REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

EXTRATO PIROLENHOSO NA AGRICULTURA E EM SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS: REVISÃO

PYROLIGNEOUS EXTRACT IN AGRICULTURE AND AGROINDUSTRIAL SYSTEMS: A REVIEW

EXTRACTO PIROLENHOSO EN LA AGRICULTURA Y EN SISTEMAS AGROINDUSTRIALES: REVISIÓN

Neiton Silva Machado
Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, Campus de Ciências Agrárias - CCA, Petrolina, Pernambuco, Brasil
neiton.machado@univasf.edu.br

Bruno França da Trindade Lessa
Doutor em agronomia/fitotecnia, Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, Campus de Ciências Agrárias - CCA, Petrolina, Pernambuco, Brasil
bruno.ftlessa@univasf.edu.br

Júlio César Ferreira de Melo Júnior
Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, Campus de Ciências Agrárias - CCA, Petrolina, Pernambuco, Brasil
E-mail: julio.melo@univasf.edu.br

Fábio Luiz Zanatta
Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Piauí – UFPI, Bom Jesus, Piauí, Brasil
fabio.zanatta@ufpi.edu.br

Samuel Martin
Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Distrito Federal, Brasil
samuelmartin@unb.br

Cristina Akemi Mogami
Doutora em Engenharia Agrícola, Instituto Federal do Sertão Pernambucano – IFSertãoPE, Petrolina, Pernambuco, Brasil
cristina.mogami@ifsertao-pe.edu.br

Resumo:
O extrato pirolenhoso (EP), também denominado vinagre de madeira ou licor da madeira, é um subproduto líquido obtido pela pirólise da biomassa, amplamente investigado por seu potencial multifuncional na agricultura e em sistemas agroindustriais. Sua composição química complexa, constituída por mais de 200 compostos orgânicos, confere-lhe propriedades bioestimulantes, antimicrobianas e mitigadoras de estresses bióticos e abióticos. Este trabalho apresenta uma revisão de literatura sistematizada e quantitativa, que reúne e analisa os avanços científicos relacionados à composição química do EP, aos fatores de produção, aos métodos de obtenção, às aplicações agronômicas, ao controle fitossanitário e às inovações tecnológicas a ele associadas, com base em artigos publicados em periódicos científicos de acesso aberto. Os resultados da revisão indicam que, embora o EP represente uma ferramenta promissora para a agricultura sustentável, a valorização de resíduos e a economia circular, sua eficácia e segurança dependem do ajuste criterioso de doses, formas de aplicação e contexto produtivo.
Palavras-chave: pirólise de biomassa; ácido pirolenhoso; vinagre de madeira; biochar; bioinsumo; agricultura sustentável.

Abstract:
Pyroligneous extract (PE), also known as wood vinegar or wood liquor, is a liquid by-product obtained from biomass pyrolysis, widely investigated for its multifunctional potential in agriculture and

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

agroindustrial systems. Its complex chemical composition, comprising more than 200 organic compounds, confers biostimulant, antimicrobial, and stress-mitigating properties against both biotic and abiotic factors. This study presents a systematized and quantitative literature review that gathers and analyzes scientific advances related to the chemical composition of PE, production factors, extraction methods, agronomic applications, phytosanitary control, and associated technological innovations, based on articles published in open-access scientific journals. The findings of the review indicate that, although PE represents a promising tool for sustainable agriculture, waste valorization, and the circular economy, its efficacy and safety depend on the judicious adjustment of dosage, application methods, and productive context.
Keywords: Biomass pyrolysis; Pyroligneous acid; Wood vinegar; Biochar; Bioinput; Sustainable agriculture

Resumen:
El extracto piroleñoso (EP), también denominado vinagre de madera o licor de madera, es un subproducto líquido obtenido por la pirólisis de la biomasa, ampliamente investigado por su potencial multifuncional en la agricultura y en los sistemas agroindustriales. Su compleja composición química, constituida por más de 200 compuestos orgánicos, le confiere propiedades bioestimulantes, antimicrobianas y mitigadoras de estrés biótico y abiótico. Este trabajo presenta una revisión bibliográfica sistematizada y cuantitativa que reúne y analiza los avances científicos relacionados con la composición química del EP, los factores de producción, los métodos de obtención, las aplicaciones agronómicas, el control fitosanitario y las innovaciones tecnológicas asociadas, con base en artículos publicados en revistas científicas de acceso abierto. Los resultados de la revisión indican que, si bien el EP representa una herramienta prometedora para la agricultura sostenible, la valorización de residuos y la economía circular, su eficacia y seguridad dependen del ajuste criterioso de dosis, formas de aplicación y contexto productivo.
Palabras clave: Pirólisis de biomasa; Ácido pirolenhoso; Vinagre de madera; Biocarbón; Bioinsumo; Agricultura sostenible.

1. INTRODUÇÃO

O uso de subprodutos da destilação da madeira remonta à Antiguidade, tendo sido formalmente estudado pela ciência no século XIX (Patterson, 2021). Entre esses subprodutos, o extrato pirolenhoso (EP) também denominado ácido pirolenhoso ou vinagre de madeira destaca-se como um líquido condensado obtido a partir da fumaça gerada durante a pirólise da biomassa para a produção de carvão vegetal. Tradicionalmente considerado um resíduo do processo produtivo, o EP tem sido progressivamente revalorizado como insumo multifuncional, especialmente no contexto da agricultura sustentável e agroecológica, da mitigação de impactos ambientais e da substituição parcial de agroquímicos sintéticos.

Do ponto de vista químico, o EP é constituído majoritariamente por água — fração frequentemente superior a 80% — e por uma fração orgânica altamente complexa, composta por mais de 200 substâncias, entre as quais se incluem 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 amplas, mas também impõe desafios quanto à sua padronização e ao manejo seguro.

O EP está diretamente relacionado à produção florestal, especialmente às plantações de eucalipto. No Brasil, o eucalipto é amplamente utilizado, tornando-se uma das principais matérias-primas da silvicultura destinada aos setores siderúrgico e energético. O EP de eucalipto produzido em fornos de alvenaria é o tipo de EP de maior oferta no país (CÂNDIDO *et al*., 2023). Assim, o aproveitamento desse subproduto agrega valor à cadeia florestal, reduz desperdícios e contribui para

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

modelos de produção mais sustentáveis e alinhados aos princípios da bioeconomia e do aproveitamento integral da biomassa florestal.

O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão de literatura sistematizada e quantitativa sobre o EP, analisando sua evolução temporal, sistematizando o conhecimento científico disponível e identificando as principais áreas de aplicação desse subproduto da pirólise da biomassa, com base em referências do período de 2000 a 2026. Especificamente, buscou-se quantificar a produção científica em acesso aberto *"open access"*, comparar os achados por região geográfica e área temática, e avaliar criticamente os efeitos do EP sobre o crescimento vegetal, a sanidade fitossanitária, a microbiota do solo e o ambiente, considerando sua composição química, métodos de obtenção, aplicações agronômicas e atividade antimicrobiana.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

2. METODOLOGIA

2.1. DELINEAMENTO

A revisão de literatura foi conduzida entre janeiro e dezembro de 2025, com atualização final em maio de 2026. Adotou-se uma metodologia híbrida que integra elementos de revisão sistemática (seguindo recomendações do PRISMA 2020 para relatórios de revisões conforme ilustrado na Figura 1) com análise quantitativa exploratória. O foco esteve nos seguintes aspectos: composição química, fatores e métodos de produção, aplicações agronômicas, atividade antimicrobiana e fitossanitária, mitigação de estresses bióticos e abióticos, e inovações tecnológicas associadas ao EP.

2.2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

O levantamento foi realizado nas bases de dados do ScienceDirect, SciELO e Google Scholar, priorizando periódicos de acesso aberto (*Open Access*). O descritor utilizado, em português e inglês, foi: "*extrato pirolenhoso", "pyroligneous extract"*.

Período analisado: publicações entre 2000 e 2026 (incluindo artigos já aceitos ou publicados online em 2026).

Critérios de inclusão: Artigos científicos completos publicados em periódicos revisados por pares; Estudos que abordassem diretamente produção, caracterização química, métodos de obtenção, aplicações agronômicas, atividade biológica ou usos tecnológicos do EP; trabalhos experimentais, revisões, estudos de caso e artigos tecnológicos.

Critérios de exclusão: Publicações sem acesso ao texto completo; Duplicatas; Artigos que mencionaram o EP apenas marginalmente; Teses, dissertações e anais de eventos (exceto quando altamente relevantes e complementares à revisão).

O processo de seleção seguiu etapas sequenciais: (1) leitura de títulos e remoção de duplicatas; (2) análise de resumos; (3) leitura integral dos artigos elegíveis. A triagem dos artigos foi realizada por um único revisor, com leitura sequencial de títulos, resumos e textos completos. Reconhece-se que a ausência de um segundo revisor independente constitui uma limitação do processo de seleção, podendo introduzir viés de seleção não mensurado.

2.3. ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Os artigos selecionados foram organizados em uma base de dados estruturada contendo as seguintes variáveis: ano de publicação, autores, país/região de origem, tipo de estudo (experimental, revisão, tecnológico), biomassa utilizada, principais variáveis analisadas, achados relevantes e limitações reportadas.

A análise quantitativa incluiu: Distribuição temporal das publicações (histograma por ano); Frequência por região geográfica (América, Ásia, Europa, África etc.); Distribuição por tema principal (composição química, bioestimulação, fitossanidade, mitigação de estresse, inovações tecnológicas).

A análise qualitativa envolveu síntese narrativa temática, comparação crítica dos resultados e identificação de consensos, controvérsias e lacunas de pesquisa. As informações foram organizadas em tabelas e figuras para facilitar a visualização das tendências.

Com o objetivo de conferir maior rigor interpretativo à revisão, os estudos incluídos foram analisados segundo o nível de evidência metodológica apresentado

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

(Tabela 1). Foram considerados como **evidências fortes** os ensaios experimentais controlados, revisados por pares, com delineamento experimental descrito, repetição e análise estatística adequada; como **evidências moderadas** os estudos aplicados, tecnológicos ou revisões com limitações relacionadas à abrangência experimental ou validação metodológica; e como **evidências preliminares** os anais de eventos, dissertações, trabalhos acadêmicos exploratórios e estudos piloto ainda sem validação ampla. Essa classificação foi utilizada de forma interpretativa ao longo da discussão para diferenciar resultados mais robustos daqueles ainda dependentes de validação adicional.

Tabela 1 - Classificação interpretativa do nível de evidência metodológica dos estudos incluídos na revisão

Nível de evidência	**Características metodológicas**	**Tipo de publicação predominante**	**Exemplos presentes na revisão**
Forte	Estudos experimentais controlados, revisados por pares, com delineamento experimental descrito, repetição e análise estatística adequada	Artigos científicos indexados em periódicos revisados por pares	Mungkunkamchao *et al*. (2013); Sumanatrakul *et al*. (2015); Suresh *et al*. (2019); Zheng *et al*. (2020); Zhu *et al*. (2020); Celletti *et al*. (2023); Fedeli *et al*. (2024); Ferreira *et al*. (2024); Silva *et al*. (2024)
Moderada	Estudos aplicados, tecnológicos ou revisões com limitações relacionadas à abrangência experimental, validação ampla ou padronização metodológica	Estudos tecnológicos, revisões narrativas e estudos aplicados	Medeiros *et al*. (2019); Sena *et al*. (2014); Souza *et al*. (2018); Pereira *et al*. (2025); Lima *et al*. (2025)
Preliminar	Estudos exploratórios, anais de eventos, dissertações, TCCs e estudos piloto ainda sem validação ampla	Anais científicos, dissertações e trabalhos acadêmicos	Braga (2025); Cardôso (2025); Araújo *et al*. (2025); Castro *et al*. (2025); Clarindo *et al*. (2025); Soares *et al*. (2025); Maroso *et al*. (2025); Oliveira (2025); Souza *et al*. (2025b)

Fonte: Autores (2026)

2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA E LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Embora a presente revisão sistematizada e quantitativa reúna ampla diversidade de estudos sobre o extrato pirolenhoso (EP), algumas limitações metodológicas devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A heterogeneidade das pesquisas incluídas, envolvendo diferentes biomassas, condições de pirólise, concentrações aplicadas, métodos de extração, culturas agrícolas, tipos de solo e contextos edafoclimáticos, dificulta comparações diretas e limita generalizações amplas sobre a eficácia do EP. Além disso, a revisão concentrou-se prioritariamente em artigos científicos de acesso aberto, podendo haver exclusão involuntária de estudos relevantes publicados em bases restritas ou em periódicos sem acesso livre.

Outra limitação importante refere-se à natureza metodológica das evidências incluídas. Embora parte significativa dos estudos corresponda a ensaios experimentais revisados por pares, o manuscrito também incorporou trabalhos exploratórios, anais de eventos científicos, dissertações, revisões narrativas e

REMUNOM
ISSN 2178-6925
Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

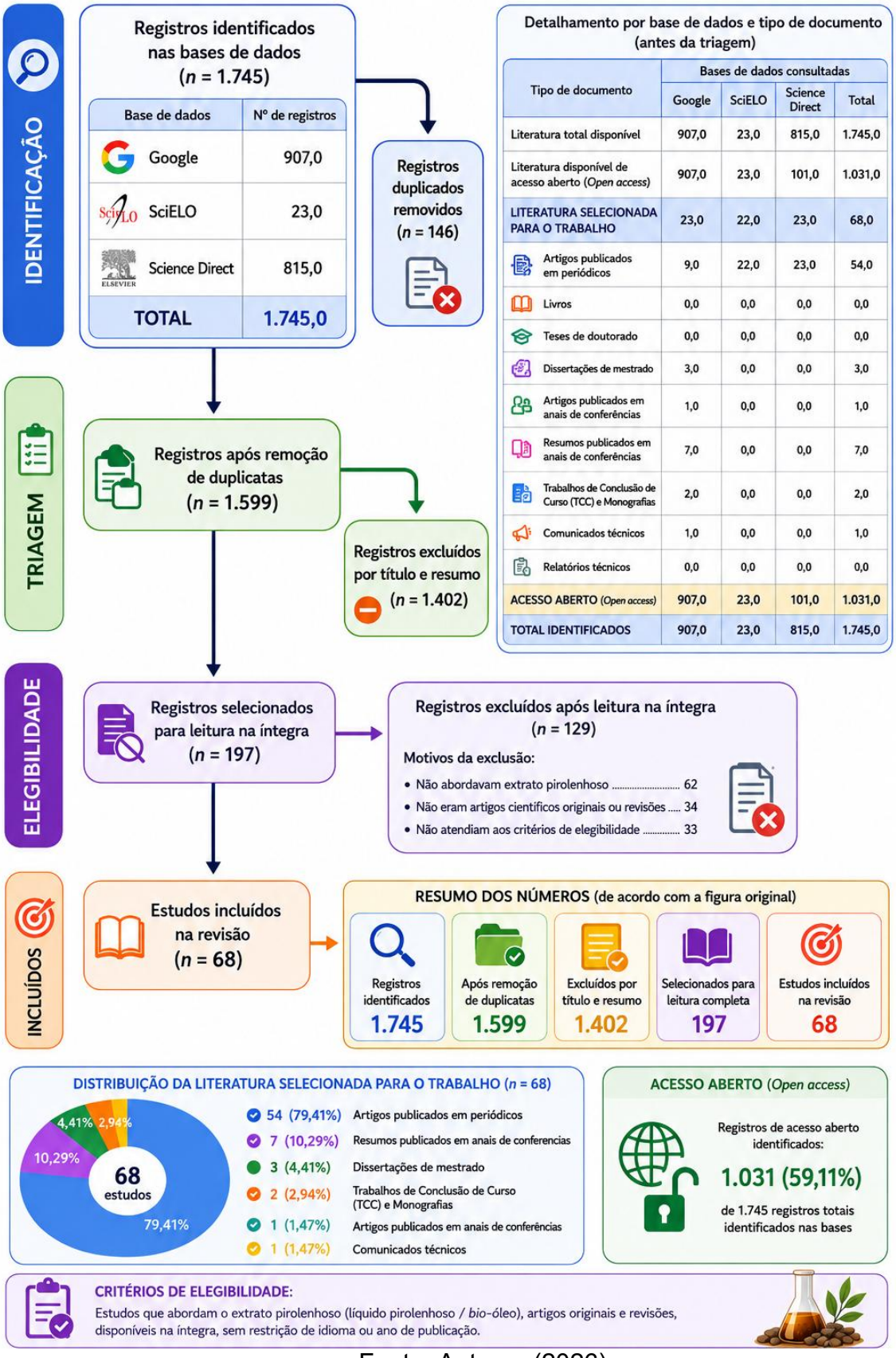
estudos tecnológicos preliminares, especialmente em áreas emergentes relacionadas às aplicações veterinárias, microbiológicas e biotecnológicas do EP. Esses estudos, apesar de relevantes para demonstrar tendências científicas e perspectivas tecnológicas, frequentemente apresentam limitações quanto ao delineamento experimental, número de repetições, validação estatística, padronização metodológica e reprodutibilidade dos resultados.

Adicionalmente, não foi realizada meta-análise quantitativa nem avaliação formal de risco de viés, uma vez que a elevada variabilidade metodológica entre os estudos inviabilizou a padronização estatística dos resultados. Assim, as interpretações apresentadas possuem caráter predominantemente descritivo e integrativo, buscando identificar padrões gerais, tendências de aplicação, limitações técnicas e lacunas científicas relacionadas ao uso do EP na agricultura e em sistemas agroindustriais.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

Figura 1 - Fluxograma PRISMA 2020 da revisão de literatura sobre Extrato Pirolenhoso



Fonte: Autores (2026)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. FATORES DE PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO EXTRATO PIROLENHOSO

A composição química do extrato pirolenhoso (EP) é altamente variável e depende principalmente de três fatores: tipo de biomassa utilizada, parâmetros operacionais do processo de pirólise (especialmente temperatura e taxa de aquecimento) e fase de coleta dos vapores condensados (Mungkunkamchao *et al*., 2013; Sena *et al*., 2014; Medeiros *et al*., 2019; Oliveira, 2025). Essa variabilidade confere ao produto características distintas que influenciam diretamente seu potencial de uso agrícola e tecnológico.

Após a condensação dos vapores gerados durante a pirólise, o EP bruto obtido não está imediatamente apto para uso agrícola, sendo necessário submetê-lo a um processo sequencial de decantação e envelhecimento antes de qualquer aplicação (Sena *et al*., 2014). Na decantação, o extrato bruto é mantido em repouso por períodos que variam de algumas semanas a vários meses, permitindo a separação gravitacional das fases: a fase aquosa superior, que constitui o EP propriamente dito, e a fase pesada inferior, composta pelo alcatrão solúvel e insolúvel, rica em hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e compostos de elevado peso molecular com potencial fitotóxico e ecotoxicológico. A remoção dessa fase pesada é etapa indispensável para a segurança do produto final, uma vez que sua presença pode causar queimaduras foliares, inibição da germinação e comprometimento da microbiota do solo. O envelhecimento subsequente, realizado em recipientes fechados ao abrigo da luz, promove a estabilização química do extrato por meio da volatilização espontânea de compostos orgânicos de baixo ponto de ebulição, da oxidação parcial de compostos instáveis e do equilíbrio gradual entre as frações ácida e fenólica, resultando em um produto quimicamente mais homogêneo e reprodutível (Oliveira, 2025). Esse processo é particularmente relevante do ponto de vista da padronização, pois extratos recém-coletados apresentam composição volátil e instável, o que explica, em parte, a elevada variabilidade de respostas biológicas relatada na literatura quando diferentes lotes de EP são comparados.

3.1.1. **Influência da biomassa e dos parâmetros de pirólise no Extrato Pirolenhoso**

O EP é um líquido aquoso composto majoritariamente por água (80–90%) e por uma fração orgânica complexa, incluindo ácidos orgânicos, fenóis, furanos, cetonas, aldeídos, álcoois e traços de minerais (Zanetti *et al*., 2003; Sena *et al*., 2014; Silva *et al*., 2021). O ácido acético geralmente representa o principal componente orgânico, conferindo ao extrato caráter fortemente ácido (pH entre 2,0 e 3,6 na maioria dos casos) (Pimenta *et al*., 2018; Oliveira, 2025). Compostos fenólicos, como guaiacol, siringol, cresóis e catecol, originados da degradação térmica da lignina, são responsáveis por grande parte da atividade antimicrobiana e bioestimulante do produto (Medeiros *et al*., 2019; Gama *et al*., 2023).

A natureza da biomassa exerce influência marcante sobre o perfil químico. Biomassas ricas em lignina, como *Eucalyptus urograndis* e *Mimosa tenuiflora*, tendem a produzir extratos com maior concentração de compostos fenólicos (Medeiros *et al*., 2019; Medeiros *et al*., 2022). Em contraste, materiais com maior

REMUNOM
ISSN 2178-6925
Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

teor de hemicelulose, como palha de trigo ou bambu, resultam em maiores teores de furanos (principalmente furfural) e ácidos carboxílicos (Sumanatrakul *et al*., 2015; Zhu *et al*., 2020).

A temperatura e a taxa de aquecimento durante a pirólise são os principais fatores operacionais que modulam a composição do EP. Taxas de aquecimento mais lentas favorecem a formação de fenóis e furfural, enquanto taxas mais elevadas aumentam a produção de furanos e piranos (Medeiros *et al*., 2019). Estudos indicam que a faixa de temperatura de coleta dos vapores também altera significativamente o perfil químico (Oliveira, 2025):

Em temperaturas baixas (270 – 350 °C), predominam os ácidos carboxílicos (especialmente ácido acético) e compostos açucarados, com menor proporção de fenóis (Oliveira, 2025).

Em temperaturas mais altas (370 – 450 °C), ocorre inversão do perfil, com aumento expressivo de compostos fenólicos (até cerca de 45% da fração orgânica), que estão associados a maior atividade biocida e melhor desempenho na indução de enraizamento (Oliveira, 2025; Medeiros *et al*., 2019).

3.1.2. **Composição química média e principais grupos de compostos do Extrato Pirolenhoso**

A Figura 2 e Tabela 2 apresentam a composição química média do EP reportada na literatura, destacando os principais grupos de compostos e suas concentrações aproximadas.

A literatura indica que o ácido acético é o principal componente orgânico do EP, constituindo a fração majoritária na maioria das amostras analisadas, o que confere ao produto caráter fortemente ácido, com valores de pH geralmente entre 2,0 e 3,6. Compostos fenólicos, como catecol, guaiacol e cresóis, oriundos da degradação térmica da lignina, são amplamente associados às atividades antimicrobianas, antifúngicas e antioxidantes do EP. O furfural, por sua vez, destaca-se por sua capacidade de inibir a enzima tirosinase em insetos, contribuindo para seu efeito inseticida.

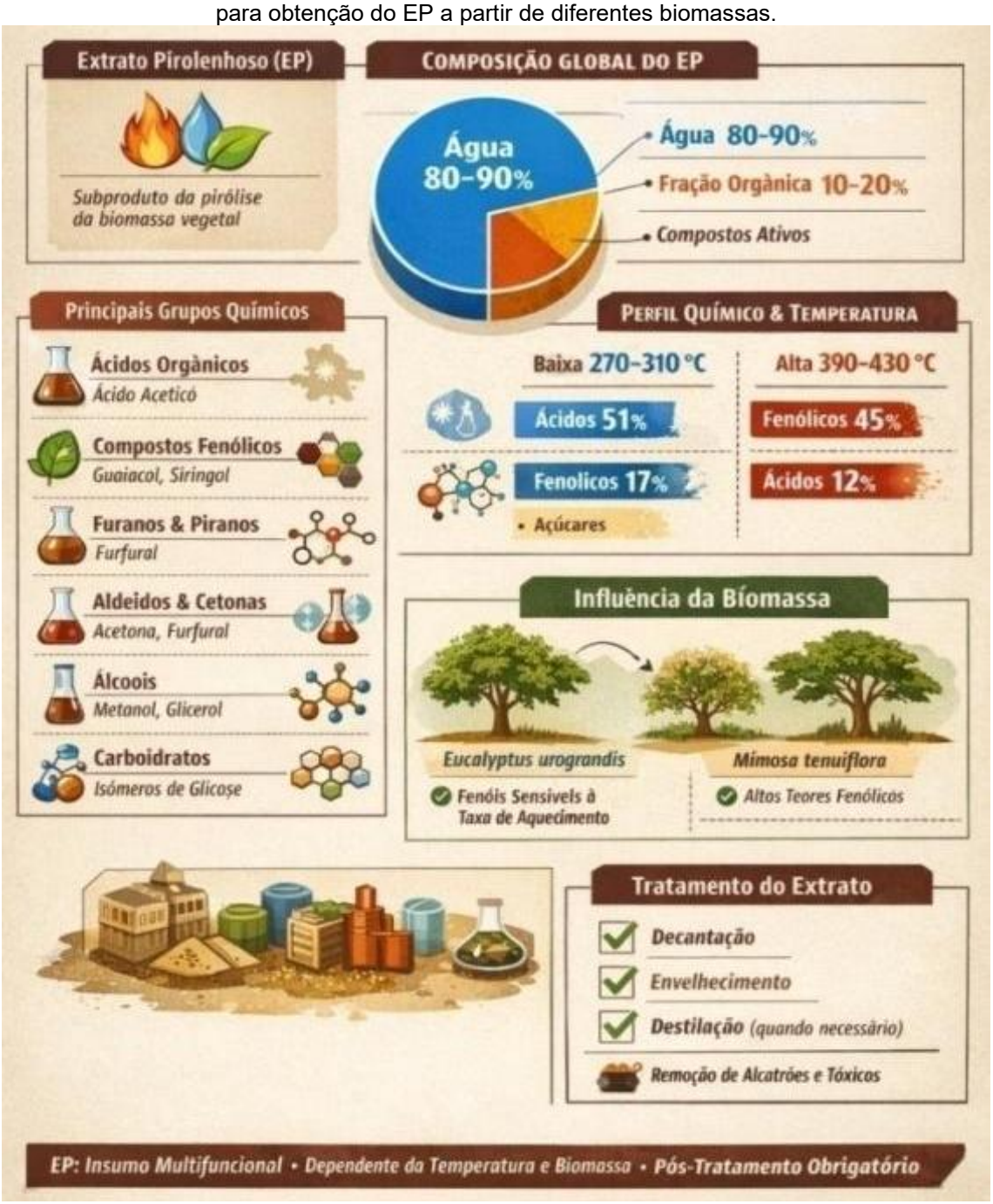
Nesse contexto, Silva *et al*. (2024) identificaram o ácido acético (22,34%), o furfural (15,62%) e o guaiacol (14,36%) como principais constituintes do EP obtido de *Eucalyptus grandis*. De forma complementar, Pimenta *et al*. (2018) relataram cerca de 90 compostos químicos distintos no EP produzido a partir do híbrido *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*.

Segundo Oliveira (2025), temperaturas de coleta inferiores a 350 °C resultam em extratos ricos em ácidos carboxílicos, ao passo que temperaturas mais elevadas favorecem a formação de compostos fenólicos, como catecol e siringol. Essa diferenciação bioquímica é determinante para o direcionamento das aplicações do EP, uma vez que os compostos fenólicos estão diretamente associados à indução do enraizamento adventício e à atividade antimicrobiana.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

Figura 2 - Infográfico dos principais grupos, composição, perfil químico e as faixas de temperaturas para obtenção do EP a partir de diferentes biomassas.



Fonte: Autores (2026)

Em contraste, nas faixas de alta temperatura, entre 390 e 430 °C, ocorre uma inversão do perfil químico do EP, com predominância de compostos estruturalmente mais complexos. Nessa condição, os fenóis tornam-se majoritários, alcançando 45,41% da fração orgânica, enquanto aldeídos e cetonas aumentam para 23,95%. Por outro lado, os ácidos carboxílicos sofrem redução expressiva, atingindo apenas 12,23%. Essa transição térmica é particularmente relevante do ponto de vista prático, uma vez que extratos obtidos em temperaturas mais elevadas apresentam

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

quase o triplo de compostos fenólicos em comparação às faixas iniciais, refletindo-se em maior potencial biocida e maior eficácia na indução do enraizamento vegetal.

Além da temperatura de coleta, a composição química do EP é fortemente influenciada pela espécie de biomassa (Tabela 3) e pela taxa de aquecimento aplicada durante a carbonização. Em *Eucalyptus urograndis*, taxas de aquecimento mais lentas favorecem a formação de fenóis como guaiacol e siringol, enquanto aquecimentos mais rápidos promovem redução significativa de suas concentrações. Para biomassas com maior teor de lignina, como *Mimosa tenuiflora*, os teores fenólicos são substancialmente superiores, mesmo sob taxas de aquecimento mais elevadas.

Tabela 2- Composição química média do EP

Grupo / Componente	Substâncias e Concentração	Fonte
Água	Representa de 80% a 90% da composição total.	Zanetti *et al*. (2003); Alves *et al*. (2007); Souza-Silva e Zanetti (2007); Silva *et al*. (2021); Sena *et al*. (2014); Oliveira (2025); Pimenta *et al*. (2023).
Ácidos Orgânicos / Carboxílicos	Ácido acético (5,0% a 7,4% ou ± 80 cm^3 dm^{-3}), ácido propanoico. Conferem polaridade ao extrato.	Zanetti *et al*. (2003); Souza-Silva e Zanetti (2007); Gama *et al*. (2023); Sena *et al*. (2014); Silva *et al*. (2021); Medeiros *et al*. (2019); Oliveira (2025); Campos (2018).
Compostos Fenólicos	Guaiacol (14,36%), Siringol (8,46%), Fenol, Cresóis, Catecol e 3-etil-2-metoxifenol. Atuam em sinergismo com atividade antimicrobiana.	Azevedo *et al*. (2005); Medeiros *et al*. (2019); Silva *et al*. (2024); Sena *et al*. (2014); Silva *et al*. (2021); Pimenta *et al*. (2018); Oliveira (2025).
Furanos e Piranos	Furfural (15,62% da fração orgânica), 2-acetilfurano, etanona, 2-(2-furanil) e furanol.	Medeiros *et al*. (2019); Silva *et al*. (2024).
Cetonas e Aldeídos	Acetona (0,2% ou ± 1 cm^3 dm^{-3}), Ciclo-pentanona, 2-butanona e 3-metil-ciclo-pentanona. Furfural é majoritário em certas faixas térmicas.	Zanetti *et al*. (2003); Souza-Silva e Zanetti (2007); Sena *et al*. (2014); Medeiros *et al*. (2019); Silva *et al*. (2021); Pimenta *et al*. (2018).
Álcoois	Metanol (0,1% a 1,0% ou ± 20 cm^3 dm^{-3}), 1,6-heptadien-4-ol, Glicerol (sistema Fornos-fornalha) e Etilenoglicol (reator Carboval).	Zanetti *et al*. (2003); Souza-Silva e Zanetti (2007); Sena *et al*. (2014); Silva *et al*. (2021); Medeiros *et al*. (2019); Oliveira (2025).
Minerais e Micronutrientes	Potássio (2,5 g L^{-1}), Cálcio (1,20 g L^{-1} a 11,5 mg dm^{-3}), Magnésio (0,20 g L^{-1} a 25,0 mg dm^{-3}), Enxofre (5,4 mg dm^{-3} a 10,1%). Micronutrientes: Fe (343,2 mg dm^{-3}), B (91,0 mg L^{-1}), Cu, Mn, Zn.	Togoro *et al*. (2014); Ferreira *et al*. (2024); Schnitzer *et al*. (2015).
Carboidratos	Isômeros da glicose, com elevado teor em extratos de temperaturas mais baixas.	Oliveira (2025).
Outros Orgânicos	Ésteres, hidrocarbonetos e compostos nitrogenados.	Silva *et al*. (2021); Sena *et al*. (2014); Biswas e Sharma (2013).
Reguladores de Crescimento	Elevados teores de auxinas.	Souza *et al*. (2025a).
Fase Pesada	Alcatrão solúvel e insolúvel.	Sena *et al*. (2014).

Fonte: Autores (2026)

A atividade do EP varia conforme a temperatura de produção e o tipo de biomassa utilizada. Estudos mostram que a ação antibacteriana é significativamente maior em extratos obtidos entre 370 e 450 °C, enquanto temperaturas intermediárias

REMUNOM
ISSN 2178-6925
Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

costumam apresentar melhor desempenho na promoção da germinação de sementes. Por isso, as condições térmicas devem ser ajustadas conforme o objetivo final. Do ponto de vista prático, a escolha da biomassa é uma decisão estratégica, já que determina a composição química e, consequentemente, a aplicação agrícola mais adequada do EP.

Para controle fitossanitário e antimicrobiano, recomendam-se biomassas ricas em lignina, como eucalipto e jurema-preta, que produzem altos teores de compostos fenólicos (guaiacol, siringol e catecol). O EP de bambu, rico em ácido acético, também se destaca pelo forte caráter ácido. Para bioestimulação e enraizamento, são indicados extratos de madeiras macias (como Pinheiro e Abeto) ou de Eucalyptus urograndis obtido acima de 350 °C, ricos em compostos com atividade auxínica. Na melhoria das propriedades do solo, extratos com elevada fração orgânica, como os de castanheiro-doce, aumentam a matéria orgânica e a atividade microbiana, mas exigem cuidado para evitar acidificação em doses acima de 4%. No semiárido brasileiro, a jurema-preta é especialmente promissora por sua abundância natural, alto teor de lignina e integração com a produção de carvão vegetal. Por fim, biomassas ricas em hemicelulose (ex.: palha de trigo) geram mais furfural, com potencial inseticida, mas demandam controle rigoroso da dose para prevenir fitotoxicidade. Não existe uma biomassa ideal para todos os fins: a melhor escolha depende da disponibilidade regional, do custo e, principalmente, da finalidade agronômica desejada.

Tabela 3 - Composição química do EP oriundo de diferentes biomassas

Biomassa de Origem	**Principais Compostos e Concentrações Relatadas**	**Fonte**
Eucalipto (*Eucalyptus*)	Ácido acético (30,39%), metil-tiirano (26,96%), 2-metoxifenol (12,31%), 2-furancarboxaldeído (6,39%), ácido propanoico (6,08%).	Mungkunkamchao *et al*. (2013)
Bambu (*D. asper Backer*)	Ácido acético (62,10%), fenol (10,92%), 1-hidróxi-2-propanona (5,30%), 2-furancarboxaldeído (4,55%).	Sumanatrakul *et al*. (2015)
Mistura de madeiras macias (Pinheiro, Abeto)	Água (45%), catecol (8,72%), 4-metilcatecol (7,41%), ácido acético (3,90%), 4-etilbenzenodiol (3,54%).	Suresh *et al*. (2019)
Bétula (*Betula sp.*)	Ácido acético (98,8 g/L), 1-hidróxi-2-propanona (25,0 g/L), propanotriol (4,25 g/L), metanol (3,74 g/L).	Hagner *et al*. (2020)
Palha de trigo	Ácido acético (29,67%*), furfural (7,63%*), fenol (7,43%*), ácido fórmico (6,26%*), catecol (6,24%*).	Zhu *et al*. (2020)
Eucalyptus urograndis	Furfural, 5-metilfurfural, guaiacol, 2,4-xilenol, o-cresol, p-cresol, 4-etilguaiacol, 4-propilguaiacol.	Medeiros *et al*. (2022)
Castanheiro-doce	Carbono Orgânico Total (58,03%), polifenóis (24,5 g/L), fenóis (3 g/L), ácido acético (21,5 mg/L).	Celletti *et al*. (2023)
Palha de trigo	*Fenóis (26,2-26,4%), m-cresol (12,7-12,9%), 3,4-di-hidroxitolueno (10,8-11,0%), ácido acético (5,8-6,0%).*	Zhou *et al*. (2023)
Acácia-negra	Acetaldeído (20%), isobutano (9%), ácido acético (8%), acetol (8%), ciclopentatona (2%	Fuhr *et al*. (2024)

**Porcentagem relativa dentro da fração orgânica (que representa 11% do extrato total).*
Fonte: Autores (2026)

Essa complexidade química explica tanto o amplo potencial multifuncional do EP quanto os desafios relacionados à sua padronização, reprodutibilidade e uso seguro. O ajuste criterioso das condições de produção permite direcionar a síntese de compostos de interesse para aplicações específicas, como bioestimulação vegetal ou controle fitossanitário.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

Com base nessa diversidade química, a próxima seção discute como os principais grupos de compostos do EP se traduzem em efeitos bioestimulantes nas plantas.

3.2. POTENCIAL BIOESTIMULANTE E LIMITES DE USO DO EXTRATO PIROLENHOSO EM PLANTAS

O EP tem se consolidado como um potente bioestimulante vegetal, apresentando efeitos positivos sobre o crescimento, o desenvolvimento radicular e a produtividade de diversas culturas (Sumanatrakul *et al*., 2015; Fedeli *et al*., 2024).

Estudos com culturas ornamentais demonstraram que a aplicação de EP, especialmente na concentração de 0,6%, incrementa significativamente o desenvolvimento radicular e vegetativo de orquídeas dos gêneros *Cattleya* e *Miltonia* (Schnitzer *et al*., 2010; Schnitzer *et al*., 2015). Resultados semelhantes foram observados em palmeiras areca-bambu, quando o EP foi associado à adubação orgânica, promovendo maior produção de brotos (Wanderley *et al*., 2012).

Em grandes culturas, Silva *et al*. (2024) relataram aumentos na produtividade do milho com aplicações de até 21,2 L ha^{-1}, enquanto Silva *et al*. (2021) observaram incremento na altura e no desenvolvimento radicular da cultura. Contudo, os efeitos do EP são fortemente dependentes da dose e da espécie vegetal. Zanetti *et al*. (2003) alertam que concentrações elevadas podem ser prejudiciais ao desenvolvimento inicial de porta-enxertos de limoeiro ‘Cravo’, embora doses baixas (10 cm^3 dm^{-3}) favoreçam a absorção foliar de micronutrientes como cobre e manganês.

Os efeitos bioestimulantes do EP resultam da ação conjunta entre diferentes classes de compostos. Destacam-se os fenóis derivados da lignina, como guaiacol, siringol e catecol, que potencializam a ação de auxinas endógenas, promovendo elongação celular, divisão meristemática e, especialmente, o enraizamento adventício. Souza *et al*. (2025a) confirmaram altos teores de auxinas no EP, reforçando seu papel como regulador de crescimento natural.

Complementarmente, os ácidos orgânicos (principalmente o ácido acético em baixas concentrações) acidificam a rizosfera, melhorando a solubilização e absorção de micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn). Os compostos fenólicos atuam ainda como antioxidantes, reduzindo danos oxidativos sob estresse, enquanto a fração mineral fornece micronutrientes diretamente assimiláveis. Essa combinação de mecanismos explica por que os benefícios do EP são mais evidentes em condições de estresse moderado ou em solos com limitações nutricionais.

Na propagação vegetal, o EP tem sido avaliado como alternativa a reguladores sintéticos, como o ácido indolbutírico, apresentando potencial no enraizamento de estacas de videira. Entretanto, concentrações elevadas podem inibir a germinação e reduzir o vigor de plântulas em culturas como feijão e braquiária, evidenciando o risco de fitotoxicidade.

A síntese das doses com efeitos positivos e dos limites de fitotoxicidade reportados na literatura, apresentada na Tabela 4, evidencia que a janela de segurança do EP varia substancialmente entre culturas e vias de aplicação, não sendo possível estabelecer uma dose universal recomendada. De forma geral, concentrações entre 0,5% e 2,0% aplicadas via solo ou foliar mostraram-se seguras e eficazes para a maioria das culturas avaliadas, enquanto aplicações diretas em sementes em concentrações superiores a 1,0% consistentemente resultaram em

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

inibição da germinação e redução do vigor, independentemente da espécie vegetal. Culturas perenes de crescimento lento, como orquídeas e limoeiro, demonstraram maior sensibilidade ao produto, respondendo positivamente apenas em doses mais baixas e apresentando fitotoxicidade em concentrações que seriam plenamente toleradas por gramíneas e hortaliças. Essa variabilidade reforça que a definição da dose deve considerar não apenas a cultura-alvo, mas também a via de aplicação, o estádio fenológico da planta e as características do substrato ou solo, sendo a realização de testes preliminares em pequena escala uma prática recomendável antes da adoção do EP em novos sistemas produtivos.

Souza *et al*. (2025a) demonstraram que o EP comercial a 1% proporcionou enraizamento equivalente ao AIB em estacas de videira, com menor mortalidade. Além das vantagens de custo e produção local, a ação do EP envolve mecanismos múltiplos (fenóis auxínicos, ácidos orgânicos e micronutrientes), o que pode conferir maior resiliência em condições variáveis. Contudo, a substituição do AIB não deve ser generalizada sem avaliação por espécie e sistema de propagação.

Tabela 4 - Faixas de dose do EP com efeitos positivos e limites de fitotoxicidade por cultura

Cultura	**Via de aplicação**	**Dose com efeito positivo**	**Dose com efeito negativo / fitotoxicidade**	**Fonte**
Braquiária (*Brachiaria* spp.)	Direta	até 1,0%	anulação da germinação a 5,0%	Kumi *et al*. (2025)
Brássica	Foliar	3,00%	não relatada nas doses testadas	Thuler *et al*. (2008)
Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)	Pulverização	0,5 L ha^{-1} (adjuvante)	substituição proporcional ao glifosato inviável	Pereira *et al*. (2025)
Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*)	Solo	não superou biochar puro	desempenho inferior em todas as doses	Lima *et al*. (2025)
Feijão-preto (*Phaseolus vulgaris*)	Solo	até 2,0%	inibição da germinação em sementes a 100%	Silva *et al*. (2021)
Girassol (*Helianthus annuus*)	Foliar	1,00%	não relatada nas doses testadas	Ferreira *et al*. (2024)
Limoeiro 'Cravo'	Solo	10 $cm^3\ dm^{-3}$	redução do crescimento a 20 $cm^3\ dm^{-3}$	Zanetti *et al*. (2003; 2004)
Meloeiro (*Cucumis melo*)	Foliar	2 mL L^{-1}	não relatada nas doses testadas	Azevedo *et al*. (2005)
Milho (*Zea mays*)	Solo	até 2,0%	não relatada nas doses testadas	Silva *et al*. (2021)
Milho (*Zea mays*)	Sementes + foliar	15,9–21,2 L ha^{-1}	não relatada nas doses testadas	Silva *et al*. (2024)
Orquídeas (*Cattleya* spp.)	Substrato	0,60%	redução do desenvolvimento acima de 0,6%	Schnitzer *et al*. (2015)
Palmeira areca-bambu	Substrato	0,1–0,2%	não relatada nas doses testadas	Wanderley *et al*. (2012)
Pitangueira (*Eugenia uniflora*)	Solo	2,00%	não relatada nas doses testadas	Ferreira *et al*. (2025a; 2025b)
Videira 'Itália' (IAC-572)	Imersão de estacas	1,00%	não relatada nas doses testadas	Souza *et al*. (2025a)

Fonte: Autores (2026)

3.3. POTENCIAL FITOSSANITÁRIO E ANTIMICROBIANO DO EXTRATO PIROLENHOSO

REMUNOM
ISSN 2178-6925
Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

O EP apresenta atividade fitossanitária tanto por ação direta sobre patógenos quanto pela indução de mecanismos de defesa nas plantas. Azevedo *et al*. (2005) comprovaram sua eficiência no controle de ninfas de mosca-branca em meloeiro, possivelmente associada ao efeito repelente. Em contraste, Mendonça *et al*. (2006) observaram que o EP não foi eficaz contra o bicho-mineiro-do-cafeeiro, embora tenha se mostrado seletivo e inócuo a vespas predadoras, característica confirmada por Morandi Filho *et al*. (2006a) em relação ao parasitóide *Trichogramma pretiosum*.

Na fitopatologia, Lorenzetti *et al*. (2012) demonstraram a inibição da germinação de esporos da ferrugem do capim-limão, enquanto Melo *et al*. (2017) evidenciaram o papel do EP como estimulante, induzindo o acúmulo de fitoalexinas em soja e sorgo.

Além do uso agrícola, o EP apresenta amplo espectro antimicrobiano contra bactérias patogênicas humanas, animais e vegetais, incluindo *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* (Suresh *et al*., 2019; Medeiros *et al*., 2022; Derbali *et al*., 2024). Sua atividade persiste mesmo após a neutralização do pH, indicando que o efeito biocida decorre da ação amplificadora de múltiplos compostos e não apenas do ácido acético (Gama *et al*., 2023).

Embora o EP apresente relevante potencial fitossanitário, a literatura registra resultados negativos importantes. Mendonça *et al*. (2006) observaram ausência de eficácia contra o bicho-mineiro-do-cafeeiro (*Leucoptera coffeella*), atribuindo a falha ao hábito endofítico da praga. Da mesma forma, Alves *et al*. (2007) não verificaram efeito repelente sobre o ácaro da leprose (*Brevipalpus phoenicis*), com mortalidade apenas em doses elevadas e inseguras para uso agrícola. Morandi Filho *et al*. (2006b) também relataram baixa eficiência do EP no controle de lagartas de *Argyrotaenia sphaleropa* em videira, mesmo em doses altas.

Esses resultados indicam que o EP possui ação seletiva, sendo mais eficaz contra insetos de superfície do que contra pragas endofíticas, ácaros ou lagartas com hábitos de esquiva. Essa seletividade, embora limite seu uso como inseticida de amplo espectro, favorece sua aplicação em manejo integrado de pragas, especialmente por ser inócuo ao parasitoide *Trichogramma pretiosum* (Morandi Filho *et al*., 2006a).

O potencial fitossanitário do EP manifesta-se de forma ambivalente, atuando tanto como um herbicida de ação direta quanto como um adjuvante estratégico para a redução de insumos sintéticos. Em estratégias de pré-emergência, Zeferino *et al*. (2018) observaram que a aplicação de doses elevadas (500 L ha^{-1}) é capaz de promover a inibição total (100%) da germinação de plantas invasoras como Brachiaria decumbens, Bidens pilosa e Amaranthus viridis, superando inclusive a eficácia de dosagens comerciais de herbicidas convencionais. No manejo de pós-emergência, a eficácia bioherbicida do EP e a consequente redução da massa seca vegetal são estritamente dose-dependentes e variam conforme a suscetibilidade da espécie; enquanto plantas como Hyptis suaveolens e Bidens pilosa demonstram alta sensibilidade ao insumo, outras como Crotalaria juncea apresentam maior tolerância, possivelmente devido a barreiras morfológicas como cutículas mais espessas (Santos *et al*., 2024). Além da toxicidade direta, o EP destaca-se por sua função adjuvante, sendo capaz de potencializar a ação de herbicidas como o 2,4-D e o Oxifluorfen, permitindo o controle eficiente de espécies como Senna obtusifolia mesmo com a utilização de subdosagens das moléculas químicas (Santos *et al*., 2024; Zeferino *et al*., 2018). Essa performance é atribuída à complexidade química

REMUNOM
ISSN 2178-6925
Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

do extrato, cujos compostos fenólicos e ácidos orgânicos facilitam a penetração cuticular e podem induzir estresse oxidativo nas plantas-alvo.

3.4. EXTRATO PIROLENHOSO E ESTRESSES ABIÓTICOS

A aplicação do EP tem demonstrado potencial na mitigação de estresses abióticos. Ferreira *et al*. (2024) observaram que o produto atenua o estresse salino em girassol, preservando os índices de clorofila. Estudos subsequentes com mudas de pitangueira indicaram que a aplicação de EP a 2% via solo melhora as trocas gasosas, a eficiência fotossintética e a produção de biomassa sob restrição hídrica e salinidade moderada (Ferreira *et al*., 2025a; Ferreira *et al*., 2025b).

A aplicação do EP no solo demanda atenção criteriosa às doses empregadas, uma vez que os efeitos benéficos observados nos estudos de mitigação de estresses abióticos foram obtidos em concentrações específicas que não necessariamente coincidem com os limites de segurança edáfica estabelecidos pela literatura. Togoro *et al*. (2014) demonstraram que aplicações superficiais em concentrações superiores a 4% provocam redução significativa do pH do solo e intensificam a lixiviação de cálcio, magnésio e potássio, nutrientes essenciais cujo empobrecimento progressivo pode comprometer a fertilidade do solo a médio e longo prazo, efeito particularmente preocupante em Latossolos e solos arenosos de baixa capacidade tampão, predominantes em diversas regiões agrícolas brasileiras. Em contraste, os estudos de mitigação de estresse salino em pitangueira e girassol que reportaram resultados positivos utilizaram concentrações de 1% a 2%, aplicadas via solo, sugerindo que existe uma janela de segurança operacional situada entre essas concentrações e o limiar de 4% identificado por Togoro *et al*. (2014), abaixo da qual os benefícios fisiológicos do EP podem ser obtidos sem comprometimento das propriedades químicas do solo. Essa janela, contudo, deve ser interpretada com cautela, pois sua amplitude pode variar substancialmente em função do tipo de solo, da frequência de aplicação e do volume de calda utilizado, variáveis que raramente são padronizadas entre os estudos disponíveis, dificultando extrapolações seguras.

No contexto do semiárido nordestino, uma dimensão adicional de risco merece atenção especial: Souza-Silva e Zanetti (2007) demonstraram que o EP atua como atrativo para formigas-cortadeiras do gênero *Atta*, contrariando a expectativa popular de que o produto exerceria efeito repelente sobre esses insetos. Esse achado é de relevância crítica para o Nordeste brasileiro, onde a saúva (*Atta sexdens*) e a quenquém (*Acromyrmex* spp.) figuram entre as pragas de maior impacto econômico na implantação de culturas anuais, fruticultura irrigada e reflorestamentos, sendo responsáveis por perdas expressivas especialmente na fase de estabelecimento das plantas, exatamente o período em que o EP é mais frequentemente recomendado como bioestimulante. Dessa forma, a aplicação do EP em regiões com alta pressão de formigas-cortadeiras requer monitoramento intensificado do formigueiro e, preferencialmente, a adoção prévia de medidas de controle da praga, sob risco de que o insumo, ao invés de promover o estabelecimento das mudas, contribua inadvertidamente para sua desfolha e mortalidade. Em síntese, o uso seguro e eficaz do EP no solo pressupõe não apenas o ajuste criterioso da dose, mas também o conhecimento das condições edáficas locais e da fauna de pragas predominante na área de aplicação, reforçando que a recomendação do produto não pode ser dissociada do contexto agroecológico específico de cada sistema produtivo.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

3.5. APLICAÇÕES AGROAMBIENTAIS, INDUSTRIAIS E VETERINÁRIAS DO EXTRATO PIROLENHOSO

O EP e o biochar, coprodutos do processo de pirólise, desempenham papel central na promoção da economia circular e na valorização de resíduos agroflorestais. A coaplicação desses insumos tem demonstrado potencial para melhorar a retenção de nutrientes e a umidade do solo, contribuindo para o aumento da produtividade de culturas como milho, cártamo e feijão-caupi. No entanto, estudos indicam que essa associação nem sempre apresenta vantagens significativas em relação ao uso isolado do biochar, evidenciando a necessidade de avaliação criteriosa das condições de aplicação e do tipo de solo (Lima *et al*., 2025; Souza, 2025).

No contexto industrial e tecnológico, o EP tem sido amplamente explorado em diferentes aplicações inovadoras. Destacam-se seu uso como aglutinante na produção de briquetes de biocombustível (Nganko *et al*., 2024), na síntese verde de nanopartículas de prata com elevada atividade bactericida (Medeiros *et al*., 2022) e como eletrólito em processos de anodização para a obtenção de filmes de óxido de titânio com propriedades funcionais aprimoradas (Fuhr *et al*., 2024).

Na área da medicina veterinária, pesquisas recentes apontam o EP como uma alternativa promissora no controle de ectoparasitas e microrganismos patogênicos. Estudos relatam seu potencial pediculicida (controle ou eliminação de piolhos) e carrapaticida, bem como sua atividade antimicrobiana frente a patógenos multirresistentes, reforçando sua aplicabilidade como insumo natural em estratégias sanitárias sustentáveis (Braga, 2025; Castro *et al*., 2025; Clarindo *et al*., 2025; Maroso *et al*., 2025; Soares *et al*., 2025).

A Tabela 5 sistematiza as principais aplicações, doses, métodos de aplicação e respostas biológicas associadas ao uso do EP em sistemas agrícolas, florestais e biológicos. Os resultados compilados evidenciam a versatilidade funcional do produto e reforçam o caráter dose-dependente e espécie-específico de seus efeitos.

Na medicina veterinária, o uso do EP no controle de ectoparasitas e infecções microbianas em animais domésticos e de produção é uma fronteira científica em consolidação. Embora existam relatos promissores de atividade pediculicida, carrapaticida e antimicrobiana em cães e caprinos, tais achados derivam majoritariamente de anais de eventos, carecendo do rigoroso processo de revisão por pares de periódicos indexados. Portanto, a validação do EP como insumo veterinário depende de ensaios clínicos controlados que determinem doses terapêuticas, estabilidade das formulações e toxicidade sistêmica e tópica.

Quanto à coaplicação de EP e biochar em sistemas agrícolas, as variações de desempenho reportadas na literatura refletem a complexidade das interações edafoclimáticas, e não inconsistências científicas. A ação conjunta entre esses insumos é mais expressiva em solos com severas limitações físico-hídricas, como os arenosos e salinos, onde o EP potencializa a retenção de nutrientes e umidade (Yuan *et al*., 2022; Suo *et al*., 2025). Em contrapartida, em solos bem estruturados, como observado por Lima *et al*. (2025) com feijão-caupi, a adição de EP pode não oferecer vantagens sobre o biochar isolado. Conclui-se que a resposta conjunta é condicionada pela magnitude do déficit edáfico, sendo a proporção da mistura, a dose e o tempo de incubação variáveis determinantes que ainda constituem lacunas de pesquisa, especialmente para o semiárido brasileiro.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

Tabela 5 – Aplicações, efeitos e respostas ao uso de EP e produtos associados em sistemas agrícolas, florestais e biológicos

Cultura / Organismo alvo	**Finalidade da aplicação**	**Produto / Tratamento**	**Dose ou concentração**	**Método de aplicação**	**Principais efeitos / resultados**	**Fonte**
Argyrotaenia sphaleropa	Controle biológico	EP (Biopirol)	0,50%	Dieta artificial	Aumento da fase larval; redução da longevidade	Morandi Filho *et al*., 2006a
Braquiárias (*Brachiaria* spp.)	Germinação	EP preto, amarelo e culinário	0–5,0%	Aplicação direta	EPA anulou germinação a 5%; EPP apresentou melhor desempenho	Kumi *et al*., 2025
Brássicas	Controle de *Plutella xylostella*	EP	3,00%	Pulverização foliar	Mortalidade larval até 86%	Thuler *et al*., 2008
Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)	Dessecação para renovação	Glifosato vs. GLY + EP + óleo mineral	GLY 3,0 L ha^{-1} + EP 0,5 L ha^{-1}	Pulverização	Redução da dose de glifosato mantendo eficácia e baixa brotação	Pereira *et al*., 2025
Capim-limão (*C. citratus*)	Redução da severidade	EP	25 g L^{-1}	Pulverização foliar	Redução de urediniósporos nas folhas	Lorenzetti *et al*., 2012
Capim-limão (*Cymbopogon citratus*)	Controle de ferrugem	EP de eucalipto	40–50 g L^{-1}	In vitro	Inibição total da germinação de esporos	Lorenzetti *et al*., 2012
Eucalyptus spp. e *Mimosa tenuiflora*	Caracterização química	EP sob diferentes taxas térmicas	Pirólise até 450 °C	Laboratorial	Altas taxas ↑ furanos; baixas taxas ↑ fenóis	Medeiros *et al*., 2019
Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*)	Produção	Biochar + EP	3:1 (m/m)	Mistura no solo	Desempenho inferior ao biochar puro	Lima *et al*., 2025
Feijão-preto (*Phaseolus vulgaris* L.)	Germinação e emergência	EP	Sementes: 0–100%; Solo: 0–2,0%	Tratamento de sementes / solo	Inibição da germinação em sementes; redução do IVE no solo	Silva *et al*., 2021
Girassol (*Helianthus annuus*)	Estresse salino	Solução pirolenhosa	1%	Pulverização semanal	↑ clorofila e diâmetro do caule	Ferreira *et al*., 2024
Limoeiro ‘Cravo’	Nutrição mineral	Micronutrientes + EP	10 cm^3 dm^{-3}	Pulverização foliar	Aumento de Cu e Mn foliar	Zanetti *et al*., 2004
Meloeiro (*Cucumis melo*)	Controle de mosca-branca	EP (Pironat)	2 mL L^{-1}	Pulverização foliar	Eficiência de 67,35% em casa de vegetação	Azevedo *et al*., 2005

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

Milho (*Zea mays* L.)	Desenvolvimento inicial	EP	0–2,0% (v/v)	Aplicação no solo	Aumento de altura (12 cm) e MS de raízes (+34,3%)	Silva *et al*., 2021
Milho (*Zea mays* L.)	Produtividade	EP	15,9–21,2 L ha^{-1}	Sementes + foliar (V8)	Aumento da produtividade e índices de vegetação	Silva *et al*., 2024
Orquídeas (*Cattleya* spp.)	Crescimento vegetativo	EP + carvão vegetal	Substrato 1:1:1:1	Uso em substrato	Aumento de raízes, brotos e parte aérea	Schnitzer *et al*., 2010; 2015
Palmeira areca-bambu	Produção de mudas	EP isolado e com adubo	0,1–0,2%	Aplicação no substrato	Melhor número de brotos quando associado a adubo	Wanderley *et al*., 2012
Patógenos humanos	Atividade antimicrobiana	EP	20%	Ensaio clínico	Inibição total de fungos e bactérias testados	Silva *et al*., 2025
Pitangueira (*E. uniflora*)	Déficit hídrico	EP	2%	Via solo	↑ fotossíntese e eficiência de carboxilação	Ferreira *et al*., 2025b
Pitangueira (*Eugenia uniflora*)	Estresse salino	EP	2%	Via solo	Mitigação do estresse até 2,5 dS m^{-1}	Ferreira *et al*., 2025a
Soja (*Glycine max*)	Indução de fitoalexinas	EP (Biopirol)	0,1–1,0 mL L^{-1}	Corte em cotilédones	Indução significativa de fitoalexinas	Melo *et al*., 2017
Sorgo (*Sorghum bicolor*)	Indução de fitoalexinas	EP (Biopirol)	0,1–1,0 mL L^{-1}	Imersão	↑ fitoalexinas nas maiores doses	Melo *et al*., 2017
Videira ‘Chardonnay’	Controle de lagartas	EP (Biopirol 7 M®)	250–500 mL 100 L^{-1}	Pulverização foliar	Baixa eficiência no controle	Morandi Filho *et al*., 2006b
Videira ‘Itália’ (IAC-572)	Enraizamento de estacas	AIB vs. EPs comerciais	1%	Imersão	EP comercial com maior enraizamento; AIB aumentou mortalidade	Souza *et al*., 2025a

Fonte: Autores (2026)

3.6. EVOLUÇÃO TEMPORAL E CONSOLIDAÇÃO DAS PESQUISAS SOBRE O EXTRATO PIROLENHOSO

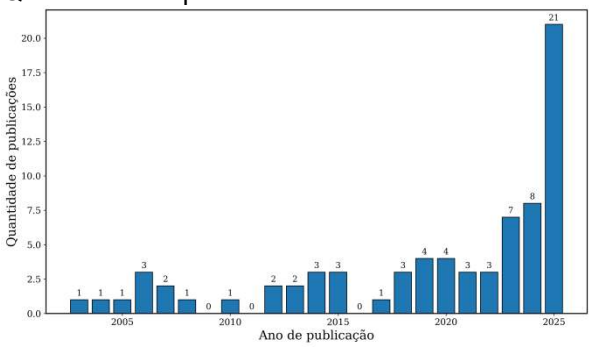
As Figuras 3, 4 e 5 apresentam o histograma Ano de Publicação × Quantidade de Referências, percentual de cada tipo de trabalho analisado e quantidade de artigos por períodicos científicos elaborado a partir de todas as citações incluídas no texto e nas tabelas, sem exclusão de anais de eventos, revisões ou estudos aplicados. Observa-se baixa densidade de publicações no

REMUNOM
ISSN 2178-6925
Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

período entre 2000 e 2010, caracterizado por estudos pioneiros voltados principalmente à fitossanidade e à fisiologia vegetal. A partir de 2012, verifica-se crescimento gradual no número de publicações, associado à ampliação do uso do EP como bioestimulante, indutor de resistência e insumo agroecológico.

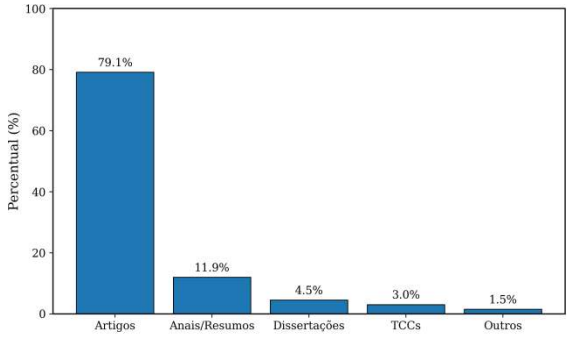
Entre 2019 e 2021, nota-se a consolidação do tema, impulsionada pelo aumento de pesquisas relacionadas à composição química do EP, à sua atividade antimicrobiana e às suas contribuições para a sustentabilidade ambiental. O ano de 2025 apresenta o maior pico de publicações, refletindo a expansão das investigações para áreas emergentes, como medicina veterinária, biofilmes, nanotecnologia e aplicações integradas envolvendo biochar e EP, além do crescimento expressivo de trabalhos aplicados e tecnológicos, incluindo anais de eventos científicos. Esse cenário também evidencia o fortalecimento do interesse por alternativas sustentáveis aos agroquímicos e antimicrobianos convencionais.

Figura 3 - Histograma Ano de Publicação × Quantidade e tipo de Referências



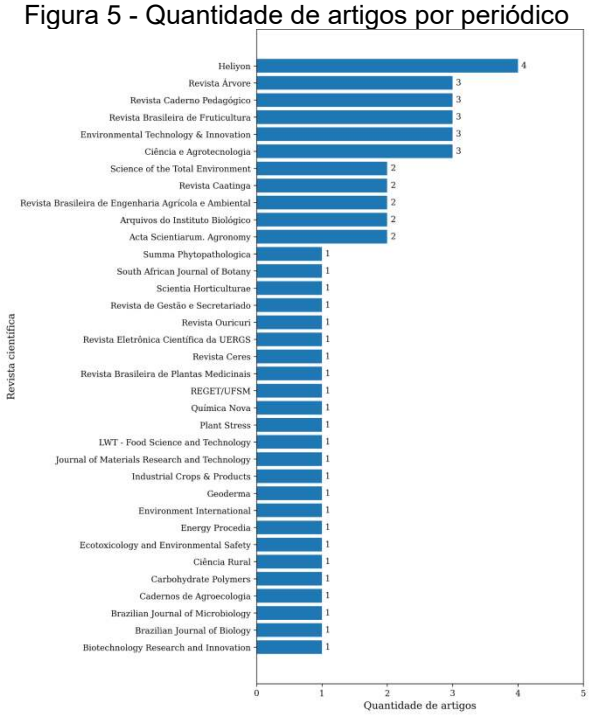
Fonte: Autores (2026)

Figura 4 - Percentual de cada tipo de trabalho analisado



Fonte: Autores (2026)

Figura 5 - Quantidade de artigos por periódico



Fonte: Autores (2026)

3.6.1. **Número de patentes**

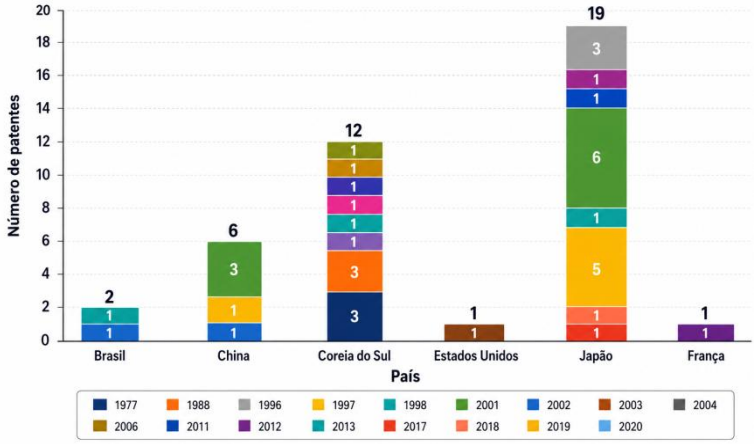
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

A prospecção tecnológica do EP como agente antifúngico revela um cenário marcado por avanços científicos promissores, ainda que com limitada tradução em inovações em patentes (Figura 6).

Silva e Escodro (2025), a partir de revisão de literatura e busca nas bases de patentes Espacenet e INPI, identificaram 39 patentes relacionadas ao EP, das quais apenas seis apresentavam associação direta com uso antifúngico ou antimicrobiano, e grande parte em situação de indeferimento, expiração ou retirada. Apesar do amplo espectro de ação antimicrobiana do EP frente a microrganismos como *Candida albicans*, *Fusarium* sp., *Microsporum gypseum* e *Cryptococcus neoformans*, os depósitos concentravam-se predominantemente no Japão (49%), Coreia do Sul (28%) e China (13%), enquanto o Brasil, detentor de expressiva capacidade produtiva em biomassa e carvão vegetal, respondia por apenas 5% dos registros. Esse panorama evidencia uma lacuna significativa entre a produção científica e o desenvolvimento tecnológico aplicado, atribuída à ausência de estudos clínicos robustos, à falta de padronização nos processos de obtenção do extrato e às barreiras regulatórias, reforçando a necessidade de maior investimento em pesquisa translacional para viabilizar a inserção do EP nos mercados farmacêutico, veterinário e agrícola.

Figura 6 - Número de patentes depositadas por país no período de 1977-2020



Fonte: Silva e Escodro (2025) adaptado pelos autores (2026)

3.7. PANORAMA GLOBAL DAS PESQUISAS E APLICAÇÕES DO EXTRATO PIROLENHOSO

A Tabela 6 apresenta as principais contribuições científicas sobre o EP organizadas por continente, evidenciando a abrangência geográfica e temática das pesquisas. Contudo, os estudos ressaltam que a eficiência do EP depende da adequada otimização das doses, visto que concentrações elevadas podem induzir fitotoxicidade e comprometer processos fisiológicos essenciais.

Tabela 6 - Principais contribuições científicas e achados relevantes, por continente, publicadas em periódicos científicos indexados no ScienceDirect

Continente	Principal Contribuição	Achado Relevante	Fonte
Ásia	Estudo do efeito do vinagre de madeira no crescimento do tomateiro (Tailândia).	A aplicação de EP (1:800) aumentou a biomassa e a produtividade de frutos em até 34,5%.	Mungkunkamchao *et al*. (2013)
	Uso do EP de bambu na produção industrial de borracha (Tailândia).	Atuou como coagulante e agente antifúngico eficaz para folhas de borracha natural.	Sumanatrakul *et al*. (2015)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

	Mitigação de genes de resistência a antibióticos (ARGs) no solo (China).	A aplicação de EP reduziu a abundância de ARGs em até 75,4% ao enfraquecer a transferência horizontal de genes.	Zheng *et al*. (2020)
	Remoção ecológica da cianobactéria Microcystis aeruginosa (China).	Uma concentração de 0,45% de EP atingiu 90% de eficiência na remoção de algas nocivas em águas.	Zhu *et al*. (2020)
	Recuperação de solos costeiros para cultivo de amendoim (China).	A coaplicação com biochar aumentou a produção de vagens e melhorou a qualidade nutricional (aminoácidos).	Yuan *et al*. (2022)
	Promoção de crescimento de Rhododendron e ciclo do nitrogênio (China).	EP diluído alterou genes funcionais na rizosfera, melhorando o uso de nitrogênio pelas plantas.	Zhou *et al.* (2023)
	Melhoria na fermentação de folhas de Moringa oleifera (China).	A adição de EP preservou proteínas, inibiu coliformes e aumentou metabólitos benéficos como apigenina.	Zou *et al*. (2023)
	Desenvolvimento de fertilizante microbiano de liberação lenta (China).	A integração de biochar, EP e Bacillus spp. otimizou a retenção de N, P e K e a diversidade microbiana.	Cheng *et al*. (2025)
	Crescimento de mudas de milho em solos salinos (China).	A combinação de biochar e 1% de EP elevou em 60% a biomassa do milho e melhorou a capacidade de retenção de água do solo.	Suo *et al*. (2025)
América	Revisão sistemática do potencial antimicrobiano (Brasil).	Confirmou a eficácia contra diversos patógenos em alimentos, destacando o EP como conservante natural promissor.	Souza *et al*. (2018)
	Eficácia antimicrobiana de misturas de madeira de coníferas (Canadá).	O EP neutralizado apresentou forte atividade antibacteriana, sendo uma alternativa sustentável a antibióticos.	Suresh *et al*. (2019)
	Perspectiva histórica da ciência da celulose e destilação de madeira (EUA).	Contextualizou a formalização científica do EP no século XIX como parte da evolução química de materiais renováveis.	Patterson (2021)
	Síntese sustentável de nanopartículas de prata (AgNPs) (Brasil).	O EP serviu como agente redutor e estabilizante na síntese verde de AgNPs com forte ação bactericida.	Medeiros *et al*. (2022)
	Mitigação do estresse por alumínio em tomates (Canadá).	O tratamento de sementes (2% de EP) vigorizou as mudas e ativou genes de defesa antioxidante.	Ofoe *et al*. (2022)
	Quebra de dormência em espécies adaptadas ao fogo (Brasil).	O EP ("fumaça líquida") atuou como sinalizador químico para promover a germinação de Senna macranthera.	Bastos *et al*. (2023)
	Ciência dos materiais: Anodização de titânio (Brasil).	O EP de acácia negra foi utilizado como eletrólito sustentável para obter filmes finos semicondutores de óxido de titânio.	Fuhr *et al*. (2024)

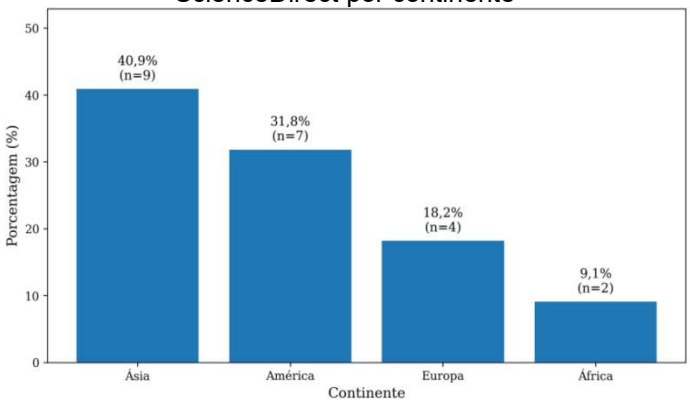
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

Europa	Controle de ervas daninhas invasoras (Finlândia/Itália).	O líquido de pirólise aplicado via cobertura morta (mulch) eliminou mudas de espécies invasoras como a Heracleum mantegazzianum.	Hagner *et al*. (2020)
	Redução de emissões de amônia (NH_3) em dejetos bovinos (Finlândia).	O EP reduziu drasticamente a volatilização de amônia sem afetar negativamente organismos do solo como nematoides.	Hagner *et al*. (2021)
	Mitigação de impactos de bioplásticos em plantas de manjericão (Itália).	O destilado de madeira aumentou o valor nutricional e mitigou o estresse oxidativo causado por bioplásticos no solo.	Celletti *et al*. (2023)
	Perfil nutricional de maçãs em agricultura orgânica (Itália).	Aplicação foliar (0,2%) elevou significativamente o teor de fenóis, açúcares e poder antioxidante na polpa dos frutos.	Fedeli *et al*. (2024)
África	Atividade inseticida e antifúngica de alcatrões de madeira (Tunísia).	Demonstrou alta mortalidade de pulgões e inibição de fungos fitopatogênicos como o Fusarium.	Derbali *et al*. (2024)
	Otimização de briquetes de biocombustível (Costa do Marfim).	Recuperação do EP como subproduto valioso na carbonização de serragem para otimização energética.	Nganko *et al*. (2024)

Fonte: Autores (2026)

Figura 7- Percentual de artigos científicos publicados em periódicos Opens Access indexados no ScienceDirect por continente



Fonte: Autores (2026)

A trajetória científica do EP, distribuída em diferentes regiões do mundo, reforça seu papel estratégico na transição para uma economia circular, ao transformar subprodutos da pirólise em soluções inovadoras voltadas à segurança alimentar, à remediação ambiental e ao desenvolvimento tecnológico sustentável. A organização geográfica das pesquisas evidencia padrões distintos de enfoque regional: a Ásia, especialmente a China, lidera investigações relacionadas à biorremediação de solos e ao desenvolvimento de novos fertilizantes; as Américas, com destaque para Brasil e Canadá, concentram-se em aplicações biotecnológicas e nanotecnológicas; enquanto a Europa direciona seus esforços principalmente para sustentabilidade ambiental e melhoria da qualidade nutricional dos alimentos.

3.8. EXTRATO PIROLENHOSO COMO INSUMO MULTIFUNCIONAL: APLICAÇÕES, RISCOS E NECESSIDADE DE PADRONIZAÇÃO

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

As fontes sintetizadas na Tabela 7 analisam o uso do EP, como alternativa sustentável em sistemas agrícolas e microbiológicos. Estudos experimentais evidenciam sua eficácia no controle de pragas, além de expressiva atividade antimicrobiana frente a bactérias e fungos, cuja intensidade varia conforme o nível de acidez do produto. O EP também tem sido avaliado como bioestimulante e fertilizante em diferentes culturas, promovendo incremento na emissão de folhas, brotações e desenvolvimento vegetativo. Contudo, parte da literatura relata limitações associadas ao uso inadequado do EP, como fitotoxicidade em culturas sensíveis, a exemplo do feijão-caupi, e a atratividade indesejada de formigas-cortadeiras.

Tabela 7 - Cronologia das Pesquisas sobre EP no Brasil publicadas em periódicos científicos indexados no SciElo

Regiões do Brasil	Principais Contribuições	Achados Relevantes	Fontes
Norte e Nordeste	Controle de mosca-branca em meloeiro com produtos naturais.	O EP apresentou 67,35% de eficiência contra ninfas em casa de vegetação.	Azevedo *et al.* (2005)
	Efeito da taxa de aquecimento na composição química do EP.	Taxas lentas favorecem a concentração de fenóis e furfural no extrato.	Medeiros *et al.* (2019)
	Influência do pH na atividade antimicrobiana do EP.	Mantém eficácia contra *Salmonella* e *Candida* mesmo quando neutralizado.	Gama *et al.* (2023)
	EP como atenuador de estresse salino em girassol.	Solução a 1% preservou clorofila em plantas sob irrigação salina.	Ferreira *et al.* (2024)
	Sensoriamento remoto e EP como bioestimulante em milho.	Aumentou a produtividade na época chuvosa em doses de 15,9 a 21,2 L ha^{-1}.	Silva *et al.* (2024)
	EP na atenuação do estresse salino em pitangueira.	Mitiga efeitos salinos até 2,5 dS m^{-1}, melhorando a qualidade das mudas.	Ferreira *et al.* (2025)
	EP como mitigador de déficit hídrico em pitanga.	Melhora trocas gasosas e fotossíntese sob restrição hídrica de 7 dias.	Ferreira *et al.* (2025)
	Efeito de biochar embebido em EP no feijão-caupi.	A técnica não superou o biochar puro; indica-se biochar isolado para raízes.	Lima *et al.* (2025)
Sudeste e centro-oeste	Avaliação do EP no desenvolvimento de porta-enxertos cítricos.	Concentrações de 20 cm^3 dm^{-3} no substrato reduzem o crescimento inicial.	Zanetti *et al.* (2003)
	Estudo do EP na absorção foliar de nutrientes em citros.	A dose de 10 cm^3 dm^{-3} aumenta a absorção de cobre e manganês.	Zanetti *et al.* (2004)
	Teste do EP contra bicho-mineiro e seletividade a vespas.	Não controla a praga, mas é inócuo e seguro para vespas predadoras.	Mendonça *et al.* (2006)
	Ação acaricida e repelente sobre o ácaro da leprose.	Não apresenta repelência; mortalidade ocorre apenas em doses muito elevadas.	Alves *et al.* (2007)
	Impacto do EP no forrageamento de formigas-cortadeiras.	O EP atua como atrativo/estimulante, favorecendo o corte de mudas.	Souza-Silva e Zanetti (2007)
	Interação entre brássicas, praga e parasitoides sob EP.	O EP elevou a mortalidade da traça-das-crucíferas em cultivares específicas.	Thuler *et al.* (2008)

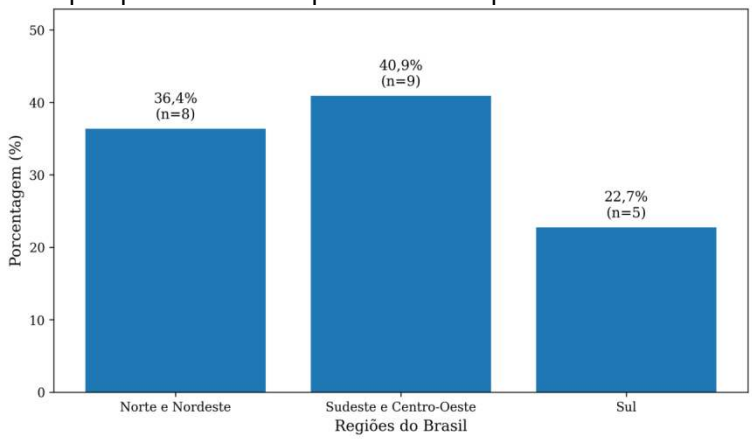
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

	Controle da ferrugem do capim-limão com produtos naturais.	Inibiu a germinação de esporos *in vitro* e reduziu a severidade no campo.	Lorenzetti *et al. (*2012*)*
	Alterações químicas no solo (Oxisol) tratadas com EP.	Doses acima de 4% aumentam a acidez e a lixiviação de Ca, Mg e K.	Togoro *et al. (*2014*)*
	Indução de fitoalexinas em soja e sorgo via EP.	Atua como eliciador de defesas naturais, superando o padrão ASM em soja.	Melo *et al. (*2017*)*
Sul	Efeito do EP na biologia da lagarta-das-fruteiras.	EP (0,5%) prolonga a fase larval e reduz a longevidade dos machos.	Morandi Filho *et al. (2006b)*
	Seletividade do EP ao parasitoide *Trichogramma pretiosum*.	Classificado como inócuo (Classe 1), sendo compatível com controle biológico.	Morandi Filho *et al. (*2006a)
	Uso de substratos e EP no cultivo de orquídeas.	O EP no substrato incrementa o enraizamento e a massa fresca.	Schnitzer *et al. (*2010)
	Interação entre adubação orgânica e EP em palmeiras.	A associação de torta de mamona com EP potencializa a emissão de brotos.	Wanderley *et al. (*2012)
	Definição de doses ideais de EP para a orquídea *C. loddigesii*.	A dose de 0,6% é a mais eficaz para o desenvolvimento vegetativo.	Schnitzer *et al. (*2015)

Fonte: Autores (2026)

Figura 8 - Distribuição das pesquisas brasileira publicadas em periódicos científicos indexados no SciELO



Fonte: Autores (2026)

Os estudos convergem ao destacar o potencial do EP para reduzir o uso de agrotóxicos convencionais, melhorar a saúde do solo e favorecer sistemas de produção vegetal mais sustentáveis, consolidando-o como um insumo de elevada versatilidade.

Ademais, a análise integrada dos dados apresentados nas fontes e sintetizados nas Tabelas 6 e 7 evidencia que o EP se consolidou como um insumo multifuncional, cuja eficácia está diretamente condicionada à dosagem aplicada e ao sistema de cultivo. Enquanto estudos conduzidos nas regiões Sul e Sudeste do Brasil destacam seu uso histórico como bioestimulante em orquídeas e sua elevada seletividade em relação a inimigos naturais, pesquisas mais recentes, concentradas no Nordeste, indicam uma mudança de paradigma, com ênfase no uso do EP como ferramenta estratégica para a mitigação de estresses abióticos, como salinidade e déficit hídrico.

Todavia, a discussão técnica reforça que o EP não é isento de riscos. Doses inadequadas podem induzir fitotoxicidade em citros, atrair pragas indesejadas, como formigas-cortadeiras, ou comprometer a dinâmica química do solo por meio da

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

lixiviação de nutrientes essenciais. Dessa forma, a evolução do EP para um insumo de precisão demanda a padronização de protocolos de uso que conciliem sua comprovada capacidade estimuladora e antimicrobiana com a segurança ambiental e a especificidade fisiológica de cada cultura.

3.9. EVOLUÇÃO CONCEITUAL DO EXTRATO PIROLENHOSO

A análise das fontes apresentadas na Tabela 8 evidencia que o EP, historicamente tratado como um subproduto da carbonização da madeira vem sendo progressivamente reinterpretado como um insumo agroecológico e sustentável, com aplicações que abrangem distintos sistemas produtivos.

Tabela 8 - Contribuições e Achados Científicos sobre EP publicadas no Brasil, indexadas no Google Acadêmico

Regiões do Brasil	Principais Contribuições	Achados Relevantes	Fontes
Norte e Nordeste	Avaliação da influência de tipos de extrato (preto, amarelo e culinário) na germinação de braquiária.	O extrato preto apresentou os melhores resultados; os extratos amarelo e culinário reduziram a germinação e o vigor em doses acima de 1,0%.	Kumi *et al.*(2025)
	Estudo do efeito da taxa de aquecimento da pirólise na composição química do extrato de Eucalyptus e Mimosa.	Taxas de aquecimento menores produzem mais carvão e maior concentração de fenóis; taxas maiores aumentam o teor de furanos e piranos.	Medeiros *et al*. (2019)
	Teste de redução da dose de glifosato na dessecação de cana-de-açúcar associada ao extrato e óleo mineral.	A combinação permitiu reduzir a dose de glifosato de 3,5 para 3,0 L/ha sem perda de eficácia; a substituição proporcional litro a litro não é viável.	Pereira *et al*. (2025)
	Prospecção tecnológica e análise de patentes do extrato como agente antifúngico.	Demonstrado alto potencial antisséptico e antimicrobiano (clínico e in vitro); o Brasil possui poucas patentes em relação a Japão, Coreia e China.	Silva e Escodro (2025)
	Avaliação de extratos como alternativa ao ácido indolbutírico (AIB) no enraizamento de estacas de videira.	O extrato comercial a 1% destacou-se no enraizamento; não houve diferença estatística significativa entre os extratos e o grupo controle.	Souza *et al*. (2025)
	Avaliação in vitro da atividade pediculicida de extratos pirolenhosos (EP) de eucalipto com ervas aromáticas.	O extrato de eucalipto com orégano (100%) atingiu mortalidade superior a 80% no piolho Bovicola caprae.	Braga (2025)
	Investigação do biochar e EP como condicionadores de solo para milho e cártamo.	Doses entre 3 e 6 t ha^{-1} otimizaram a produtividade de grãos e o rendimento de óleo de cártamo.	Souza (2025)
	Revisão sobre indutores de enraizamento agroecológicos para utilização em videiras.	Identificou o EP e extratos vegetais como alternativas sustentáveis promissoras aos hormônios sintéticos.	Cardôso (2025)
	Estudo do efeito antibiofilme do EP de eucalipto em cepas multirresistentes de otite canina.	O extrato inibiu entre 46,6% e 91,3% da formação de biofilmes bacterianos.	#Araújo *et al*. (2025)
	Avaliação da atividade antimicrobiana e moduladora do EP em bactérias de otite externa canina.	Demonstrou ação sinérgica com a ciprofloxacina em 40% das cepas multirresistentes testadas.	#Castro *et al*. (2025)

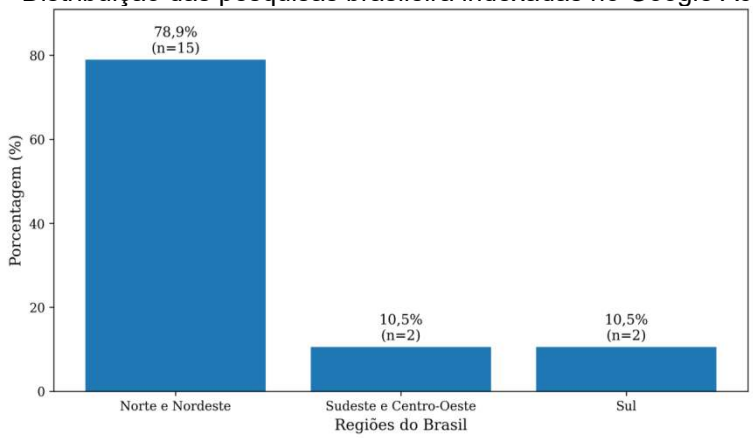
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

	Teste do EP na inibição e erradicação de biofilme de S. aureus em mastite bovina.	A concentração de 12,5% inibiu mais de 70% da formação de biofilme em 83% das cepas clínicas.	#Clarindo *et al*. (2025)
	Análise da eficácia antimicrobiana do EP contra Pseudomonas aeruginosa em ambiente hospitalar.	O extrato apresentou atividade bactericida significativa, sendo eficaz contra cepas resistentes a antibióticos.	#Santos *et al*. (2025)
	Estudo do EP como antisséptico para o coto umbilical de caprinos neonatos.	O EP a 12,5% mostrou eficácia semelhante ao iodo 10%, com boa tolerância tecidual e segurança.	#Soares *et al*. (2025)
	Desenvolvimento de forno retangular para produção de carvão e EP em pequenas propriedades.	O sistema alcançou rendimento gravimétrico de 31,23% para o EP, reduzindo a emissão de gases poluentes.	#Souza *et al*. (2025b)
	Avaliação de substratos com biochar e EP no desenvolvimento de mudas de meloeiro.	O substrato com 10% de EP proporcionou o melhor desenvolvimento de biomassa e vigor das plântulas.	Hora (2025)
Sudeste e Centro Oeste	Caracterização do extrato pirolenhoso bruto através de destilação fracionada.	Obteve-se rendimento médio de 64% de líquido pirolenhoso; a destilação dominada permite desenvolver produtos mais nobres e puros.	Sena *et al* (2014)
	Caracterização físico-química do EP e sua aplicação na miniestaquia de Eucalyptus urophylla.	Extratos coletados acima de 350 °C (ricos em fenóis) induziram melhor enraizamento e raízes de melhor qualidade.	Oliveira (2025)
Sul	Avaliação do efeito de doses de extrato aplicadas no solo e na semente de milho e feijão.	Aplicação no solo a 2,0% aumentou a altura (12 cm) e raízes de milho; doses elevadas em sementes de feijão inibiram a germinação.	Silva *et al*. (2021)
	Teste do potencial carrapaticida do EP sobre o carrapato bovino R. microplus.	A concentração de 100% atingiu 100% de eficácia na inibição da oviposição e eclosão	Maroso *et al*. (2025)

#Trabalhos apresentados nos anais do XXXI Seminário de Iniciação Científica da UFERSA.
Fonte: Autores (2026)

Figura 9 - Distribuição das pesquisas brasileira indexadas no Google Acadêmico



Fonte: Autores (2026)

Os estudos indicam que a composição química complexa do EP contribui para a superação de barreiras fisiológicas associadas à resistência intrínseca a processos de degradação vegetal, favorecendo processos como o enraizamento em culturas perenes, a exemplo do eucalipto e da videira. Esses resultados reforçam o

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

potencial do EP como alternativa parcial ao uso de reguladores sintéticos, alinhando-se a estratégias de manejo mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

Além das aplicações agronômicas, a literatura analisada amplia o escopo funcional do EP ao demonstrar sua expressiva atividade antimicrobiana, incluindo o controle de bactérias multirresistentes em cães. Destacam-se sua ação bactericida e a capacidade de inibir a formação de biofilmes, atributos que indicam o potencial do EP como agente natural de amplo espectro. Esses achados contribuem para a redução da dependência de antimicrobianos convencionais e para a mitigação dos riscos associados à resistência microbiana, estabelecendo uma conexão direta entre o uso do EP e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente no que se refere à redução de insumos sintéticos e à mitigação de impactos ambientais e climáticos.

No contexto da agricultura de larga escala, particularmente no manejo da cana-de-açúcar, os estudos discutidos avaliam o uso do EP como componente de misturas destinadas à dessecação e à renovação de canaviais, com o objetivo de reduzir as doses de glifosato. A combinação do herbicida com EP, óleo mineral e inibidores da PROTOX foi analisada quanto à fitotoxicidade e à ocorrência de rebrota. Os resultados indicam que, embora o EP possa potencializar moderadamente o efeito químico do manejo, sua substituição proporcional ao herbicida não se mostrou plenamente eficaz, atuando predominantemente como adjuvante e não como substituto direto em sistemas convencionais.

Em síntese, os estudos analisados reforçam o caráter estritamente dose-dependente e espécie-específico do EP, evidenciando que seu uso como adjuvante em sistemas convencionais — a exemplo da redução de doses de glifosato na dessecação de cana-de-açúcar — apresenta potencial moderado, sem substituir proporcionalmente os insumos sintéticos. Do ponto de vista tecnológico, a agregação de valor ao EP depende do domínio dos processos de caracterização e destilação, sendo que extratos obtidos acima de 350 °C apresentam maior eficiência biológica, especialmente na indução radicular de espécies florestais. Embora o EP e o biochar se consolidem como pilares da economia circular, a expressiva produção científica nacional contrasta com a escassez de patentes registradas, evidenciando a necessidade de políticas de inovação capazes de transformar o conhecimento acadêmico em soluções tecnológicas competitivas em escala global.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura científica evidencia que o EP é um insumo versátil e promissor, capaz de estimular o crescimento vegetal, induzir defesas naturais, controlar patógenos e mitigar estresses ambientais. Contudo, sua aplicação segura e eficaz depende do rigoroso ajuste de doses, formas de aplicação e contexto edafoclimático. A padronização de formulações e a ampliação de estudos in vivo são essenciais para consolidar o EP como uma tecnologia limpa, eficiente e economicamente viável na agricultura e em outras áreas.

5. REFERÊNCIAS

1) 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/S0100-29452007000200039

2) ARAÚJO, G. L. *et al*. Efeito do extrato pirolenhoso de *Eucalyptus urograndis* sobre biofilme bacteriano em cepas multirresistentes oriundas de otite externa de cães. In: SEMINÁRIO DE

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFERSA, 31., 2025, Mossoró. **Anais...** Mossoró: UFERSA, 2025. Disponível em: https://semic.ufersa.edu.br/

3) AZEVEDO, F. R.; *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/uploads/files/pdf/rev_biologico/v72_1/azevedo.pdf.

4) BASTOS, L. L. *et al*. Germination of Senna macranthera (DC. ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby in response to heat and smoke. **South African Journal of Botany**, v. 154, p. 219-224, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.032.

5) BRAGA, F.D.N. **Efeito pediculicida de extratos pirolenhosos produzidos com madeira de eucalipto em co-pirólise com ervas aromáticas**. 2025. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, 2025. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/

6) 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. **Quim. Nova**, Vol. 46, No. 10, 961-971, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230079

7) CARDÔSO, I.S. **Indutores de enraizamento alternativas agroecológicas para utilização em videiras**: revisão bibliográfica. 2025. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Viticultura e Enologia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE), Petrolina, 2025. Disponível em: https://ifsertao-pe.edu.br/

8) CASTRO, A.B.M. *et al*. Avaliação da atividade antimicrobiana e moduladora do extrato pirolenhoso de *Eucalyptus urograndis* em bactéria multirresistentes isoladas de otite externa canina. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFERSA, 31., 2025, Mossoró. **Anais...** Mossoró: UFERSA, 2025. Disponível em: https://semic.ufersa.edu.br/

9) 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.

10) CHENG, J. *et al*. Modified biochar-immobilized Bacillus spp. for the release of nutrients and its response to soil microbial community activity and structure. **Industrial Crops & Products**, v. 225, 120466, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120466.

11) CLARINDO, A.M. *et al*. Avaliação do extrato pirolenhoso de eucalipto (clone I144) na inibição e erradicação de biofilme bacteriano de *S. aureus* multirresistentes. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFERSA, 31., 2025, Mossoró. **Anais...** Mossoró: UFERSA, 2025. Disponível em: https://semic.ufersa.edu.br/

12) DERBALI, F. *et al*. Chemical composition, Insecticidal and antifungal activities of Pinus halepensis mill. and Acacia cyanophylla sp. wood tars. **Heliyon**, v. 10, e27813, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27813.

13) FEDELI, R. *et al*. Unlocking the potential of biostimulants in sustainable agriculture: Effect of wood distillate on the nutritional profiling of apples. **Heliyon**, v. 10, e37599, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37599.

14) FERREIRA, A.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/10.1590/1983-21252024v3712302rc.

15) FERREIRA, A.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: http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n8e291047.

16) FERREIRA, A.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: http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n2e286827.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

17) 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.

18) 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: http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820230000011.

19) HAGNER, M. *et al*. Efficiency of a novel biodegradable pyrolysis liquid-amended mulch in weed control. **Environmental Technology & Innovation**, v. 20, 101154, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101154.

20) HAGNER, M. *et al*. Slow pyrolysis liquid in reducing NH3 emissions from cattle slurry — Impacts on plant growth and soil organisms. **Science of the Total Environment**, v. 784, 147139, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147139.

21) HORA, F.E.S. **Uso de substratos no desenvolvimento de plântulas de *Cucumis melo L.*** 2025. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agronômica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Macaíba, 2025. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/

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

23) LIMA, N. S. *et al*. Effect of biochar soaked in wood vinegar on cowpea production and root growth. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 38, e12749, 2025. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252025v3812749rc

24) LORENZETTI, E. R. *et al*. Controle da ferrugem das folhas do capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf] com produtos naturais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 370-375, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000200017

25) MAROSO, J.C. *et al*. Efeito do extrato pirolenhoso em biocarrapaticidograma - resultados preliminares. In: SEMANA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO IFC CONCÓRDIA, 6., 2025, Concórdia. **Anais...** Concórdia: IFC, 2025. Disponível em: https://sepe.concordia.ifc.edu.br/

26) 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

27) MEDEIROS, L.C.D. *et al*. Effect of pyrolysis heating rate on the chemical composition of wood vinegar from *Eucalyptus urograndis* and *Mimosa tenuiflora*. **Revista Árvore**, v. 43, n. 4, e430408, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882019000400008

28) MELO, T.A. *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

29) MENDONÇA, J.M.A. *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/S1413-70542006000500013

30) 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. 2006a. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000400004

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

31) 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. 2006b. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/files/pdf/arq/v73_3/morandi.pdf

32) 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

33) NGANKO, J. M. *et al*. Modeling and optimization of compaction pressure, binder percentage and retention time in the production process of carbonized sawdust-based biofuel briquettes using response surface methodology (RSM). **Heliyon**, v. 10, e25376, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25376

34) OFOE, R. *et al*. Seed priming with pyroligneous acid mitigates aluminum stress, and promotes tomato seed germination and seedling growth. **Plant Stress**, v. 4, 100083, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100083

35) 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/

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

37) PEREIRA, M. G. *et al*. Reduction of Glyphosate Dose in Sugarcane Desiccation with Pyroligneous Extract. **Revista de Gestão e Secretariado (GeSec)**, v. 16, n. 8, 2025. Disponível em: http://doi.org/10.7769/gesec.v16i8

38) SANTOS *et al*. Eficiência de redução de doses de 2,4-D em mistura com extrato pirolenhoso no controle de plantas daninhas. **REVISTA CADERNO PEDAGÓGICO** – Studies Publicações e Editora Ltda., Curitiba, v.21, n.6, p. 01-20. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.54033/cadpedv21n6-203

39) SANTOS, C. *et al*. Ação bioherbicida de extrato pirolenhoso no manejo pós-emergência de plantas infestantes. **Cadernos de Agroecologia** – ISSN 2236-7934 - **Anais** do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - v. 19, n. 1, 2024. Disponível em: https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/7815/5668

40) SANTOS, F.M.G. *et al*. Análise da eficácia antimicrobiana *in vitro* do extrato pirolenhoso do *Eucalyptus urograndis* em *Pseudomonas aeruginosa*. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFERSA, 31., 2025, Mossoró. **Anais...** Mossoró: UFERSA, 2025. Disponível em: https://semic.ufersa.edu.br/

41) 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

42) 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: http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562010013

43) SENA, M.F.M. *et al*. Potencialidades do extrato pirolenhoso: práticas de caracterização. **REGET/UFSM**, v. 18, Ed. Especial, p. 41-44, maio 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5902/2236117013808

44) SILVA, A.V. *et al*. Remote sensing in maize: effect of vegetal biostimulants application in three stages of development. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 84, e279328, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1519-6984.279328

45) SILVA, D.W. *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: http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.71.93-102

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

46) SILVA, K.O.; ESCODRO, P.B. Prospecção tecnológica do extrato pirolenhoso como agente antifúngico. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 11, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.54033/cadpedv22n11-199

47) SOARES, E.B. *et al*. Potencial antimicrobiano do extrato pirolenhoso de *Eucalyptus urograndis* I144 sobre o coto umbilical de caprinos neonatos. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFERSA, 31., 2025, Mossoró. **Anais...** Mossoró: UFERSA, 2025. Disponível em: https://semic.ufersa.edu.br/

48) SOUZA, E. M. *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**, v. 15, n. 1, p. 03-10, jan./jun. 2025a. https://doi.org/10.59360/ouricuri.vol15.i1.a21641

49) SOUZA, J.L.S. *et al*. Antimicrobial potential of pyroligneous extracts – a systematic review and technological prospecting. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, p. 128–139, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.07.001

50) SOUZA, J.A.G. *et al*. Desenvolvimento e Avaliação de um Forno Retangular para a Produção de Carvão e Extrato Pirólígneo em Pequenas Propriedades Rurais. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFERSA, 31., 2025, Mossoró. **Anais...** Mossoró: UFERSA, 2025b. Disponível em: https://semic.ufersa.edu.br/

51) SOUZA, W.M.A.T. **Produção de milho e cártamo em sucessão após aplicação ao solo de biochar e extrato pirolenhoso de eucalipto**. 2025. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Macaíba, 2025. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/

52) 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/S0100-67622007000400020

53) 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

54) SUO, F. *et al*. Individual and combined applications of biochar and pyroligneous acid in a coastal soil. **Environmental Technology & Innovation**, v. 40, 104474, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104474

55) 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

56) 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/S1413-70542008000400034

57) TOGORO, A H.; SILVA, J.A.S.; CAZETTA, J.O. Chemical changes in an oxisol treated with pyroligneous acid. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 113-121, mar./abr. 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200002

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

59) YUAN, Y. *et al*. Co-application of biochar and pyroligneous acid improved peanut production and nutritional quality in a coastal soil. **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, 102886, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102886

60) 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.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/04/2026 - **Accepted:** 28/05/2026
Vol: 13.11
DOI: 10.66104/3dxs6j66
Pages: 1-33

25, n. 3, p. 508-512, dez. 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000300041

61) 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/S0100-29452004000300042

62) ZEFERINO, I.; LIMA, E.A.; VIEIRA, E.S.N. Uso do extrato pirolenhoso como adjuvante de herbicida. **COMUNICADO TÉCNICO 429, EMBRAPA**, Colombo, PR, Dezembro, 2018. Disponível em: https://cavalcacarvao.com.br/wp-content/uploads/2022/09/CT-429-1660-final2.pdf

63) ZHENG, H. *et al*. Pyroligneous acid mitigated dissemination of antibiotic resistance genes in soil. **Environment International**, v. 145, 106158, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106158

64) ZHOU, H. *et al*. Diluted pyroligneous vinegar promoted Rhododendron growth by changing functional genes involved in N cycling in the rhizosphere. **Geoderma**, v. 438, 116628, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116628

65) 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

ZOU, X. *et al*. Dynamic changes in the bacterial communities and metabolites of Moringa oleifera leaves during fermentation with or without pyroligneous acid. **LWT - Food Science and Technology**, v. 177, 114593, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114593