizada como fonte de energia térmica para o processo.

Durante a operação do sistema foram monitoradas as temperaturas nas duas câmaras por meio dos termômetros instalados, bem como o tempo total de funcionamento do reator. Simultaneamente, foi realizada a coleta do extrato pirolenhoso produzido por meio do sistema de condensação conectado à chaminé.

Ao final do experimento foram quantificados o volume de extrato obtido e os principais parâmetros operacionais observados durante o processo de carbonização.

2.7. Caracterização Físico-química do Extrato Pirolenhoso

Após a coleta, o extrato pirolenhoso foi armazenado em recipientes apropriados e encaminhado para análises físico-químicas. Foram determinados os valores de pH, condutividade elétrica, carbono, matéria orgânica, relação C/N, macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na).

Os resultados obtidos foram comparados com os valores fornecidos para um extrato pirolenhoso comercial, permitindo uma avaliação

preliminar da qualidade do produto obtido pelo protótipo desenvolvido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Principais Evidências do Levantamento Bibliográfico

Os estudos analisados (Tabela 2) demonstram que o extrato pirolenhoso (EP) atua de forma multifuncional na agricultura, apresentando resultados variáveis conforme a cultura, a praga-alvo e a dosagem aplicada. No controle fitossanitário, o EP mostrou-se altamente eficaz na redução de ninfas de mosca-branca em meloeiro na dose de 2 mL/L e na indução de mortalidade significativa de ácaros em laranjeiras em concentrações iguais ou superiores a 1:150 (0,67%). Além disso, a aplicação de EP a 3% em brássicas resultou em até 86% de mortalidade larval da traça-das-crucíferas, enquanto o uso em capim-limão reduziu a severidade da ferrugem das folhas. No desenvolvimento vegetal, o produto destacou-se como bioestimulante, com doses recomendadas de 0,6% para o crescimento de orquídeas e 1% para o enraizamento de estacas de videira.

A capacidade do EP em mitigar estresses abióticos também foi evidenciada, em que doses de 1% a 2% atenuaram os efeitos negativos da salinidade em girassóis e pitangueiras, além de favorecerem a recuperação fisiológica de mudas sob déficit hídrico. Contudo, a sensibilidade das culturas à dosagem é um fator crítico, visto que aplicações superiores a 1% demonstraram efeitos fitotóxicos em sementes de braquiária, milho e feijão, inibindo a germinação e o vigor inicial. Por fim, o EP tem sido validado como adjuvante em herbicidas, permitindo a redução de doses comerciais

de 2,4-D e glifosato no manejo de plantas daninhas e na dessecação de cana-de-açúcar, mantendo a eficácia do controle. Outras aplicações inovadoras incluem o seu uso como indutor de resistência via acúmulo de fitoalexinas em soja e sorgo e como inibidor da urease in vitro, potencializando a eficiência de fertilizantes nitrogenados.

Tabela 1 - Principais evidências científicas sobre Extrato Pirolenhoso (EP) publicadas entre 2000 a 2026 em periódicos revisados por pares de acesso aberto (Open Access)

Região Geográfica	Culturas Estudadas	Objetivo do Estudo	Dose Recomendada/Testada	Principal Resultado	Fonte
Controle de Pragas e Doenças					
Ceará, Brasil	Meloeiro (Cucumis melo)	Testar eficiência contra mosca-branca.	2 mL/L	EP controlou ninfas e agiu como ativador	AZEVE et al (2001)

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/reator-de-biomassa-com-material-reciclado-para-producao-de-extrato-pirolenhoso-no-semiarido?noblockage>

3.2. Desempenho Operacional do Reator e Comportamento Térmico do Sistema

A construção do protótipo foi concluída com sucesso (Figura 1), possibilitando a realização do primeiro ensaio experimental de carbonização da biomassa. O equipamento foi desenvolvido a partir

de tambores metálicos reciclados e estruturado em duas câmaras principais: uma câmara de combustão, responsável pela geração de calor, e uma câmara de carbonização, destinada à pirólise da biomassa sob baixa disponibilidade de oxigênio. A configuração adotada segue o princípio de funcionamento de sistemas simplificados de produção de biochar e extrato pirolenhoso, nos quais o calor gerado pela combustão é transferido para a câmara superior, promovendo a degradação térmica da biomassa.

As Figuras 1 e 2 apresentam as principais etapas construtivas do reator e os recipientes metálicos empregados na montagem do sistema, enquanto a Tabela 1 descreve as características dimensionais dos tambores utilizados nas câmaras de combustão e carbonização.

Durante a operação do reator foram registradas temperaturas entre 350 e 400 °C na câmara de combustão e entre 130 e 150 °C na câmara de carbonização. Esses valores indicam que o sistema atingiu condições térmicas compatíveis com as etapas iniciais da pirólise da biomassa lignocelulósica. Segundo Cortez, Lora e Ayarza (2006) e Sharma (2009), os processos de pirólise normalmente ocorrem entre 300 e 500 °C, dependendo da biomassa utilizada, da taxa de aquecimento e das condições operacionais do sistema.

A degradação térmica da hemicelulose ocorre aproximadamente entre 200 e 260 °C, enquanto a decomposição da celulose se intensifica entre 240 e 350 °C. A lignina, por sua vez, apresenta decomposição gradual em uma faixa térmica mais ampla. Embora as temperaturas registradas na câmara de carbonização não tenham alcançado valores típicos de uma pirólise mais intensa, foram

suficientes para promover a liberação de vapores orgânicos condensáveis, posteriormente convertidos em extrato pirolenhoso.

Os resultados demonstram que a configuração construtiva adotada foi capaz de promover o aquecimento da biomassa e a geração de produtos condensáveis, evidenciando o funcionamento adequado do sistema proposto. Entretanto, as temperaturas observadas sugerem a necessidade de melhorias no isolamento térmico e na transferência de calor para obtenção de condições mais favoráveis à carbonização completa da biomassa.

3.3. Produção e Rendimento do Extrato Pirolenhoso

Após aproximadamente 2 horas e 20 minutos de operação, foram coletados 1.200 mL de extrato pirolenhoso por meio do sistema de condensação acoplado à chaminé (Figura 2N), evidenciando o funcionamento adequado do conjunto de condução e resfriamento dos gases pirolíticos. O extrato obtido resulta da condensação dos vapores liberados durante a degradação térmica da biomassa e constitui uma mistura complexa de compostos orgânicos e minerais dissolvidos.

Após o período de repouso e estabilização em laboratório, observou-se redução de aproximadamente 400 mL no volume inicialmente coletado, resultando em um volume final de 800 mL. Essa diminuição é atribuída principalmente à evaporação de compostos orgânicos leves e de baixo ponto de ebulição, como metanol, acetona e outras substâncias voláteis presentes no condensado recém-produzido.

Considerando a massa inicial de biomassa utilizada (8,6 kg), o rendimento correspondeu a aproximadamente 140 mL de extrato

por quilograma de biomassa seca, considerando o volume bruto coletado, ou cerca de 93 mL kg⁻¹ quando considerado o volume estabilizado. A obtenção de extrato pirolenhoso já no primeiro ensaio experimental demonstra a funcionalidade do sistema desenvolvido e evidencia o potencial do protótipo para aplicações em pequena escala voltadas à agricultura familiar, pesquisa acadêmica e iniciativas de economia circular.

3.4. Caracterização Físico-química do Extrato Pirolenhoso

A análise química do extrato produzido (Tabela 3) revelou a presença de nutrientes relevantes para aplicações agrícolas, incluindo nitrogênio (0,58 g L⁻¹), fósforo (0,08 g L⁻¹), potássio (0,50 g L⁻¹) e cálcio (0,60 g L⁻¹), além de micronutrientes como ferro, manganês, cobre, zinco e boro. A presença desses elementos reforça o potencial do produto como bioinsumo complementar em sistemas agrícolas.

O pH do extrato foi de 4,4, indicando caráter ácido, característica típica dos extratos pirolenhosos em função da presença de ácidos orgânicos formados durante a decomposição térmica da biomassa, especialmente ácido acético. A condutividade elétrica foi de 2,29 dS m⁻¹, indicando a presença de sais e compostos solúveis na solução.

De modo geral, os parâmetros físico-químicos observados confirmam a obtenção de um extrato pirolenhoso funcional, contendo nutrientes e compostos potencialmente úteis para aplicações agrícolas, embora a composição final dependa fortemente da biomassa utilizada e das condições operacionais do processo de pirólise.

Tabela 2 - Resultado da análise química do extrato pirolenhoso produzido no protótipo versus extrato pirolenhoso comercial

Parâmetro	Unidade	Extrato comercial	Extrato experimental
Nitrogênio (N)	g L ⁻¹	0,58	0,58
Fósforo (P)	g L ⁻¹	0,08	0,08
Potássio (K)	g L ⁻¹	0,50	0,50
Cálcio (Ca)	g L ⁻¹	0,05	0,60
Magnésio (Mg)	g L ⁻¹	0,05	0,01
Carbono (C)	g L ⁻¹	7,44	1,92
Relação C/N	—	12,83	3,31
Enxofre (S)	g L ⁻¹	NS	NS
Matéria Orgânica (M.O.)	g L ⁻¹	12,83	3,31
Condutividade elétrica (CE)	dS m ⁻¹	1,81	2,29
pH	—	3,10	4,40
Boro (B)	mg L ⁻¹	42,6	49,9
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	1,0	4,0
Ferro (Fe)	mg L ⁻¹	11,0	1194,0
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	2,6	8,0
Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	3,0	4,0
Sódio (Na)	mg L ⁻¹	10,0	10,0

Cloro (Cl)	mg L ⁻¹	NS	NS
RAS	—	0,2	0,1

Fonte: Autores (2026).

3.5. Comparação com Extrato Comercial e com Valores Reportados na Literatura

A comparação entre o extrato pirolenhoso comercial e o extrato obtido no protótipo experimental (Tabela 2) revelou diferenças importantes na composição química dos materiais avaliados. As concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio foram semelhantes entre os dois produtos, indicando que o sistema experimental foi capaz de gerar um extrato com características nutricionais básicas comparáveis às de um produto comercial.

Por outro lado, o extrato experimental apresentou maior concentração de cálcio (0,60 g L⁻¹) em comparação ao produto comercial (0,05 g L⁻¹), possivelmente em função das características da biomassa utilizada ou da mobilização de minerais durante o processo de aquecimento. Em contraste, os teores de carbono total, matéria orgânica e relação C/N foram inferiores aos observados no produto comercial, sugerindo menor concentração de compostos orgânicos condensáveis.

O pH obtido para o extrato experimental (4,4) situou-se acima da faixa normalmente reportada para produtos de maior qualidade agrícola, frequentemente entre 2,0 e 3,6. Essa menor acidez sugere menor concentração de ácidos orgânicos livres, especialmente ácido acético, composto frequentemente associado às propriedades antimicrobianas e bioestimulantes do extrato pirolenhoso.

A baixa concentração de carbono orgânico observada no extrato experimental também é consistente com a hipótese de que as temperaturas registradas na câmara de carbonização (130–150 °C) foram insuficientes para promover uma pirólise mais intensa da biomassa. Segundo Oliveira (2025), temperaturas inferiores a aproximadamente 270 °C tendem a produzir extratos mais diluídos e com menor concentração de fenóis, ácidos carboxílicos e outros compostos orgânicos de interesse agrônômico.

Entre os micronutrientes avaliados, destacou-se a elevada concentração de ferro no extrato experimental (1.194 mg L⁻¹), valor aproximadamente 108 vezes superior ao observado no produto comercial (11 mg L⁻¹). Essa diferença sugere fortemente a ocorrência de lixiviação metálica a partir dos tambores reciclados utilizados na construção do reator, processo favorecido pelo ambiente ácido gerado durante a condensação dos vapores pirolenhosos.

Embora o uso de materiais reciclados represente uma alternativa economicamente atrativa, esse resultado evidencia a necessidade de avaliações complementares quanto à segurança do produto obtido. Recomenda-se que futuras versões do equipamento utilizem recipientes com revestimento interno inerte ou materiais resistentes à corrosão, reduzindo o risco de contaminação metálica do extrato produzido.

3.6. Limitações do Sistema e Perspectivas de Aperfeiçoamento

Apesar do desempenho satisfatório na produção de extrato pirolenhoso, não foi possível obter biochar no primeiro ensaio experimental. O tempo de operação adotado foi suficiente para promover a formação de vapores condensáveis, mas insuficiente

para completar a carbonização da biomassa e produzir um material carbonáceo estável.

As dificuldades observadas durante o experimento, incluindo a ausência de formação de biochar, as perdas de volume por evaporação e as temperaturas relativamente baixas registradas na câmara de carbonização, indicam a necessidade de melhorias no desempenho térmico e estrutural do sistema. Ajustes relacionados ao manejo da combustão, aumento do isolamento térmico, otimização da transferência de calor e aperfeiçoamento da vedação do sistema podem contribuir para aumentar a eficiência do processo.

Além disso, o estudo apresenta limitações metodológicas inerentes ao caráter exploratório da experiência realizada. O experimento foi conduzido em escala única, sem repetições e com controle térmico limitado, impossibilitando análises estatísticas de reprodutibilidade. Outra limitação importante refere-se à ausência de caracterização dos compostos orgânicos do extrato, especialmente ácido acético, furfural e compostos fenólicos, considerados os principais responsáveis pelas propriedades biológicas do produto.

Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros incluam maior controle operacional do processo, repetições experimentais, avaliação de diferentes biomassas e caracterização química detalhada por técnicas como cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). Essas ações permitirão aperfeiçoar o sistema desenvolvido e ampliar o conhecimento sobre a qualidade e o potencial agrônomo do extrato pirolenhoso produzido.

4. CONCLUSÕES

A experiência relatada demonstrou a viabilidade técnica da construção de um reator de carbonização de biomassa utilizando materiais metálicos reciclados.

O protótipo desenvolvido apresentou funcionamento satisfatório, permitindo a produção de extrato pirolenhoso em curto período de operação e com baixo custo de construção.

Os resultados indicam que a tecnologia possui potencial para aplicação em pesquisas experimentais e em sistemas agrícolas sustentáveis, especialmente em regiões semiáridas.

Além disso, o estudo contribui para a disseminação de tecnologias acessíveis voltadas ao aproveitamento da biomassa e à produção de insumos agrícolas alternativos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Vale do São Francisco - Univasf pelo espaço e concessão da bolsa de iniciação científica ao discente de graduação em engenharia agrônômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. et al. Ação de diferentes preparações de extrato pirolenhoso sobre *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 382-385, ago. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000200036>.

AMALINA, F.; KRISHNAN, S.; ZULARISAM, A. W.; NASRULLAH, M. Recent advancement and applications of biochar technology as a multifunctional component towards sustainable environment. ***Environmental Development***, v. 46, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100852>

AZEVEDO, F. R. de et al. Eficiência de produtos naturais para o controle de *Bemisia tabaci* biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em meloeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 72, n. 1, p. 73-79, jan./mar. 2005. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/docs/arq/v72_1/azevedo.pdf.

BOLAN, N. S.; MINEKAWA, C.; KUMAR, A.; SINGH, B.; SHU, C.; ROMBRE, A.; et al. Biochar modulating soil biological health: a review. *Science of the Total Environment*, v. 914, p. 169585, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169585>

CÂNDIDO, N. R. et al. Extratos pirolenhosos de casca de coco, acácia negra e eucalipto: caracterização físico-química e avaliação in vitro como potenciais inibidores da urease. **Química Nova**, São Paulo, v. 46, n. 10, p. 961-971, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230079>.

CÂNDIDO, N. R.; PASA, V. N. D.; VILELA, A. O.; CAMPOS, A. D.; FÁTIMA, A.; VALENTINA, L. Understanding the multifunctionality of pyroligneous acid from waste biomass and the potential applications in agriculture. ***Science of the Total Environment***, v. 881, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163349>

CELLETTI, S. et al. Exploring sustainable alternatives: Wood distillate alleviates the impact of bioplastic in basil plants. ***Science of the***

Total Environment, v. 900, 166484, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166484>.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S.; AYARZA, J. A. C. **Biomassa para energia**. Campinas: Editora UNICAMP, 2006. Disponível em: <https://www.editoraunicamp.com.br>

FERREIRA, A. dos S. et al. Pyroligneous acid extract as an attenuator of salt stress in Surinam cherry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 29, n. 8, e291047, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n8e291047>.

FERREIRA, A. dos S. et al. Pyroligneous extract as a mitigator of water deficit in pitanga plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 29, n. 2, e286827, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n2e286827>.

FERREIRA, A. dos S. et al. Pyroligneous solution as a salt stress attenuator in BRS 323 sunflower. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 37, e12302, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v37i12302rc>.

FUHR, L. T. et al. Characterization of titanium oxide thin films obtained by galvanostatic anodization in black acacia pyroligny liqueur. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 29, p. 2520–2532, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.01.160>.

GAMA, G. S. P. et al. Effect of pH on the antibacterial and antifungal activity of wood vinegar (pyroligneous extract) from eucalyptus.

Revista Árvore, Viçosa, v. 47, e4711, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-908820230000011>.

KUMI, V. M. et al. Germinação de sementes de braquiária em extrato pirolenhoso. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 22, n. 6, e4435, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n6-240>.

LORA, E. S.; ANDRADE, R. V. Biomass as energy source in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 777–788, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.001>

LORENZETTI, E. R. et al. Controle da ferrugem das folhas do capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf] com produtos naturais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 571-578, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000400001>.

MACHADO, N.S et al. Extrato pirolenhoso na agricultura e sistemas agroindustriais: uma revisão. **REMUNOM**, [S. l.], v. 11, pág. 1–33, 2026. Disponível em: <https://remunom.ojsbr.com/multidisciplinar/article/view/6581>

MEDEIROS, L. C. D. et al. Dual action of pyroligneous acid in the eco-friendly synthesis of bactericidal silver nanoparticles. **Heliyon**, v. 8, e11234, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11234>.

MELO, T. A. de et al. Produtos naturais disponíveis comercialmente induzem o acúmulo de fitoalexinas em cotilédones de soja e mesocótilos de sorgo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 43, n.

3, p. 205-211, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/167358>.

MENDONÇA, J. M. A. de et al. Produtos naturais e sintéticos no controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) e seus efeitos sobre a predação por vespas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 892-899, set./out. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000500007>.

MORANDI FILHO, W. J. et al. Ação de produtos naturais sobre a sobrevivência de *Argyrotaenia sphaleropa* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae) e seletividade de inseticidas utilizados na produção orgânica de videira sobre *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1072-1078, jul./ago. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000400005>.

MORANDI FILHO, W. J. et al. Biologia comparada de *Argyrotaenia sphaleropa* (Meyrick, 1909) (Lepidoptera: Tortricidae) em dieta artificial contendo extratos vegetais. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 3, p. 325-331, jul./set. 2006. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/docs/arq/v73_3/morandi.pdf.

MUNGKUNKAMCHAO, T. et al. Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 154, p. 66-72, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.020>.

OLIVEIRA, J. D. R. Caracterização físico-química de extrato pirolenhoso de carvão vegetal e sua aplicação na miniestaquia de *Eucalyptus urophylla*. 2025. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências

Florestais)–Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Montes Claros, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/>

PATTERSON, G. Cellulose before CELL: Historical themes. ***Carbohydrate Polymers***, v. 252, 117182, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117182>.

PEREIRA, M. G. et al. Reduction of glyphosate dose in sugarcane desiccation with pyroligneous extract. **Revista de Gestão e Secretariado**, São Paulo, v. 16, n. 8, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.7769/gesec.v16i8>.

PUROHIT, P. Economic potential of biomass gasification projects under clean development mechanism in India. ***Journal of Cleaner Production***, v. 17, p. 181–193, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.03.004>

SANTOS, L. L. C. dos et al. Efficiency of reduced rates of 2,4-D in mixture with wood vinegar in weed control. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 6, e5093, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n6-203>.

SCHNITZER, J. A. et al. Doses de extrato pirolenhoso no cultivo de orquídea. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 1, p. 101-106, jan./fev. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010013>.

SCHNITZER, J. A. et al. Substratos e extrato pirolenhoso no cultivo de orquídeas brasileiras *Cattleya intermedia* (John Lindley) e *Miltonia clowesii* (John Lindley) (Orchidaceae). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 139-143, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.714>.

SHARMA, A. K. Experimental study on 75 kWth downdraft biomass gasifier system. **Renewable Energy**, v. 34, p. 1726–1733, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.010>

SILVA, A. et al. Influence of biostimulants via drone on maize production. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 7, n. 1, p. 1-15, 2024.

SILVA, D. W. da et al. Efeito do extrato pirolenhoso no desenvolvimento inicial de plantas de milho e feijão. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 7, n. 1, p. 93-102, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21674/2448-0479.71.93-102>.

SOUZA, E. M. de et al. Efeito do ácido indolbutírico e de extratos pirolenhosos na propagação de videira Itália e no desenvolvimento do porta-enxertos IAC-572. **Revista Ouricuri**, Juazeiro, v. 15, n. 1, p. 03-10, jan./jun. 2025. Disponível em: <http://www.revistas.uneb.br/index.php/ouricuri>.

SOUZA-SILVA, A.; ZANETTI, R. Forrageamento por *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae) a campo em mudas de eucalipto pulverizadas ou imersas em soluções de extrato pirolenhoso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 753-759, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000400021>.

SUMANATRAKUL, P. et al. Utilization of Dendrocalamus Asper Backer Bamboo Charcoal and Pyroligneous Acid. **Energy Procedia**, v. 79, p. 691–696, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.552>.

SURESH, G. et al. In vitro evaluation of antimicrobial efficacy of pyroligneous acid from softwood mixture. **Biotechnology Research**

and Innovation, v. 3, n. 1, p. 47-53, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.02.004>.

THULER, R. T. et al. Interação tritrófica e influência de produtos químicos e vegetais no complexo: brássicas x traça-das-crucíferas x parasitóides de ovos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1154-1160, jul./ago. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000400014>.

WANDERLEY, C. da S.; FARIA, R. T. de; VENTURA, M. U. Chemical fertilization, organic fertilization and pyroligneous extract in the development of seedlings of areca bamboo palm (*Dyopsis lutescens*). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 2, p. 163-167, abr./jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i2.12488>.

ZANETTI, M. et al. Influência do extrato pirolenhoso na calda de pulverização sobre o teor foliar de nutrientes em limoeiro 'Cravo'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 529-533, dez. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000300040>.

ZANETTI, M. et al. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 508-512, dez. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000300036>.

ZHU, Y. et al. A possible environmental-friendly removal of *Microcystis aeruginosa* by using pyroligneous acid. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 205, 111159, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111159>

¹ Discente do Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, Petrolina-PE, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8046-5963>.

² Engenheiro Agrícola e Ambiental, Engenheiro Civil, mestre e doutor em Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, Petrolina-PE, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6049-2279>.

³ Engenheiro Agrônomo, mestre e doutor em Agronomia/Fitotecnia – Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, Petrolina-PE, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0472-1417>.

⁴ Engenheiro Agrícola, doutor em Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, Petrolina-PE, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3843-9724>.

⁵ Engenheira Agrícola, mestre e doutora em Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, Petrolina-PE, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5000-0330>.

⁶ Zootecnista, mestre e doutora em Engenharia Agrícola – Instituto Federal do Sertão Pernambucano IFSertãoPE, Petrolina-PE, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8584-9880>.

