

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

PEDRO ALBERTO CURCIO MACHADO



FUMAÇA LÍQUIDA: APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS
A PARTIR DA LITERATURA CIENTÍFICA

Rio de Janeiro

2023

PEDRO ALBERTO CURCIO MACHADO

FUMAÇA LÍQUIDA: APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS A PARTIR DA LITERATURA
CIENTÍFICA

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau Engenheiro Químico.

Orientadores: Profa. Raquel Massad Cavalcante, D. Sc.
 Rinaldo Farias da Luz, M. Sc.
 Prof. André Ferreira Young, D. Sc.

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

C975f Curcio Machado, Pedro Alberto
FUMAÇA LÍQUIDA: APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS A
PARTIR DA LITERATURA CIENTÍFICA / Pedro Alberto
Curcio Machado. -- Rio de Janeiro, 2023.
77 f.

Orientadora: Raquel Massad Cavalcante.
Coorientadores: Rinaldo Farias da Luz
e André Ferreira Young.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
Química, Bacharel em Engenharia Química, 2023.

1. Fumaça Líquida. 2. Ácido Pirolenhoso. 3. Licor
Pirolenhoso. I. Massad Cavalcante, Raquel, orient.
II. Farias da Luz, Rinaldo, coorient. III. Ferreira
Young, André, coorient.

PEDRO ALBERTO CURCIO MACHADO

FUMAÇA LÍQUIDA: APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS A PARTIR DA LITERATURA
CIENTÍFICA

Trabalho de Conclusão de Curso em
Engenharia Química submetida ao Corpo
Docente da Escola de Química, como parte
dos requisitos necessários à obtenção do
grau Engenheiro Químico.

Aprovado em 06 de julho de 2023

Profa. Raquel Massad Cavalcante, D.Sc., UFRJ

Rinaldo Farias da Luz, M.Sc., UFRJ

Prof. André Ferreira Young, D.Sc., UFF

Profa. Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc., UFRJ

Dayane Magalhães Coutinho, D.Sc., UFRJ

Rio de Janeiro
2023

Aos meus pais

Carlos Alberto Tavares Machado (in memoriam)
Regina Curcio

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, por todo o apoio amoroso e incondicional desde a infância.

Ao meu pai, pelo incentivo, carinho, inspiração e presença.

À minha família, por sempre comemorar as conquistas.

Ao meu namorado Arthur Candiota, pela cumplicidade.

À Nathalia Beatriz Pereira, pelas madrugadas de conversas e apoio nas mais importantes decisões de vida.

Ao Vinicius Ribeiro, pelo companheirismo e fiel amizade.

Aos melhores amigos que conheci na Escola de Química: Antônio Lima, Beatriz Galvão, Beatriz Moraes, Bruno Ferreira, Daeny Araújo, Fabrício Vasconcelos e Mariana Leal.

Aos amigos incríveis das caronas de Niterói para o Fundão: Ana Clara Campanelli, Fabianna Vieira, Lara Rocha, Luísa Vieira, Luiza Apolinário, Pedro Boechat e Vitor Boechat.

Aos professores do Colégio Academia de Juiz de Fora, em especial à Miriam Almeida, Eduardo Nogueiras e Gisele Lima Reis, pela proximidade nas monitorias de química, e aos professores Marcelo Marins, Rodrigo Estevanato e Patrícia Gomes.

Aos colegas do LAGOA/LADETEC, especialmente à Profa. Débora Azevedo e Dayane Coutinho, pela orientação e acolhimento na primeira iniciação científica.

Aos colegas do GIPQ, Gabriel Costa, João Victor Queiroz, Monique Leal, Tayná Esteves e especialmente àqueles que contribuíram diretamente para este trabalho: Felipe Moraes, Clara Marinho, João Rosa e Eduarda Farias.

Ao meu coorientador André Young, pela boa vontade, disposição e contribuições ao trabalho.

Ao meu coorientador Rinaldo Luz, pelo bom humor e aprendizados.

À minha orientadora Raquel Massad, pela orientação, parceria, incentivos, conselhos e conversas nos últimos cinco anos.

"Confio nos meus dentes, e esses mesmo me mordem a língua!"

Aluísio Azevedo - O Cortiço (1890)

RESUMO

MACHADO, Pedro Alberto Curcio. **Fumaça Líquida: Aplicações e Perspectivas a partir da Literatura Científica**. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023.

A fumaça líquida, também conhecida como ácido pirolenhoso, é um produto da pirólise de alto valor agregado e que possui diversas aplicações na agricultura e indústria de alimentos, com crescente interesse comercial. A literatura sobre a fumaça líquida ainda é incipiente, pois: (i) há evidente dispersão entre estudos que pesquisam aplicações na agricultura, que adotam a terminologia “ácido pirolenhoso” e estudos que pesquisam aplicações na indústria de alimentos, que adotam a terminologia “fumaça líquida”; (ii) há divergências nas definições destes termos; (iii) a discussão de integração de processos é quase inexistente; (iv) estudos de avaliação econômica são escassos. Assim, buscou-se preencher a lacuna de um trabalho escrito em língua portuguesa que discuta os processos de produção e aplicação da fumaça líquida sob a perspectiva da engenharia química, apresentando uma revisão abrangente e sistematização da literatura dos últimos dez anos. Neste trabalho, realizou-se a revisão, classificação e sistematização da literatura sobre a fumaça líquida do período de janeiro 2013 a janeiro de 2023 – totalizando uma amostra de 143 artigos. A amostra de artigos foi agrupada com base no tipo de revista e terminologia utilizada no título do artigo. Em seguida, cada artigo foi analisado individualmente para determinar: ano de publicação, classificação, aplicação principal, países das instituições às quais autores pertencem, revista, fator de impacto ou Qualis Capes. Do total, 116 artigos realizaram estudos de aplicação da fumaça líquida, 61 estudaram o processo químico e 46 caracterizavam quimicamente o produto. Enquanto isso, apenas 6 artigos de revisão foram elaborados e um único em avaliação econômica. Este Trabalho de Conclusão revelou tendências na diversidade de aplicações da fumaça líquida e oportunidades para o Brasil ser um grande *player* neste setor, bem como oportunidades de novos estudos no âmbito da Engenharia Química.

Palavras-chave: Fumaça Líquida. Ácido Pirolenhoso. Licor Pirolenhoso.

ABSTRACT

MACHADO, Pedro Alberto Curcio. ***Liquid Smoke: Applications and Perspectives from the Scientific Literature***. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023.

Liquid smoke, also known as pyroligneous acid, is a highly valuable product derived from pyrolysis and has diverse applications in agriculture and the food industry, with growing commercial interest. The literature on liquid smoke is still in its early stages because: (i) there is evident dispersion among studies that investigate its applications in agriculture, which adopt the terminology "pyroligneous acid," and studies that research its applications in the food industry, which adopt the term "liquid smoke"; (ii) there are discrepancies in the definitions of these terms; (iii) the discussion of process integration is almost non-existent; (iv) studies on economic evaluation are scarce. Therefore, an attempt was made to fill the gap by producing a Portuguese-language work that discusses the production and application processes of liquid smoke from the perspective of chemical process integration, presenting a comprehensive review and systematization of the literature from the last ten years. In this study, a review, classification, and systematization of the literature on liquid smoke were conducted from January 2013 to January 2023, totaling a sample of 143 articles. The sample of articles was grouped based on the type of journal and terminology used in the article titles. Subsequently, each article was individually analyzed to determine the publication year, classification, main application, countries of the institutions to which the authors belong, journal, impact factor, or CAPES Qualis. Out of the total, 116 articles conducted studies on the application of liquid smoke, 61 studied the chemical process, and 46 chemically characterized the product. Meanwhile, only 6 review articles and a single article on economic evaluation were found. This research revealed trends in the diversity of liquid smoke applications and opportunities for Brazil to become a major player in this sector, as well as opportunities for new studies in the field of Chemical Engineering.

Keywords: Liquid Smoke. Pyroligneous Acid. Wood vinegar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos da pirólise para produção de fumaça líquida	5
Figura 2 – Produção de fumaça líquida via pirólise rápida de biomassa (simulação)	8
Figura 3 – Receita global do mercado de fumaça líquida, 2015 – 2025 (US\$ MM); números omitidos no relatório gratuito	18
Figura 4 – Participação na receita do mercado de fumaça líquida por aplicação em 2018; números omitidos no relatório gratuito; proporções aproximadas	19
Figura 5 – Participação na receita do mercado de fumaça líquida por região, 2018; números omitidos no relatório gratuito	19
Figura 6 – Resultado da análise bibliométrica	22
Figura 7 – Número de artigos publicados por ano em revistas brasileiras	23
Figura 8 – Número de artigos publicados por Fator Qualis em revistas brasileiras	24
Figura 9 – Número de artigos publicados por região em revistas brasileiras	24
Figura 10 – Número de artigos publicados por ano para o grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”	26
Figura 11 – Número de artigos publicados por fator de impacto para o grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”	26
Figura 12 – Produção de biocombustível em 2021 por país	29
Figura 13 – Número de artigos publicados por ano para o grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”	31
Figura 14 – Número de artigos publicados por fator de impacto para o grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de pirólise	4
Tabela 2 – Aplicações do biocarvão, alcatrão e bio-óleo	6
Tabela 3 – Parâmetros do processo de produção de fumaça líquida (simulação)	8
Tabela 4 – Exemplos de matérias-primas utilizadas na produção de ácido pirolenhoso	10
Tabela 5 – Métodos de aplicação de fumaça líquida em alimentos	14
Tabela 6 – Universidades que publicaram mais de dois artigos em revistas brasileiras	24
Tabela 7 – Classificação de artigos publicados em revistas brasileiras	25
Tabela 8 – Aplicações abordadas nos artigos publicados em revistas brasileiras	25
Tabela 9 – Revistas com mais de duas publicações do grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”	27
Tabela 10 – Número de artigos publicados por país e respectivos IDH e RNB per capita no grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”	28
Tabela 11 – Classificação de artigos do grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”	29
Tabela 12 – Aplicações estudadas em artigos do grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”	30
Tabela 13 – Revistas com mais de duas publicações do grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”	32
Tabela 14 – Número de artigos publicados por país e respectivos IDH e RNB per capita no grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”	32
Tabela 15 – Classificação de artigos do grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”	33
Tabela 16 – Aplicações estudadas em artigos do grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”	33
Tabela 17 – Comparação dos resultados obtidos para os três grupos de artigos	36

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
II.1 – PIRÓLISE E PROCESSO DE PRODUÇÃO DA FUMAÇA LÍQUIDA	3
II.2 – MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE FUMAÇA LÍQUIDA	9
II.3 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA	12
II.4 – APLICAÇÕES EM ALIMENTOS	13
II.5 – APLICAÇÕES NA AGRICULTURA	15
II.6 – OUTRAS APLICAÇÕES	16
II.6.1 – Adsorvente	16
II.6.2 – Coagulante para produção de borracha	16
II.6.3 – Medicina	16
II.6.4 – Estudo de digestão gastrointestinal in vitro	17
II.6.5 – Redução de emissões em compostagem aeróbia	17
II.6.6 – Substrato de reforma catalítica	17
II.7 – MERCADO	18
CAPÍTULO III – METODOLOGIA	20
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
IV.1 – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	22
IV.2 – ARTIGOS PUBLICADOS EM REVISTAS BRASILEIRAS	23
IV.3 – ÁCIDO PIROLENHOSO: ARTIGOS PUBLICADOS EM REVISTAS ESTRANGEIRAS	26
IV.4 – FUMAÇA LÍQUIDA: ARTIGOS PUBLICADOS EM REVISTAS ESTRANGEIRAS	31
IV.5 – COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS	34
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	37
REFERÊNCIAS	39
APÊNDICE A – Artigos publicados em revistas brasileiras	43
APÊNDICE B – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras	46
APÊNDICE C – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras	56

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Xin et al. (2021a) definem fumaça líquida como a fração aquosa do líquido da pirólise. A fumaça líquida também é conhecida como ácido pirolenhoso, extrato pirolenhoso, licor pirolenhoso, vinagre de madeira, condensado de fumaça, dentre outros sinônimos.

A literatura específica sobre fumaça líquida ainda é incipiente em comparação com outros temas de pesquisa de reaproveitamento de biomassa na engenharia química, como produção de bio-óleo por pirólise. Até o presente momento, não há registros de livros publicados em que o principal tema de pesquisa seja a fumaça líquida. Esse assunto é tratado em capítulos de livros de várias áreas do conhecimento, como ciência de alimentos, engenharia química, química analítica, dentre outras.

Os artigos de revisão encontrados na literatura, em sua maioria, estão restritos a temas específicos, como: (i) composição química; (ii) avaliação econômica; (iii) processos; (iv) aplicações em alimentos; (v) aplicações na agricultura. Além disso, há pouca literatura em língua portuguesa. As principais referências na língua portuguesa são dissertações de mestrado, teses de doutorado e alguns artigos publicados.

É interessante notar que contradições foram encontradas na definição do termo “fumaça líquida” – o que, na opinião do autor, é um indício da incipiência deste tema. Balat (2011) trata o termo como sinônimo de bio-óleo; Xin et al. (2021a) adotam a definição de “fase aquosa do líquido da pirólise”:

Pyrolysis liquid is referred to by many names, including pyrolysis oil, bio-oil, bio-crude oil, bio-fuel oil, **pyroligneous tar or acid**, wood liquid, wood oil, **liquid smoke**, wood distillates, and liquid wood. (BALAT, 2011, grifo nosso)

The pyrolysis liquid goes through a phase separation forming an aqueous phase on the top and an oil phase at the bottom, and water can be added to enhance the phase separation. **The aqueous phase on the top is raw liquid smoke**, and the oil phase at the bottom contains phenolic polymers and polycyclic aromatic hydrocarbons, which are not suitable as food additive. (XIN et al., 2021a, grifo nosso).

Na literatura em língua inglesa convencionou-se utilizar o termo “*liquid smoke*” quando o produto é aplicado a alimentos, e “*pyroligneous acid*” em aplicações na agricultura. Por sua vez, na literatura brasileira, enquanto o termo “fumaça líquida” também é utilizado para aplicações em alimentos, na agricultura os termos mais utilizados são “extrato pirolenhoso” e “licor pirolenhoso”.

A maior lacuna encontrada em termos de discussão sobre a fumaça líquida é a visão pouco integrada do processo de produção. Na revisão da literatura realizada, apenas Xin et al. (2021a) discutem o tema visando à integração e valorização de coprodutos e subproduto (bio-óleo, biocarvão e alcatrão).

Dessa forma, será feita a revisão, sistematização e classificação da literatura sobre a fumaça líquida, buscando preencher a lacuna de um trabalho escrito em língua portuguesa que discuta de maneira sistemática os processos de produção e aplicação da fumaça líquida.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fumaça líquida é aplicada na indústria de alimentos como alternativa à defumação tradicional. Quando comparada a esta, a defumação líquida é uma opção mais rápida e ambientalmente correta, além de ter propriedades antimicrobianas e ser mais segura para consumo humano, por conta da ausência de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HUANG et al., 2023).

No âmbito da agricultura, o ácido pirolenhoso apresenta propriedades como: (i) melhora no crescimento e desenvolvimento de plantas; (ii) antioxidante e sequestrador de radicais livres; (iii) pesticida; (iv) fertilizante; (v) agente antimicrobiano; (vi) agente germinante; (vii) melhora na eficiência e qualidade de adubos; (viii) melhora na saúde do solo (GREWAL; ABBEY; GUNUPURU, 2018).

O grande aumento na produção da fumaça líquida no âmbito da engenharia de alimentos e da agricultura é baseado em fatores como: (i) o desenvolvimento de novos métodos tecnológicos para produção; (ii) o desenvolvimento de diferentes técnicas para a adição em alimentos, inclusive aqueles direcionados para dietas veganas, kosher, e livre de glúten; (iii) restrições ambientais ao uso da defumação tradicional; (iv) cumprimento de requisitos de saúde e segurança no trabalho (ROZUM, 2014).

II.1. PIRÓLISE E PROCESSO DE PRODUÇÃO DA FUMAÇA LÍQUIDA

A pirólise tem sido aplicada há milhares de anos para a produção de carvão, mas foi apenas nos últimos 30 anos que a pirólise rápida com temperaturas moderadas (cerca de 500 °C) passou a ser estudada com profundidade. Esse processo fornece rendimentos de líquido - bio-óleo - de até 75% (m/m), que pode ser usado diretamente em uma variedade de aplicações – como aditivo em alimentos e fertilizante na agricultura, ou como combustível (BRIDGWATER, 2012).

O principal elemento de um processo de pirólise é o reator. Embora provavelmente represente de 10 a 15% do custo total de capital de um sistema integrado, a maior parte da pesquisa e desenvolvimento se concentrou no desenvolvimento de diferentes configurações de reatores para uma variedade de matérias-primas, como será discutido adiante (BRIDGWATER, 2012).

A Tabela 1 mostra os diferentes tipos de pirólise, com respectivos tempos de residência, taxas de aquecimento, temperatura e produtos obtidos. Os métodos em que há produção de bio-óleo são aqueles em que também é possível obter fumaça líquida.

Tabela 1 – Tipos de pirólise

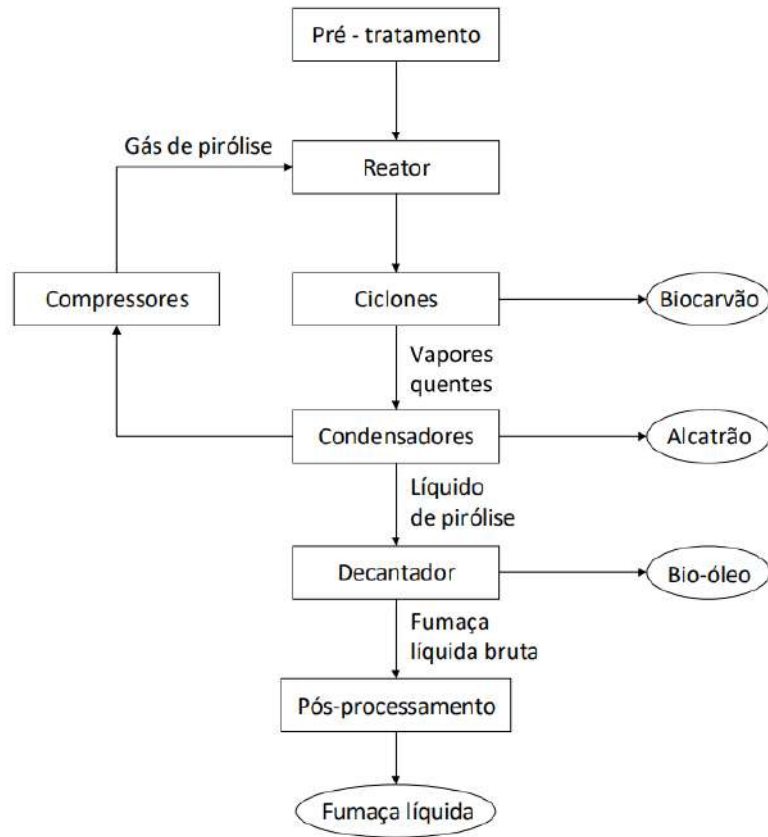
Pirólise	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	Temperatura (K)	Produtos
Lenta (carbonização)	Dias	Muito baixa	400	Carvão
Convencional	5-30 min	Baixa	600	Óleo, gás, carvão
Rápida	0,5-5 s	Muito alta	650	Bio-óleo
Rápida: líquidos	< 1 s	Alta	< 650	Bio-óleo
Rápida: gases	< 1 s	Alta	< 650	Químicos, gás
Ultrarrápida	< 0,5 s	Muito alta	1000	Químicos, gás
À vácuo	2-30 s	Média	400	Bio-óleo
Hidropirólise	< 10 s	Alta	< 500	Bio-óleo
Metanopirólise	< 10 s	Alta	> 700	Químicos

Fonte: adaptado de Grewal, Abbey e Gunupuru (2018)

Temperaturas mais baixas e tempos de residência mais longos favorecem a produção de carvão vegetal. Altas temperaturas e tempos de residência mais longos aumentam a conversão de biomassa em gás, enquanto temperaturas moderadas e tempo de residência curtos favorecem a produção de líquidos – o foco deste trabalho. As proporções entre produtos sólidos, líquidos e gasosos dependem amplamente dos parâmetros utilizados (BRIDGWATER, 2012).

No diagrama de blocos encontrado na Figura 1, é possível observar o processo de pirólise para produção de fumaça líquida, que possui como coprodutos e subproduto o bio-óleo, o biocarvão e o alcatrão, respectivamente.

Figura 1 – Diagrama de blocos da pirólise para produção de fumaça líquida



Fonte: Adaptado de Xin et al. (2021a)

Apresenta-se na Tabela 2 aplicações para os coprodutos e subprodutos do processo, embora tais aplicações sejam pouco discutidas na literatura da fumaça líquida e ácido pirolenhoso.

Tabela 2 – Aplicações do biocarvão, alcatrão e bio-óleo

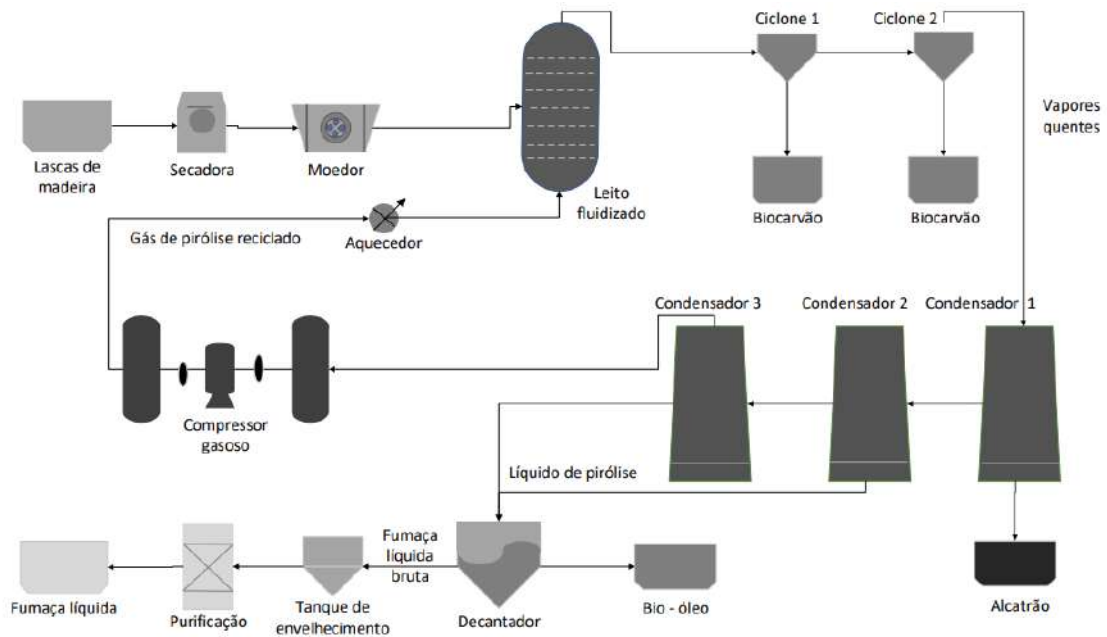
Coproducto	Aplicações	Fonte	
Biocarvão	Compósito de hidrogel-biocarvão: utilizado para purificação de gases e aprisionamento de metais pesados	Amalina et al. (2023)	
	Descontaminante de solo e de aquíferos contaminados com poluentes inorgânicos e orgânicos		
	Adsorvente, auxiliando na catálise de reações diretas		
	Fertilizante de solos		
	Sequestrante de carbono		
	Eletródo para supercapacitores		
Alcatrão	Precursor para carvão ativado	Cong et al. (2021)	
	Aglutinante para blocos de carvão, aumentando a resistência a quedas em 13,9%		
	Síntese de materiais à base de carbono ultra-microporosos para captura de gás carbônico		Tu et al. (2021)
	Precursor de carvão ativado, que pode ser utilizado na produção de supercapacitores		Wei et al. (2019)
	Modificador para melhoria da qualidade mecânica de asfalto		Xue et al. (2017)
Bio-óleo	Aditivo em revestimentos à base de epóxi, para proteção de estruturas de aço contra corrosão	Jagtap et al. (2014)	
	Combustível para caldeiras e motores industriais	Hu e Gholizadeh (2020)	
	Produção de biocombustível via hidroxigenação		
	Produção de hidrogênio		
	Produção de diversos produtos químicos		
	Produção de materiais carbonáceos		
Produção de espumas de poliuretano			
	Produção de plásticos		

Fonte: Elaboração própria (2023)

Xin et al. (2021a) avaliaram a performance econômica através da simulação de uma planta fixa ou móvel de pequena escala de produção de fumaça líquida via pirólise rápida. Ambas as plantas mostraram boa performance econômica em comparação com a produção de biocombustível, e são amplamente dependentes economicamente do preço e da escala de venda da fumaça líquida. O fluxograma de processo adaptado de Xin et al. (2021a; 2021b) é descrito a seguir e está ilustrado na Figura 2, com parâmetros operacionais na Tabela 3.

1. As lascas de madeira são secas e moídas para aumentar o rendimento do processo;
2. A pirólise é realizada em um reator de leito fluidizado a temperaturas de 450 a 500 °C;
3. O biocarvão é separado em ciclones de alta temperatura;
4. Os vapores quentes são condensados por uma coluna do tipo *spray* ou outros tipos de condensadores;
5. O líquido de pirólise passa por uma separação de fases formando uma fase aquosa (superior) e uma fase oleosa (inferior), podendo adicionar-se água para melhorar a separação de fases. A fase aquosa na parte superior é fumaça líquida bruta. A fase oleosa na parte inferior contém polímeros fenólicos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, que não são adequados como aditivo alimentar;
6. A fumaça líquida produzida requer um estágio de envelhecimento, armazenando o produto por um período para melhorar a qualidade sensorial. Reações de polimerização e condensação ocorrem durante o envelhecimento. Por exemplo, álcool metílico reage com os ácidos fórmico e acético para formar ésteres de sabor menos agressivo;
7. Para obtenção do produto final, a fumaça líquida envelhecida é purificada para remover os componentes indesejáveis, como material particulado e alcatrão.

Figura 2 – Produção de fumaça líquida via pirólise rápida de biomassa (simulação)



Fonte: Adaptado de Xin et al. (2021a, 2021b)

Tabela 3 – Parâmetros do processo de produção de fumaça líquida (simulação)

Estágio de processamento	Parâmetros	Valores	Equipamento
Moagem da biomassa	Redução do tamanho médio da partícula	De 10 mm para 2 mm	Moinho de martelos
Secagem da biomassa	Redução do teor de umidade	De 21% para 12% (m/m)	Hot air rotary drum
Pirólise rápida	Temperatura do reator	450 °C	Leito fluidizado
Separação do biocarvão	Eficiência	95%	Dois ciclones em série
Condensação – 1º estágio	Temperatura da Coluna RadFrac	120 °C	Coluna spray de contato direto
Condensação – 2º estágio	Temperatura da Coluna RadFrac	25 °C	Coluna spray de contato direto
Reciclagem do gás da pirólise	n/a	n/a	Compressor de gás e aquecedor indireto
Envelhecimento e purificação	Tempo de envelhecimento	3 meses	Tanque de armazenamento para alimentos

Fonte: Adaptado de Xin et al. (2021a)

II.2. MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE FUMAÇA LÍQUIDA

Praticamente qualquer forma de biomassa pode ser considerada para pirólise rápida, produzindo fumaça líquida. Mais de 100 tipos diferentes de biomassa já foram discutidos na literatura, desde resíduos agrícolas, como palha, caroço de azeitona e casca de nozes, até resíduos sólidos, como lodo de esgoto (BRIDGWATER, 2012).

A qualidade da fumaça líquida depende das matérias-primas utilizadas, sejam elas originárias de florestas, agricultura, ou agroindústria (WINARNI; GUSMAILINA; KOMARAYATI, 2021). Na Tabela 4 encontram-se exemplos de matérias-primas que foram concretamente utilizadas para a produção de ácido pirolenhoso e as propriedades respectivamente concedidas ao produto final.

Tabela 4 – Exemplos de matérias-primas utilizadas na produção de ácido pirolenhoso

Categoria	Espécies	Propriedades encontradas
Plantas lenhosas	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), Bétula (<i>Betula</i> sp.), Carvalho (<i>Quercus acutissima</i>), Faia (<i>Fagus</i> sp.), “Hairy-leafed molave” (<i>Vitex pubescens</i>), Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>), Cedro Japonês (<i>Cryptomeria japonica</i>), Nogueira (<i>Juglans</i> sp.), Cerejeira (<i>Prunus jamaskura</i>), Castanheiro-do-Japão (<i>Castanea crenata</i>), Mangue (<i>Rhizophora</i> sp.)	Fertilizante, agente antimicrobiano, biopesticida
Bambu	<i>Phyllostachys</i> spp.	Melhora nos agentes antifúngicos e coaguladores de borracha em relação aos ácidos acético e fórmico, tradicionalmente usados na indústria da borracha; Melhora no crescimento, desenvolvimento e rendimento de alface, pepino e plantas crucíferas. Efeito estimulador na germinação de sementes e crescimento de radículas de alface, agrião e crisântemo

Categoria	Espécies	Propriedades encontradas
Resíduos de agricultura	Casca de arroz; talos de algodoeiro (<i>Gossypium hirsutum</i>), casca de noqueira (<i>Carya</i> sp.), palha de arroz, casca de amêndoa (<i>Prunus dulcis</i>), avelã (<i>Corylus avellana</i>), palha de trigo (<i>Triticum aestivum</i>), cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>), resíduos de abacaxi (<i>Ananas comosus</i>), bagaço de cana-de-açúcar, casca de noz e resíduos de chá	Fertilizante, agente antimicrobiano, biopesticida
Biomassa de plantas herbáceas	Alecrim (<i>Rosmarinus officinalis</i>); Manjerição sagrado + Casca de Coco + fibra de coco (1:1:1)	Alecrim: ácido pirolenhoso proporcionou maior capacidade antioxidante; Mistura 1:1:1 mostrou atividade inseticida contra cochonilhas
Algas	Algas marinhas, algas multicelulares verdes, marrons e vermelhas	Bio-óleo de microalgas apresentou maior conteúdo de hidrogênio e carbono, maior capacidade calorífica e menores teores de oxigênio e umidade quando comparado ao óleo extraído de madeiras

Fonte: Adaptado de Grewal, Abbey e Gunupuru (2018)

II.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Os compostos de pirólise que são condensados na forma de fumaça líquida incluem compostos fenólicos, carbonílicos e ácidos orgânicos. A compreensão da composição da biomassa vegetal é essencial para o estudo da composição química da fumaça líquida. Cada tipo de madeira contém diferentes frações de celulose, hemicelulose e lignina, dentre outros compostos, que no processo de pirólise produzirão fumaça líquida com especificações variadas. A pirólise ocorre em quatro estágios, começando com a evaporação da água, seguida pela decomposição da hemicelulose, celulose e lignina. A pirólise da celulose e da hemicelulose ocorre entre 180 °C e 350 °C e produz ácidos carboxílicos e compostos carbonílicos, enquanto a da lignina se dá entre 300 °C e 500 °C e produz fenóis (RIZAL et al., 2020).

Além de carbonila, ácidos e fenóis, a pirólise da madeira geralmente produz hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) (RIZAL et al., 2020). Os PAHs são considerados poluentes ambientais, já que contaminam alimentos e são agentes carcinogênicos. A contaminação ocorre em alimentos produzidos tanto em ambientes caseiros quanto na indústria alimentícia. Esses compostos vêm sendo estudados há décadas, com destaque para o benzo[a]pireno (B[a]P), que teve sua toxicidade descoberta em 1775 (VARLET; SERPT; PROST, 2009).

Mais de 400 substâncias químicas já foram identificadas na fumaça líquida. Dessas substâncias, os fenóis e derivados são os principais contribuidores para o aroma característico “de fumaça”, com destaque para os seguintes componentes: 2-metoxifenol, 4-metil-2-metoxifenol, 2,6-dimetoxifenol, 4-(2-propenil)-2-metoxifenol, 4-metil-2,6-dimetoxifenol, fenol, 2,6-dimetilfenol, 4-etil-2-metoxifenol e 2-metilfenol (SOKAMTE TEGANG et al., 2020). Grewal et al. (2018) citam como classes químicas presentes também: compostos nitrogenados, éteres alquílicos acrílicos, derivados de carboidratos, além de derivados de guaiacol, pirocatecol e siringol. Ésteres, cetonas, aldeídos, piranos, furanos, álcoois, e seus derivados são responsáveis pelo desenvolvimento de características organolépticas da fumaça líquida. Os grupos carbonila de cetonas e aldeídos interagem com os grupos amina dos aminoácidos de alimentos, contribuindo para a coloração marrom-dourada de produtos alimentícios defumados (SOKAMTE TEGANG et al., 2020).

Estudos de caracterização química da fumaça líquida envolvem, dentre outros: (i) análise de colorimetria; (ii) determinação do pH e acidez; (iii) extração, separação, identificação e quantificação de componentes voláteis e semi-voláteis; (iv) quantificação de compostos fenólicos totais (MONTAZERI et al., 2013).

II.4. APLICAÇÕES EM ALIMENTOS

Estudos já investigaram a utilização e os efeitos da fumaça líquida em carne de boi, porco, frango, peixes, frutos do mar, salmão, embutidos, hambúrgueres, queijos, molhos e condimentos, produtos de panificação, bebidas, proteína vegetal, dentre outros (XIN et al., 2021a). Como vantagens perante a defumação tradicional, Emmerson (2011) menciona:

- Possibilidade de remoção de resíduos como alcatrão, resinas e PAHs, associados à toxicidade química e ao risco alimentar;
- Melhora de propriedades organolépticas, adicionando-se propriedades preservativas;
- Melhora nas condições de trabalhadores da indústria de alimentos, já que evita o contato direto com a fumaça;
- Pode ser armazenada e transportada;
- Facilita o tratamento de gases danosos ao meio ambiente, já que não há necessidade de câmaras de pós-combustão e depuradores no mesmo local em que é aplicada nos alimentos.

A Tabela 5 mostra a diversidade de métodos de adição da fumaça líquida aos alimentos, como atomização, imersão, adição interna, imersão, redes defumadas e *spray*.

Tabela 5 – Métodos de aplicação de fumaça líquida em alimentos

Método de aplicação	Descrição
Atomização	Utiliza ar pressurizado para vaporizar a fumaça líquida. Método mais barato, rápido, seguro e eficiente em relação à defumação tradicional.
Adição interna	Método mais eficiente para uniformizar o sabor pelo interior do alimento, apesar de não proporcionar coloração à superfície do alimento. Ação antioxidante no interior do alimento é maior.
Imersão	Eficiente para adição na superfície do alimento. Vantagens em relação à atomização: (i) diminuição no tempo de cozimento do alimento para o consumidor final; (ii) método industrialmente mais limpo; (iii) superfície do alimento fica mais uniforme.
Redes defumadoras	A fumaça líquida é aplicada nas redes que envolvem embutidos e carnes. A vantagem desse método é que não há necessidade de equipamentos específicos para aplicar a fumaça líquida nos alimentos, além da própria rede utilizada.
Sistemas de <i>spray</i>	Fumaça líquida é adicionada via <i>spray</i> na superfície do alimento, antes ou depois do cozimento.

Fonte: Adaptado de Emmerson (2011).

A fumaça líquida também é amplamente utilizada na indústria de alimentos pelas propriedades antimicrobianas, sendo responsável por combater microrganismos patogênicos como: *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella muenster*, *Salmonella seftenburg*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Lactobacillus plantarum*, *Listeria innocua*, *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia enterocolitica*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Aspergillus niger* (SOUZA et al., 2018).

II.5. APLICAÇÕES NA AGRICULTURA

As propriedades antimicrobianas também contribuem para a aplicação da fumaça líquida na agricultura. Um estudo abordou bioensaios de inibição para bactérias e fungos, grandes agentes patogênicos em plantações, e indicam que uma concentração superior a 1% de ácido pirolenhoso já é capaz de inibir diversas espécies de microrganismos (MMOJIEJE, 2016).

Além disso, a fumaça líquida pode ser usada como biopesticida, em substituição a produtos nocivos à saúde humana, combatendo pestes como besouros (SANTOSO, 2016), ácaros, pulgões (MMOJIEJE, 2016), outros insetos, ratos, pássaros e ervas daninhas (TIILIKKALA; FAGERNÄS; TIILIKKALA, 2010).

Estudos apontaram também aumento na produtividade da colheita após aplicação de ácido pirolenhoso diluído a 10% v/v, como em colheitas de melão, calêndula, sálvia escarlata, zínia, batata-doce e tomates. Entretanto, em concentrações mais elevadas pode haver efeito inibitório no crescimento das plantas (MMOJIEJE, 2016). O efeito fertilizante também foi percebido em experimentos de campo realizados na China, em que a aplicação do vinagre de madeira melhorou o rendimento e a qualidade do aipo, e beneficiou o crescimento de plantas ornamentais e outros vegetais (TIILIKKALA; FAGERNÄS; TIILIKKALA, 2010).

Uma circular técnica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) elaborada por Campos (2007) mostra a adaptação de um forno para a produção do ácido pirolenhoso, composta por duas chaminés e um recipiente para coleta. Este forno pode ser construído com terra argilosa, pedras, tijolo, concreto e outros materiais. Segundo o autor, nesse sistema o líquido coletado deve ser mantido em repouso durante 3 a 6 meses para a separação de impurezas. Apesar de ser um aparato simples, ainda falta conhecimento dentre os produtores de pequena escala e da agricultura familiar sobre o potencial do ácido pirolenhoso (MATHEW; ZAKARIA, 2015).

Na Indonésia, entretanto, um estudo de caso mostrou sucesso nas atividades de desenvolvimento e difusão da tecnologia de produção da fumaça líquida realizadas em órgãos governamentais e privados, organizações comunitárias e grupos de agricultores. Com a aplicação na agricultura e adição em ração animal, foi

percebido aumento de renda de agricultores locais que passaram a produzir a fumaça líquida (WINARNI; GUSMAILINA; KOMARAYATI, 2021).

II.6. OUTRAS APLICAÇÕES

II.6.1. Adsorvente

O ácido pirolenhoso foi utilizado por Li et al. (2019) como um modificador de zeólita natural para remediação de águas residuais e solo contaminado. Os resultados mostram que a modificação de zeólita com ácido pirolenhoso pode aumentar a capacidade de adsorção de metais pesados, como chumbo, cádmio e arsênio, além de ter atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* (LI et al., 2019). A concentração ótima do ácido pirolenhoso para adsorção das espécies químicas de chumbo 2+, cádmio 2+, e arsênio 3+ também já foi estudada, com potencial aplicações na agricultura e tratamento de rejeitos (SUN et al., 2020).

II.6.2. Coagulante para produção de borracha

Em comparação com coagulantes tradicionais como o alúmen, a utilização de fumaça líquida como coagulante natural permite um processo de congelamento mais rápido, com melhores propriedades mecânicas no produto final e maior preço de venda da borracha (EVAHELDA et al., 2021).

II.6.3. Medicina

Tarawan et al. (2017) estudaram a capacidade de fumaça líquida de casca de coco cicatrizar queimaduras em ratos. As queimaduras de 12 roedores foram tratadas de 3 formas: com solução salina 0,9% (controle), com fumaça líquida, e com iodopovidona 10%. Com base na contabilização de fibroblastos e avaliando a contração da ferida no período de 1, 5, 10 e 25 dias, o grupo tratado com fumaça líquida apresentou os melhores resultados (TARAWAN et al., 2017). Além disso, pesquisadores avaliaram o potencial de aplicação da fumaça líquida no tratamento de úlceras em ratos: a adição tópica de fumaça líquida de casca de arroz acelerou a

cicatrização da úlcera, evidenciada pelo aumento da concentração de macrófagos e linfócitos (ARUNDINA et al., 2021).

II.6.4. Estudo de digestão gastrointestinal in vitro

Utilizou-se um modelo *in-vitro* para simular o processo digestivo humano de peixes contendo fumaça líquida, para estudar o comportamento de reações químicas da digestão. O estudo mostrou que a defumação líquida não influencia na extensão da lipólise, mas previne as reações de oxidação de lipídios que ocorrem para as amostras que não foram defumadas no modelo *in vitro*. Além disso, as amostras defumadas mostraram menor abundância de marcadores de oxidação volátil derivadas de lipídios ômega-3 e ômega-6 em relação às amostras de controle (NIEVA-ECHEVARRÍA; GOICOECHEA; GUILLÉN, 2017).

II.6.5. Redução de emissões em compostagem aeróbia

Guo et al. (2019, 2020, 2021) mostraram que a associação, em sistemas de compostagem aeróbia, de carvão e fumaça líquida produzidos a partir de bambu aumenta a degradação de matéria orgânica e diminui emissões dos gases metano (CH₄), amônia (NH₃) e óxido nitroso (N₂O).

II.6.6. Substrato de reforma catalítica

Xu et al. (2017a, 2017b) estudaram a obtenção de hidrogênio via reforma catalítica a partir da fumaça líquida, utilizando o catalisador bimetálico modificado M-N-Al-SBA-15 (M-N = Ni-Fe, Ni-Sn e Ni-Co) e mistura de catalisadores entre zeólitas microporosas e mesoporosas, γ -Al₂O₃, estanho e níquel.

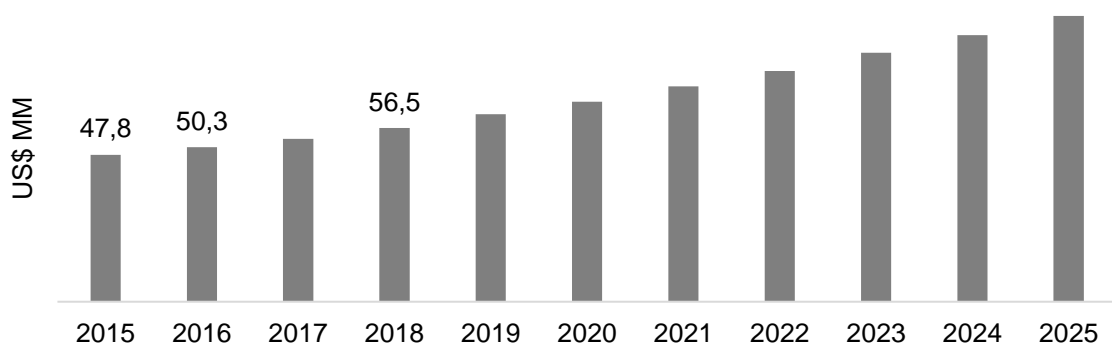
No estudo utilizando o catalisador bimetálico (2017b), o rendimento de gás hidrogênio foi de 30,1 mg para cada 1 g de de ácido pirolenhoso; além disso, o catalisador bimetálico mostrou maior atividade catalítica e resistência à deposição de carbono em relação ao catalisador monometálico. Já para o estudo utilizando a mistura de catalisadores (2017a), o rendimento de gás hidrogênio foi de 22,47 mg para cada 1 g da amostra.

II.7. MERCADO

A fumaça líquida é comercializada desde o final do século XIX. Dados de 2009 apontam que, nos Estados Unidos, 75% dos alimentos defumados eram tratados com fumaça líquida. Na Europa, esse valor está entre 20% e 30% (VARLET; SEROT; PROST, 2009).

Fez-se uma rigorosa busca dentro da amostra de artigos obtidos na revisão da literatura em busca de mais informações mercadológicas sobre o assunto. Entretanto, a única fonte que desenvolve esta temática foi a amostra parcial e gratuita do relatório da consultoria de negócios Grand View Research, em que diversos números são omitidos, apesar de se apresentar um bom panorama. O tamanho do mercado global de fumaça líquida em termos de receita foi avaliado em US\$ 56,5 milhões em 2018, como se observa na Figura 4. A conscientização dos consumidores sobre os benefícios da fumaça líquida pode ser um fator que continue impulsionando este mercado. Além disso, o aumento do poder de compra em países emergentes como China, Índia e Brasil, pode também levar ao aumento no consumo deste produto. Os produtores líderes da indústria global são Red Arrow International e Baumer Foods (GRAND VIEW RESEARCH, 2020).

Figura 3 – Receita global do mercado de fumaça líquida, 2015 – 2025 (US\$ MM); números omitidos no relatório gratuito

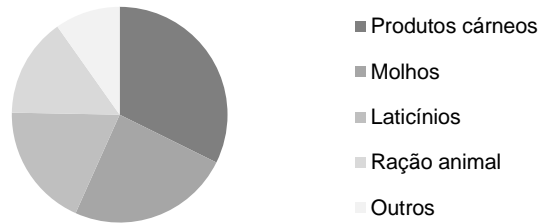


Fonte: Adaptado de Grand View Research (2020)

Dentre as aplicações da fumaça líquida na indústria de alimentos, os produtos de carne dominaram o mercado com mais de 30% de participação em 2018 (Figura 5). A indústria de processamento de carne em expansão, novos processos em

evolução e o crescente número de aplicações para a fumaça líquida estão impulsionando o segmento (GRAND VIEW RESEARCH, 2020).

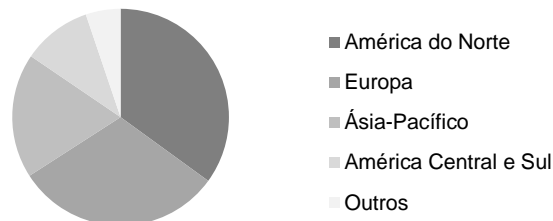
Figura 4 – Participação na receita do mercado de fumaça líquida por aplicação em 2018; números omitidos no relatório gratuito; proporções aproximadas



Fonte: Adaptado de Grand View Research (2020)

A partir de 2018, a América do Norte dominou o mercado e representou 35% da receita total, como observado na Figura 6. A demanda por produtos de carne com sabor defumado, molhos, laticínios e alimentos para animais de estimação cresceu significativamente, o que, por sua vez, impulsionou a indústria local. Red Arrow International e Colgin são alguns dos principais produtores de fumaça líquida nesta região. Além disso, a América do Norte possui mais de trinta e cinco fábricas de carne processada que usam fumaça líquida em grandes quantidades, o que a torna a maior produtora e consumidora do mundo (GRAND VIEW RESEARCH, 2020).

Figura 5 – Participação na receita do mercado de fumaça líquida por região, 2018; números omitidos no relatório gratuito



Fonte: Adaptado de Grand View Research (2020)

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

Inicialmente, foi feita uma análise bibliométrica utilizando o software VOS Viewer, no dia 20 de Janeiro de 2023. Utilizando a base Scopus, buscou-se por artigos que possuem os termos “liquid smoke” ou “pyroligneous acid” no título, ou no resumo, ou como palavras-chave. Para filtrar este grupo, foi definido que o número mínimo de co-ocorrências de determinada palavra-chave fosse de cinco vezes.

Utilizando as plataformas Science Direct e Portal de Periódicos da Capes, buscaram-se todos os artigos que atendiam aos seguintes critérios: (i) publicados entre 2013 e janeiro de 2023; (ii) apresentam no título as palavras-chave: “*liquid smoke*” ou “*pyroligneous acid*” ou “*wood vinegar*” ou “*pyroligneous extract*” ou “fumaça líquida” ou “ácido pirolenhoso” ou “vinagre de madeira” ou “extrato pirolenhoso” ou “licor pirolenhoso”. Para os artigos encontrados, todas as suas referências foram investigadas buscando os mesmos critérios supracitados.

Os artigos foram divididos em três grupos: (i) artigos que contenham no título os termos “*pyroligneous acid*” ou “*wood vinegar*” ou “*pyroligneous extract*”; (ii) artigos que contenham no título o termo “*liquid smoke*”; (iii) artigos que contenham no título os termos “fumaça líquida” ou “ácido pirolenhoso” ou “vinagre de madeira” ou “extrato pirolenhoso” ou “licor pirolenhoso”. Em seguida, os artigos foram organizados em planilhas (Apêndices A, B e C) com as seguintes colunas:

- *Digital Object Identifier* (DOI);
- Título;
- Ano de publicação;
- Classificação, segundo as nomenclaturas: (i) “Processo”: artigos em que os autores produzem fumaça líquida; (ii) “Caracterização”: artigos em que os autores caracterizam a fumaça líquida a partir de técnicas analíticas; (iii) “Aplicação”: artigos em que pesquisadores utilizam a fumaça líquida para aplicações em alimentos, agricultura, ou de outras formas; (iv) “Revisão”: para artigos de revisão bibliográfica; (v) “Avaliação econômica”: para artigos em que são feitos estudos de viabilidade econômica. O mesmo artigo pode possuir mais de uma classificação;
- Aplicação principal;

- Países – refere-se aos países das instituições às quais os autores pertencem; pode conter mais de um país;
- Revista;
- Fator de Impacto para revistas internacionais e Qualis Capes para revistas nacionais.

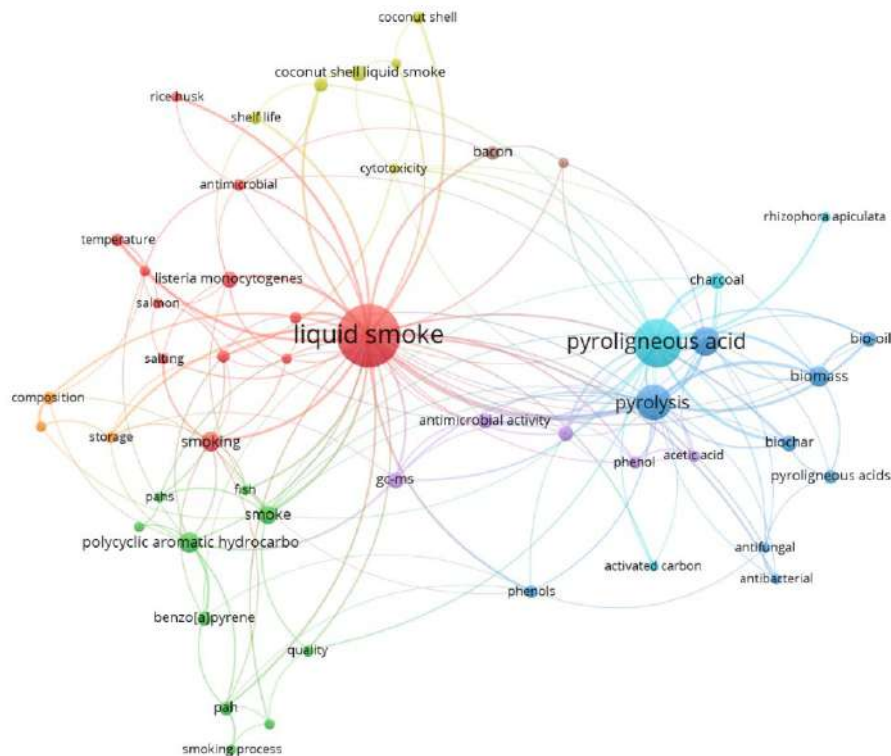
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV.1. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Na análise bibliométrica realizada, 723 artigos foram encontrados que continham os termos “liquid smoke” ou “pyroligneous acid” no título, ou no resumo, ou como palavras-chave. Para este conjunto de artigos, havia 1689 palavras-chave definidas pelos autores, sendo que 51 delas repetiam-se ao menos cinco vezes, que compõem o gráfico de bolhas interligadas da Figura 7. Cada bolha representa uma palavra-chave. Quanto maior a bolha, maior a frequência de aparecimento da palavra-chave na amostra de 723 artigos. As linhas representam a frequência com que duas palavras ocorrem juntas na amostra total, enquanto a proximidade de bolhas significa que existe um agrupamento contextual entre as palavras-chave.

Nota-se que o termo “*liquid smoke*” está mais próximo de termos ligados à área de alimentos, como “*storage*”, “*salmon*”, “*fish*”, “*salting*”, “*smoking*”, “*shelf life*” e “*bacon*”. Por outro lado, “*pyroligneous acid*” está mais próximo de termos ligados à agricultura, como “*antifungal*”, “*rhizophora apiculata*”, “*charcoal*” e “*biomass*”.

Figura 6 – Resultado da análise bibliométrica

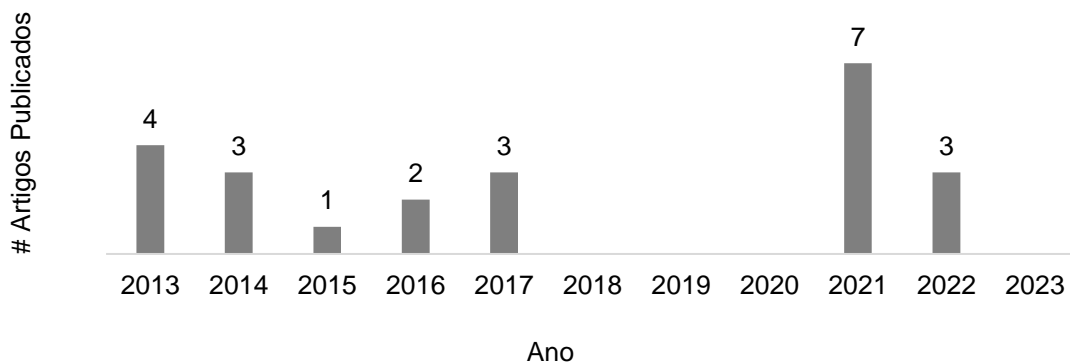


Fonte: Autoria própria via *software* VOS Viewer

IV.2. ARTIGOS PUBLICADOS EM REVISTAS BRASILEIRAS

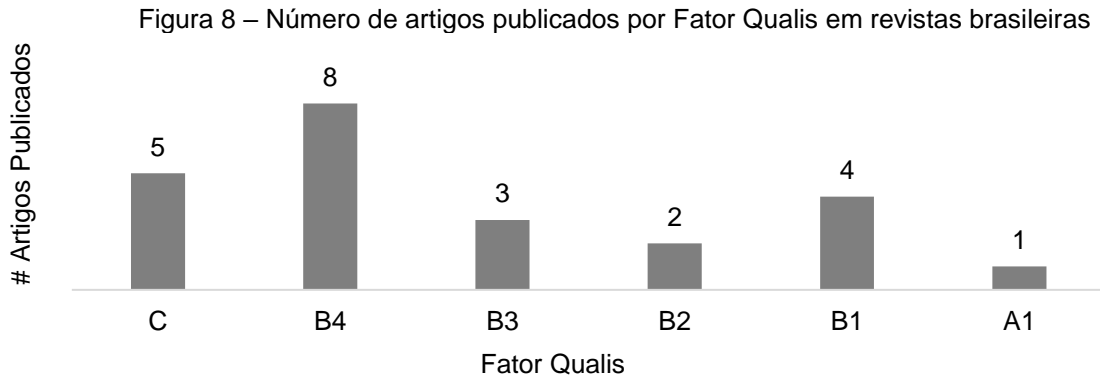
Foram encontrados em revistas brasileiras 23 artigos publicados entre 2013 e 2023 que continham no título os termos “fumaça líquida” ou “ácido pirolenhoso” ou “vinagre de madeira” ou “extrato pirolenhoso” ou “licor pirolenhoso” – grupo que será denominado “artigos publicados em revistas brasileiras” e que consta no Apêndice A. Observa-se que o número de publicações em revistas brasileiras não é proeminente: entre 2013 e 2017, foram publicados menos de 4 artigos por ano; de 2018 a 2020, não houve nenhuma publicação. O ano de 2021 concentra o maior número de publicações, mas a tendência não se manteve no ano de 2022, com a publicação de apenas 3 artigos, como se observa na Figura 8.

Figura 7 – Número de artigos publicados por ano em revistas brasileiras



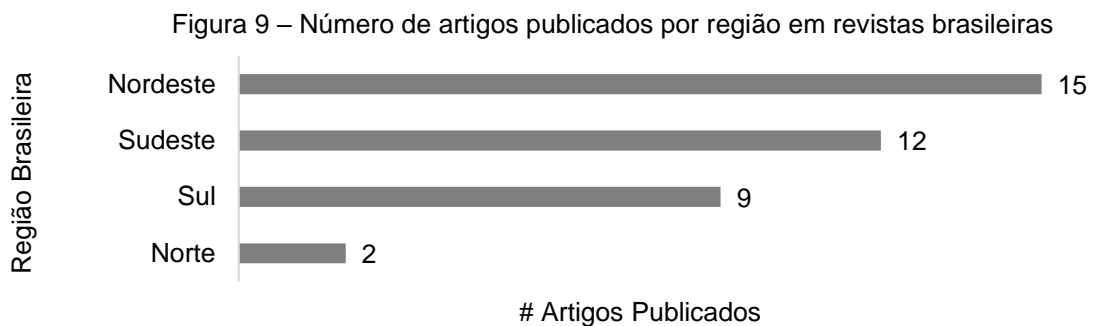
Fonte: Autoria própria

Além do número modesto de publicações por ano, é preciso notar que 16 dos 23 artigos foram publicados em revistas com fator de impacto zero (C, B4, B3), segundo o Qualis Capes. Foram publicados apenas sete artigos em revistas com fator de impacto, dos quais apenas um artigo se encontra na categoria mais elevada de qualidade (A1) - como exposto na Figura 9.



Fonte: Autoria própria

Foram avaliadas também as regiões do Brasil em que se encontram as instituições associadas aos autores de cada trabalho (Figura 10). As publicações foram lideradas por instituições nordestinas, com participação em 15 trabalhos, seguidas de instituições do Sudeste (12 trabalhos), Sul (9) e Norte (2).



Fonte: Autoria própria

Na Tabela 6 encontram-se as Universidades que participaram de dois artigos ou mais. O destaque foi para a Universidade do Estado de Mato Grosso, com participação em cinco artigos, seguida das nordestinas Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal do Piauí. A única instituição privada que aparece no *ranking* é a sulista Universidade Feevale.

Tabela 6 – Universidades que publicaram mais de dois artigos em revistas brasileiras

Instituições com mais de duas publicações	Nº de artigos
Universidade do Estado de Mato Grosso	5
Universidade Federal do Ceará	3
Universidade Federal do Piauí	3
Universidade Feevale	3
Universidade Estadual de Maringá	2

Instituições com mais de duas publicações	N° de artigos
Universidade Federal de Campina Grande	2
Universidade Federal de Lavras	2
Universidade Federal de Pernambuco	2
Universidade Federal de Viçosa	2
Universidade de São Paulo	2

Fonte: Autoria própria

É interessante observar que a grande maioria dos artigos publicados em revistas brasileiras têm enfoque em aplicações da fumaça líquida e do ácido pirolenhoso, conforme se observa na Tabela 7. Apenas três artigos abordam processos químicos para a sua produção e somente dois realizam a caracterização do produto. Não foram encontrados artigos de revisão ou de avaliação econômica.

Tabela 7 – Classificação de artigos publicados em revistas brasileiras

Classificação	N° de artigos
Aplicação	21
Processo	3
Caracterização	2

Fonte: Autoria própria

Dentre as aplicações expostas na Tabela 8, o destaque é para aplicações na agricultura, como pesticidas, agente antibacteriano, floricultura e indústria madeireira. Aplicações na indústria alimentícia foram estudadas em apenas dois artigos.

Tabela 8 – Aplicações abordadas nos artigos publicados em revistas brasileiras

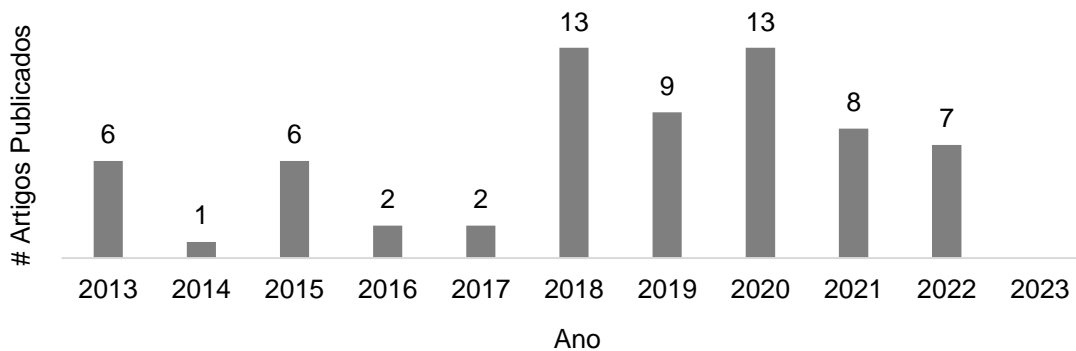
Aplicações	N° de artigos
Agricultura	18
<i>Pesticida</i>	2
<i>Agente antibacteriano</i>	1
<i>Floricultura</i>	1
Indústria madeireira	1
Indústria alimentícia	2

Fonte: Autoria própria

IV.3. ÁCIDO PIROLENHOSO: ARTIGOS PUBLICADOS EM REVISTAS ESTRANGEIRAS

No período de 2013 a 2023, foram publicados ao todo 67 artigos que continham no título os termos “*pyroligneous acid*” ou “*wood vinegar*” ou “*pyroligneous extract*” – grupo denominado “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras” e que consta no Apêndice B. Houve aumento expressivo no número de publicações a partir de 2018, como se observa na Figura 11, impulsionado principalmente por artigos publicados por instituições chinesas.

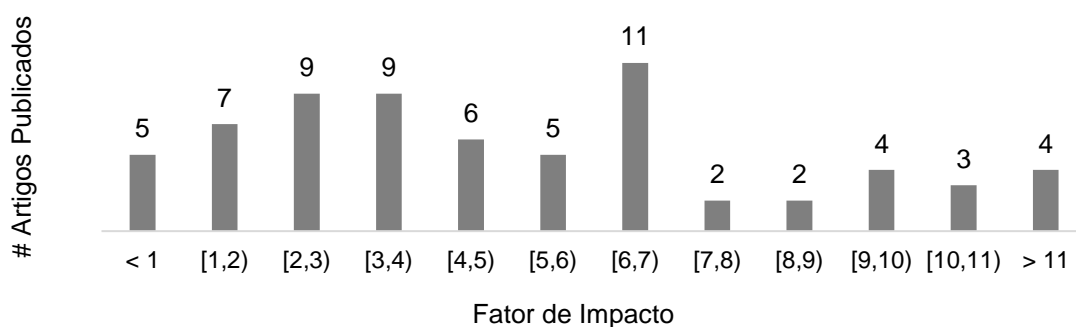
Figura 10 – Número de artigos publicados por ano para o grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”



Fonte: Autoria própria

Quanto ao fator de impacto, observa-se que as publicações são de alta relevância quando comparadas às dos dois outros grupos de análise (Figura 12). A média ponderada do fator de impacto dos artigos publicados foi de 6,5.

Figura 11 – Número de artigos publicados por fator de impacto para o grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”



Fonte: Autoria própria

Observa-se na Tabela 9 a liderança em número de publicações de revistas ligadas à temática de meio ambiente: a principal delas é a *Ecotoxicology and Environmental Safety*, com cinco artigos e Fator de Impacto 6,7, seguida das revistas *Bioresource Technology*, *Environmental Pollution*, e *Science of the Total Environment*, todas com três artigos publicados cada e fator de impacto maior que 10.

Tabela 9 – Revistas com mais de duas publicações do grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”

Revistas com mais de duas publicações	Nº de Artigos	Fator de Impacto
Ecotoxicology and Environmental Safety	5	6,7
Bioresource Technology	3	11,9
Environmental Pollution	3	10,0
Science of the Total Environment	3	10,8
Agronomy	2	3,9
Industrial Crops & Products	2	6,4
Journal of Analytical and Applied Pyrolysis	2	1,2
Journal of Applied Microbiology	2	4,1
Journal of Crop Improvement	2	1,4
Journal of Earth and Environmental Sciences	2	2,3

Fonte: Autoria própria

Quanto aos países das instituições que mais participaram de publicações, vê-se dois grupos na Tabela 10: (i) países emergentes – caracterizados por Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) na faixa de 0,700 a 0,800 e renda nacional bruta (RNB) per capita entre 10 a 18 mil dólares –, liderados pela China, com a participação em 35 artigos, seguida do Brasil (7), Indonésia (4), Irã (3) e Tailândia (3); e (ii) países desenvolvidos – caracterizados por IDH acima de 0,800 e renda nacional bruta per capita acima de 45 mil dólares –, liderados pelos Estados Unidos, com 5 participações em artigos, seguidos da Alemanha (3), Canadá (3) e Reino Unido (3).

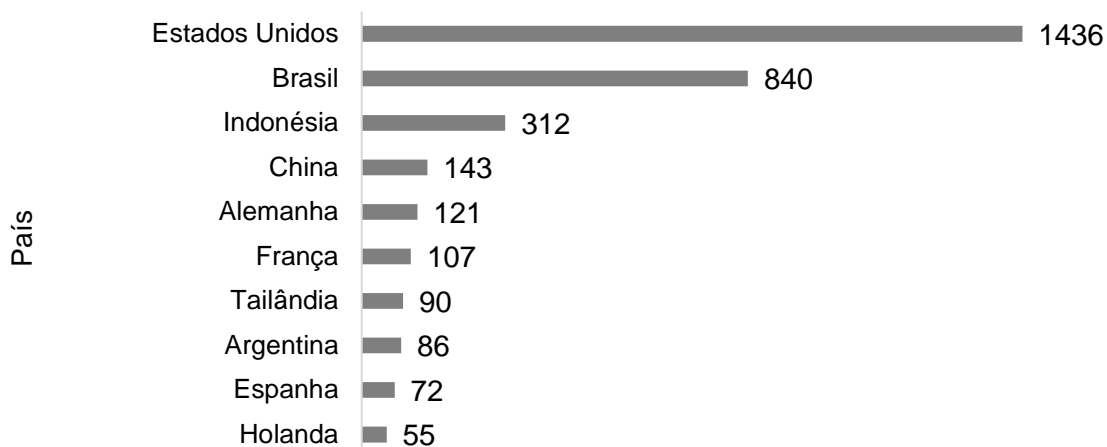
Tabela 10 – Número de artigos publicados por país e respectivos IDH e RNB per capita no grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”

Países	Nº de Artigos	IDH	RNB per capita (US\$)
China	35	0,768	17.504
Brasil	7	0,754	14.370
Estados Unidos	5	0,921	64.765
Indonésia	4	0,705	11.466
Alemanha	3	0,942	54.534
Canadá	3	0,936	46.808
Irã	3	0,774	13.001
Reino Unido	3	0,929	45.225
Tailândia	3	0,800	17.030
Coreia do sul	2	0,925	44.501
Itália	2	0,895	42.840
Japão	2	0,925	42.274
Austrália	1	0,951	49.238
Eslováquia	1	0,848	30.690
Irlanda	1	0,945	76.169
Malásia	1	0,803	26.658
Polônia	1	0,876	33.034
Singapura	1	0,939	90.919
Suécia	1	0,947	54.534
Taiwan	1	N/A	N/A

Fonte: Autoria própria, com base em dados do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (2022) e do World Bank Group (2022)

Vale apontar que os cinco países que mais produziram biocombustível em 2021 (Figura 13) são aqueles que lideram o número de publicações: EUA, Brasil, Indonésia, China e Alemanha. Essa correlação, provavelmente, se deve ao fato de que o ácido pirolenhoso é um co-produto dos biocombustíveis produzidos via pirólise.

Figura 12 – Produção de biocombustível em 2021 por país



Produção de biocombustível em 2021 (10¹⁵ Joule)

Fonte: Statista (2023)

Quanto à classificação dos artigos, na Tabela 11, foram encontrados cinco artigos de revisão e um único artigo de análise econômica. Quanto aos artigos de aplicação, processo e caracterização, foram encontrados respectivamente 54, 30 e 22 artigos. É importante ressaltar que há grande sobreposição entre estes três últimos, já que em um único estudo pode haver produção, caracterização e aplicação de ácido pirolenhoso.

Tabela 11 – Classificação de artigos do grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”

Classificação	Nº de artigos
Aplicação	54
Processo	30
Caracterização	22
Revisão	5
Análise econômica	1

Fonte: Autoria própria

As aplicações mais estudadas foram em agricultura e atividades correlatas, como agente antimicrobiano, antifúngico e antioxidante aplicado a matrizes vegetais. Como aplicações alternativas, observa-se a aplicação do ácido pirolenhoso como adsorvente, substrato de reforma catalítica e como agente de diminuição de emissões gasosas em compostagem aeróbia (Tabela 12).

Tabela 12 – Aplicações estudadas em artigos do grupo “ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras”

Aplicações	Nº de artigos
Agricultura	44
<i>Antimicrobiano</i>	8
<i>Antifúngico</i>	4
<i>Antioxidante</i>	4
<i>Diminuição de emissões gasosas em compostagem aeróbia</i>	2
Adsorvente	3
Substrato de reforma catalítica	2

Fonte: Autoria própria

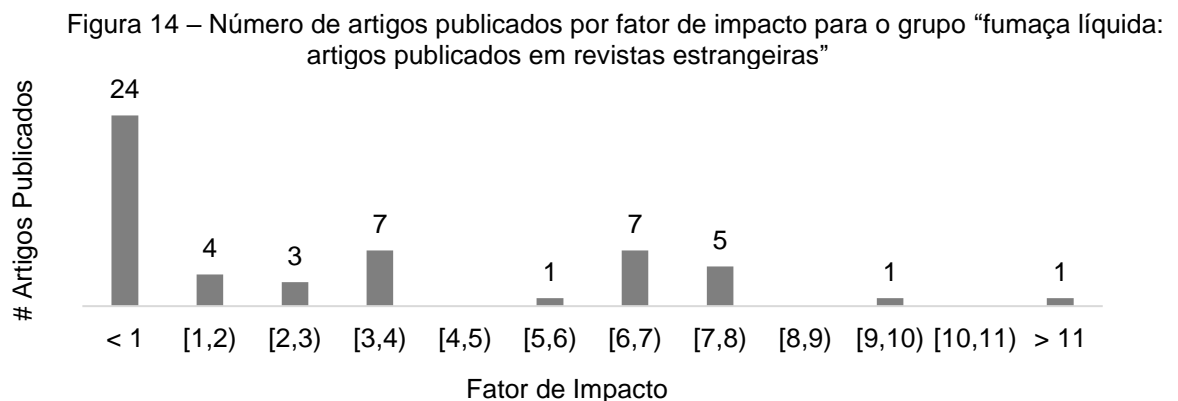
IV.4. FUMAÇA LÍQUIDA: ARTIGOS PUBLICADOS EM REVISTAS ESTRANGEIRAS

Ao todo, foram publicados 53 artigos entre 2013 e 2023 (Figura 14) – grupo denominado “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras” e que consta no Apêndice C. O pico de publicações foi em 2020, com nove artigos, seguido de decréscimo em 2021 e 2022.



Fonte: Autoria própria

Apesar do número de publicações ser expressivo em comparação às publicações em revistas brasileiras, observa-se que foram publicados 24 artigos em revistas com fator de impacto menor do que 1 (Figura 15).



Fonte: Autoria própria

Na Tabela 13, observa-se que as duas revistas que lideram o número de publicações têm fator de impacto de 0,45 e 0,48, considerados de baixa relevância científica, totalizando 10 artigos publicados, sendo todos de origem indonésia.

Tabela 13 – Revistas com mais de duas publicações do grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”

Principais revistas	N° de Artigos	Fator de Impacto
IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6	0,45
IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	4	0,48
International Journal of GEOMATE	3	0,9
Journal of Food Engineering	3	6,2
Aquatic Procedia	2	0
European Journal of Dentistry	2	3,0
Food Control	2	6,7
Innovative Food Science and Emerging Technologies	2	7,1
Meat Science	2	7,1

Fonte: Autoria própria

A Indonésia é o país que lidera as publicações totais, com 33 artigos (Tabela 14). Entretanto, a média aritmética do fator de impacto destes artigos é de 1,1, indicando menor relevância científica. É possível observar que os países líderes de produção (em petajoules) de biocombustível em 2021 também são aqueles que lideram o *ranking* de publicações: Indonésia, Brasil, China e EUA.

Tabela 14 – Número de artigos publicados por país e respectivos IDH e RNB per capita no grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”

Países	N° Artigos	IDH	RNB per capita
Indonésia	33	0,705	11.466
Brasil	4	0,754	14.370
China	3	0,768	17.504
Estados Unidos	3	0,921	64.765
Índia	3	0,633	6.590
Japão	3	0,925	42.274
Turquia	3	0,838	31.033
Argentina	2	0,842	20.925
Espanha	2	0,905	38.354
Cuba	1	0,764	7.879

Países	Nº Artigos	IDH	RNB per capita
Camarões	1	0,576	3.621
Nova Zelândia	1	0,937	44.057
Peru	1	0,762	12.246
Reino Unido	1	0,929	45.225
Grécia	1	0,887	29.002
Canadá	1	0,936	46.808

Fonte: Autoria própria, com base em dados do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (2022) e do World Bank Group (2022)

Quanto à classificação dos artigos, observa-se que em 41 artigos são abordadas aplicações para a fumaça líquida. A discussão sobre o processo de produção aparece em 28 publicações e a caracterização química é realizada em 22. Há um único artigo de revisão no período analisado, como apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Classificação de artigos do grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”

Classificação	Nº de artigos
Aplicação	41
Processo	28
Caracterização	22
Revisão	1

Fonte: Autoria própria

Das aplicações, a maior parte delas é associada à indústria alimentícia, com 24 artigos, e atividade antimicrobiana principalmente ligada à alimentos, com 8 artigos. Nas demais aplicações, o destaque é para a medicina, seguida por atividade coagulante na indústria da borracha, e um único estudo de digestão gastrointestinal *in vitro*. Aplicações ligadas à agricultura aparecem em menor número neste grupo (Tabela 16).

Tabela 16 – Aplicações estudadas em artigos do grupo “fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”

Aplicações	Nº de artigos
Indústria alimentícia	32
<i>Agente antimicrobiano</i>	8
Medicina	5

Aplicações	Nº de artigos
Coagulante na indústria da borracha	3
Agricultura	3
<i>Pesticida</i>	1
Estudo de digestão gastrointestinal in vitro	1

Fonte: Autoria própria

IV.5. COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS

Foram analisados 143 artigos no período compreendido entre janeiro de 2013 a janeiro de 2023 que contêm no título os termos: “*liquid smoke*” ou “*pyroligneous acid*” ou “*wood vinegar*” ou “*pyroligneous extract*” ou “fumaça líquida” ou “ácido pirolenhoso” ou “vinagre de madeira” ou “extrato pirolenhoso” ou “licor pirolenhoso”. Desta amostra, 116 artigos realizaram estudos de aplicação final da fumaça líquida, 61 efetivamente estudaram o processo químico de produção da fumaça líquida – em sua maioria utilizando a pirólise rápida em temperaturas acima de 450 °C – e 46 caracterizavam quimicamente o produto final. Enquanto isso, apenas 6 artigos de revisão foram elaborados e um único em avaliação econômica – sendo que nenhum destes 7 artigos foram publicados em língua portuguesa. Esses dados mostram que há uma oportunidade evidente para pesquisas tanto para estudos de caracterização, quanto para estudos de revisão e avaliação econômica, principalmente no Brasil.

Na Tabela 17, encontra-se a comparação entre os resultados dos três grupos de artigos analisados. Algumas comparações merecem destaque:

- Os países que mais publicaram artigos para os três grupos são aqueles que também foram os cinco maiores produtores de biocombustível em 2021: Estados Unidos, Brasil, Indonésia, China e Alemanha.
- Em termos de classificação, os três grupos possuem maior número de artigos classificados como “aplicação”, seguidos das classificações “processo”, “caracterização”, “revisão” e “análise econômica”.
- O grupo “Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras” possui média ponderada do fator de impacto das principais revistas de 6,5, a maior média entre os grupos, seguida do grupo “Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras”, que possui média de 2,8. Enquanto isso, o grupo “Artigos publicados em revistas brasileiras” têm média menor

que 1,0, possivelmente por se tratarem de artigos locais e publicados em língua portuguesa.

O Brasil certamente tem claras vantagens competitivas para a pesquisa e desenvolvimento no âmbito da fumaça líquida, pois já se figura como um dos principais produtores de biocombustíveis – que têm em comum com a fumaça líquida a matéria-prima de biomassa, a possibilidade de produção via pirólise e os coprodutos de alto valor agregado – do mundo, o que demonstra notável expertise no reaproveitamento de biomassa. Além disso, com a agricultura familiar sendo responsável por mais de dois terços dos alimentos consumidos no Brasil, há grande potencial para obtenção da fumaça líquida por estes agricultores e impulsionar a agricultura local por agregar valor à agricultura familiar.

Tabela 17 – Comparação dos resultados obtidos para os três grupos de artigos

	N° de artigos	Países que publicaram 3 ou mais artigos	Classificação (em n° de artigos)	Aplicação principal	Média ponderada do fator de impacto das principais revistas
Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras	53	Indonésia (33), Brasil (4), China (3), EUA, Japão, Turquia	41 – Aplicação; 28 – Processo; 22 – Caracterização; 1 – Revisão	Indústria alimentícia	2,8
Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras	67	China (35), Brasil (7), EUA (5), Indonésia (4), Alemanha (3), Canadá, Irã, Reino Unido, Tailândia	54 – Aplicação 30 – Processo 22 – Caracterização 5 – Revisão 1 – Avaliação Econômica	Agricultura	6,5
Artigos publicados em revistas brasileiras	23	Brasil	21 – Aplicação 3 – Processo 2 – Caracterização	Agricultura	< 1
Total	143	China (38), Indonésia (37), Brasil (11), EUA (8), Reino Unido (4), Canadá (4) ¹	116 – Aplicação 61 – Processo 46 – Caracterização 6 – Revisão 1 – Avaliação Econômica	N/A	N/A

Fonte: Autoria própria

¹ A soma desconsidera os artigos publicados em revistas brasileiras.

CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O estudo bibliométrico realizado neste trabalho mostrou que a terminologia “fumaça líquida” varia conforme o idioma e aplicação principal. Na literatura de língua inglesa o termo “*liquid smoke*” é utilizado quando o produto é aplicado a alimentos, e “*pyroligneous acid*” em aplicações na agricultura. Enquanto isso, na literatura brasileira, o termo “fumaça líquida” também é utilizado para aplicações em alimentos, mas na agricultura os termos mais comuns são “extrato pirolenhoso” e “licor pirolenhoso”. Além disso, há divergências sobre a definição de “fumaça líquida”: há autores que a apontam como sinônimo de bio-óleo e outros que definem como parte aquosa do líquido da pirólise.

Ainda em relação à literatura analisada, apenas Xin et al. (2021a; 2021b) abordam o reaproveitamento do bio-carvão e bio-óleo, coprodutos da obtenção da fumaça líquida. Entretanto, surpreendentemente, estes autores não abordam a utilização do alcatrão – subproduto já amplamente discutido na literatura com aplicações relevantes na indústria química, como mostrado neste trabalho. Portanto, a maior oportunidade de desenvolvimento de novos estudos são aquelas relacionadas à integração do processo químico e à valorização de resíduos, temáticas pouco investigadas nos últimos dez anos analisados.

Observou-se também que os quatro países que mais produziram biocombustíveis em 2021 – Estados Unidos, Brasil, Indonésia e China, em ordem decrescente – são os mesmos que lideram no número de publicações na amostra analisada (143 artigos), na seguinte ordem decrescente: China (38), Indonésia (37), Brasil (11) e EUA (8). Esta correlação pode estar associada ao fato de: (i) a biomassa ser uma matéria-prima em comum; (ii) a pirólise ser um dos processos de obtenção de biocombustível, assim como para obtenção da fumaça líquida; (iii) os coprodutos de alto valor agregado serem gerados e reaproveitados na produção de biocombustível, assim como potencialmente na produção da fumaça líquida.

Como sugestões para continuidade deste trabalho, propõe-se a análise de artigos desde os anos 2000 e análise de patentes depositadas e concedidas globalmente, de modo a realizar uma prospecção tecnológica completa.

Por fim, entende-se que há um enorme potencial científico, comercial e empresarial que poderia ser destravado no Brasil através de estudos sobre a

obtenção e aplicação da fumaça líquida sendo um possível primeiro passo a utilização da infraestrutura disponível na Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro e em outras universidades e centros de pesquisa nacionais para a condução destes estudos.

REFERÊNCIAS

- AMALINA, F.; KRISHNAN, S.; ZULARISAM, A. W.; NASRULLAH, M. Recent advancement and applications of biochar technology as a multifunctional component towards sustainable environment. **Environmental Development**, 1. jun. 2023. Elsevier B.V.
- ARUNDINA, I.; DIYATRI, I.; KUSUMANINGSIH, T.; et al. The Role of Rice Hull Liquid Smoke in the Traumatic Ulcer Healing. **European Journal of Dentistry**, v. 15, n. 1, p. 33–38, 2021. Georg Thieme Verlag.
- BALAT, M. An overview of the properties and applications of biomass pyrolysis oils. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects**, v. 33, n. 7, p. 674–689, 2011.
- BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. **Biomass and Bioenergy**, v. 38, p. 68–94, 2012.
- CONG, H.; YAO, Z.; MAŠEK, O. Co-combustion, co-condensification, and pollutant emission characteristics of charcoal-based briquettes prepared using bio-tar as a binder. **Fuel**, v. 287, 2021. Elsevier Ltd.
- EMMERSON, E.P. Improving the sensory and nutritional quality of smoked meat products. **Processed Meats**, [S.L.], p. 527-545, 2011. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1533/9780857092946.3.527>.
- EVAHELDA; ASTUTI, R. F.; AINI, S. N.; NURHADINI. Liquid smoke application in latex as an environment-friendly natural coagulant. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. v. 926, 2021. IOP Publishing Ltd.
- GREWAL, A.; ABBEY, LORD; GUNUPURU, L. R. Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 1. out. 2018. Elsevier B.V.
- HU, X.; GHOLIZADEH, M. Progress of the applications of bio-oil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 1. dez. 2020. Elsevier Ltd.
- HUANG, Y.; ZHOU, YING; LIU, Y.; et al. Effects of tea branch liquid smoke on oxidation and structure of myofibrillar protein derived from pork tenderloin during curing. **Food Chemistry: X**, v. 17, 2023. Elsevier Ltd.
- JAGTAP, S. D.; TAMBE, S. P.; CHOUDHARI, R. N.; MALLIK, B. P. Mechanical and anticorrosive properties of non-toxic coal-tar epoxy alternative coating. **Progress in Organic Coatings**, v. 77, n. 2, p. 395–402, 2014.

LI, Z.; WU, L.; SUN, S.; et al. Disinfection and removal performance for *Escherichia coli*, toxic heavy metals and arsenic by wood vinegar-modified zeolite. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 174, p. 129–136, 2019. Academic Press.

MATHEW, S.; ZAKARIA, Z. A. Pyroligneous acid—the smoky acidic liquid from plant biomass. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 1. jan. 2015. Springer Verlag.

MMOJIEJE, J. Pyroligneous Acid: A Farmer’s Flexible Friend? **Journal of Crop Improvement**, v. 30, n. 3, p. 341–351, 2016. Taylor and Francis Inc.

MONTAZERI, N.; OLIVEIRA, A. C. M.; HIMELBLOOM, B. H.; LEIGH, M. B.; CRAPO, C. A. Chemical characterization of commercial liquid smoke products. **Food Science & Nutrition**, v. 1, n. 1, p. 102–115, 2013. Wiley.

NIEVA-ECHEVARRÍA, B.; GOICOECHEA, E.; GUILLÉN, M. D. Effect of liquid smoking on lipid hydrolysis and oxidation reactions during in vitro gastrointestinal digestion of European sea bass. **Food Research International**, v. 97, p. 51–61, 2017. Elsevier Ltd.

PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2021/2022**. 2022. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/angola/publications/relatorio-do-desenvolvimento-humano-2021/2022>. Acesso em: 05 abr. 2023.

RIZAL, W. A.; NISA, K.; MARYANA, R.; et al. Chemical composition of liquid smoke from coconut shell waste produced by SME in Rongkop Gunungkidul. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. v. 462, 2020. Institute of Physics Publishing.

ROZUM, J. SMOKING | Liquid Smoke (Smoke Condensate) Application. **Encyclopedia Of Meat Sciences**, [S.L.], p. 315-320, 2014. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-384731-7.00146-x>.

SANTOSO, R. S.; Characterization of Liquid Smoke from Coconut Shell as a Natural Pesticide for Hexamitodera Semivelutinia Beetle on Clove Trees. **International Journal Of Applied Chemistry**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 389-397, nov. 2016.

SOKAMTE TEGANG, A.; MBOUGUENG, P. D.; SACHINDRA, N. M.; DOUANLA NODEM, N. F.; TATSADJIEU NGOUNE, L. Characterization of volatile compounds of liquid smoke flavourings from some tropical hardwoods. **Scientific African**, v. 8, 2020. Elsevier B.V.

SOUZA, J. L. S. DE; GUIMARÃES, V. B. DA S.; CAMPOS, A. D.; LUND, R. G. Antimicrobial potential of pyroligneous extracts – a systematic review and technological prospecting. **Brazilian Journal of Microbiology**, 1. nov. 2018. Elsevier Editora Ltda.

STATISTA. **Biofuel production worldwide**. 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/274163/global-biofuel-production-in-oil-equivalent/>. Acesso em: 05 abr. 2023.

SUN, S.; GAO, Z. T.; LI, Z. C.; et al. Effect of Wood Vinegar on Adsorption and Desorption of Four Kinds of Heavy (loid) Metals Adsorbents. **Chinese Journal of Analytical Chemistry**, v. 48, n. 2, p. e20013–e20020, 2020. Chinese Academy of Sciences.

TARAWAN, V. M.; MANTILIDEWI, K. I.; DHINI, I. M.; RADHIYANTI, P. T.; SUTEDJA, E. Coconut Shell Liquid Smoke Promotes Burn Wound Healing. **Journal of Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 22, n. 3, p. 436–440, 2017. SAGE Publications Ltd.

TIILIKKALA, K.; FAGERNÄS, L.; TIILIKKALA, J. **History and Use of Wood Pyrolysis Liquids as Biocide and Plant Protection Product**. 2010.

TU, R.; SUN, Y.; WU, Y.; et al. Bio-tar-derived porous carbon with high gas uptake capacities. **Renewable Energy**, v. 167, p. 82–90, 2021. Elsevier Ltd.

VARLET, Vincent; SEROT, Thierry; PROST, Carole. Smoke Flavoring Technology in Seafood. **Handbook Of Seafood and Seafood Products Analysis**, [S.L.], p. 233–254, 24 nov. 2009. CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420046359-c15>.

WEI, M. M.; LI, W. P.; WENG, J.; et al. Mesopore-dominant porous carbon derived from bio-tars as an electrode material for high-performance supercapacitors. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 23, n. 7, p. 958–966, 2019. Elsevier B.V.

WINARNI, I.; GUSMAILINA; KOMARAYATI, S. A review: The utilization and its benefits of liquid smoke from lignocellulosic waste. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. v. 914, 2021. IOP Publishing Ltd.

WORLD BANK GROUP. **GDP (current US\$) 2021/2022**. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=BR&most_recent_value_desc=true. Acesso em: 12 mar. 2023.

XIN, Xing; DELL, Kiri; UDUGAMA, Isuru A.; YOUNG, Brent R.; BAROUTIAN, Saeid. Economic Performance of Small-Scale Fast Pyrolysis Process of Coproducing Liquid Smoke Food Flavoring and Biofuels. **Acs Sustainable Chemistry & Engineering**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 1911–1919, 19 jan. 2021. American Chemical Society (ACS).

XIN, Xing; BISSETT, Amy; WANG, Joyce; GAN, Andrew; DELL, Kiri; BAROUTIAN, Saeid. Production of liquid smoke using fluidised-bed fast pyrolysis and its application to green lipped mussel meat. **Food Control**, [S.L.], v. 124, p. 107874, jun. 2021a. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107874>.

XUE, Y.; GE, Z.; LI, F.; SU, S.; LI, B. Modified asphalt properties by blending petroleum asphalt and coal tar pitch. **Fuel**, v. 207, p. 64–70, 2017. Elsevier Ltd.

APÊNDICE A – Artigos publicados em revistas brasileiras

Tabela A-1 – Artigos publicados em revistas brasileiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Qualis Capes	Universidades
https://doi.org/10.53660/C ONJ-680-811	2022	Extrato pirolenhoso na germinação de sementes forrageiras	Aplicação	Agricultura	Conjecturas	B4	UNESP UNIR UFAC
https://doi.org/10.31413/n ativa.v10i3.13816	2022	Extrato pirolenhoso de <i>Enterolobium contorstisiliquum</i> (Vell.) Morong. contra o ataque de cupins a madeira serrada de <i>Aspidospema polyneuron</i> Müll. Arg.	Processo Aplicação	Indústria madeireira	Nativa	B4	UFERSA UNEMAT
https://doi.org/10.19084/rc a.26524	2022	Extrato pirolenhoso no controle de <i>Meloidogyne enterolobii</i> em plantas de goiabeira cv. Paluma	Aplicação	Agricultura	Revista de Ciências Agrárias	B4	UFCG UFVJM UFPI
https://doi.org/10.34117/bj dv7n3-701	2021	Influência do Extrato Pirolenhoso na germinação de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Piatã	Processo Aplicação	Agricultura	Brazilian Journal of Development	C	UFLA UFRN USP UFPR
https://doi.org/10.34117/bj dv7n2-299	2021	Desenvolvimento de Catasetum Schmidtianum Miranda & Lacerda em diferentes concentrações de extrato pirolenhoso obtido de <i>Enterolobium contorstisiliquum</i>	Aplicação	Floricultura	Brazilian Journal of Development	C	UNEMAT UFPE
https://doi.org/10.34117/bj dv7n2-299	2021	Crescimento <i>in vitro</i> de Catasetum x apolloi Benelli & Grade (<i>Orchidaceae</i>) em meio de cultura com adição de licor pirolenhoso de teca (<i>Tectona grandis</i>)	Aplicação	Agricultura	Brazilian Journal of Development	C	UNEMAT UFPE
https://doi.org/10.34181/rb g.2021.v4p.1-23.78	2021	Aceitabilidade e rentabilidade de filés de peixe xerelete (manezinho) – <i>Caranx crysos</i> (Mitchill, 1815) – submetidos à defumação tradicional e líquida	Aplicação	Indústria alimentícia	Revista Brasileira de Gastronomia	B4	IFSC

Tabela A-1 – Artigos publicados em revistas brasileiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Qualis Capes	Universidades
https://doi.org/10.21674/2448-0479.71.93-102	2021	Efeito do extrato pirolenhoso no desenvolvimento inicial de plantas de milho e feijão	Aplicação	Agricultura	Revista Eletrônica Científica da UERGS	B4	UERGS
https://doi.org/10.1590/0100-5405/182794	2021	Eficácia dos extratos pirolenhosos de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) e eucalipto (<i>Eucalyptus</i> spp.) no controle in vitro de patógenos da soja	Aplicação	Agricultura	Summa Phytopathologica	B3	UFGD
https://doi.org/10.4322/2176-1523.20212314	2021	Influência da concentração de ácido acético presente no licor pirolenhoso na anodização de nióbio	Caracterização	N/A	Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração	B1	Universidade Feevale
ISSN 0798 1015	2017	Ácido pirolenhoso no manejo de nematoides das galhas na cultura da alface	Aplicação	Agricultura	Espacios	C	UFPI UFCG UFC UFRPE
N/A	2017	Dejeto suíno e extrato pirolenhoso – influência na retenção/lixiviação de metais no solo	Aplicação	Agricultura	Revista Liberato	C	Universidade Feevale
https://doi.org/10.1590/0100-5405/167358	2017	Produtos naturais disponíveis comercialmente induzem o acúmulo de fitoalexinas em cotilédones de soja e mesocótilos de sorgo	Aplicação	Agricultura	Summa Phytopathologica	B3	USP UFV UEMA
N/A	2016	Efeito do extrato pirolenhoso sobre a germinação de espécies do Cerrado brasileiro	Processo Aplicação	Agricultura	Caderno de Ciências Agrárias	B4	UFLA
https://doi.org/10.25112/revista.v2i0.376	2016	Ação antibacteriana do licor pirolenhoso sobre coliformes	Aplicação	Antibacteriano	Revista Conhecimento Online	B4	Universidade Feevale

Tabela A-1 – Artigos publicados em revistas brasileiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Qualis Capes	Universidades
https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010013	2015	Doses de extrato pirolenhoso no cultivo de orquídea	Aplicação	Agricultura	Revista Ceres	B1	UEL
https://doi.org/10.18224/est.v41i0.3987	2014	Efeito genotóxico de licor pirolenhoso de Teca pelo bioindicador ervilha	Aplicação	Agricultura	Estudos	B3	UNEMAT
ISSN: 1980-9735	2014	Atividade do extrato pirolenhoso sobre lagartas de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith) (<i>Lepidoptera: Noctuidae</i>)	Aplicação	Pesticida	Revista Brasileira de Agroecologia	B4	UFAL
https://doi.org/10.5902/2236117013808	2014	Potencialidades do extrato pirolenhoso: práticas de caracterização	Caracterização	N/A	Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia	B1	IFRJ UFRRJ
https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000300043	2013	Hambúrgueres de aparas de jacaré-do-pantanal (<i>Caiman yacare</i>) submetidos a diferentes técnicas de defumação	Aplicação	Indústria alimentícia	Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia	B1	UEM UFTPR IBAMA
N/A	2013	Incompatibilidade Física de Misturas Entre Inseticidas e Fungicidas	Aplicação	Agricultura	Comunicata Scientiae	B2	UNEMAT UFMT UFPI
https://doi.org/10.15628/holos.2013.1362	2013	Inseticidas vegetais no controle de <i>Anastrepha</i> spp. (Diptera: Tephritidae) em pomar de goiaba	Aplicação	Pesticida	HOLOS	A1	UFC
http://dx.doi.org/10.5380/rf.v44i1.30220	2013	Avaliação do tratamento preservativo de taliscas de bambu com ácido pirolenhoso	Aplicação	Agricultura	Revista Floresta	B2	UNICAMP

APÊNDICE B – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102886	2022	Co-application of biochar and pyrolygneous acid improved peanut production and nutritional quality in a coastal soil	Aplicação	Agricultura	Environmental Technology & Innovation	7,5	China
https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100083	2022	Seed priming with pyrolygneous acid mitigates aluminum stress, and promotes tomato seed germination and seedling growth	Aplicação	Agricultura	Plant Stress	6,2	Canadá
https://doi.org/10.3390/agronomy12071609	2022	In Vitro Evaluation of Wood Vinegar (Pyrolygneous Acid) VOCs Inhibitory Effect against a Fungus-like Microorganism <i>Ovatisporangium (Phytophthium)</i> Isolate Recovered from Tomato Fields in Iran	Aplicação	Antifúngico	Agronomy	3,9	Irã Polônia
https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11234	2022	Dual action of pyrolygneous acid in the eco-friendly synthesis of bactericidal silver nanoparticles	Aplicação	Agente redutor	Heliyon	3,8	Brasil
https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116013	2021	Microbial mechanisms related to the effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on the degradation of organic matter and methane emissions during composting	Aplicação	Diminuição de emissões gasosas em compostagem aeróbia	Environmental Pollution	10,0	China
https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118132	2021	Effect of pyrolygneous acid on soil urease, amidase, and nitrogen use efficiency by Chinese cabbage (<i>Brassica campestris var Pekinensis</i>)	Aplicação	Agricultura	Environmental Pollution	10,0	Coreia do Sul
https://doi.org/10.3390/agronomy11030510	2021	Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed	Aplicação	Agricultura	Agronomy	3,9	China

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
https://doi.org/10.1007/s42452-020-04028-8	2021	Effects of wood distillate and soy lecithin on the photosynthetic performance and growth of lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L)	Aplicação	Agricultura	SN Applied Sciences	2,1	Itália
https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121292	2020	Microbial driven reduction of N ₂ O and NH ₃ emissions during composting: Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar	Aplicação	Diminuição de emissões gasosas em compostagem aeróbia	Journal of Hazardous Materials	14,2	China
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138359	2020	Wheat straw vinegar: A more cost-effective solution than chemical fungicides for sustainable wheat plant protection	Aplicação	Antifúngico	Science of the Total Environment	10,8	China Austrália
https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125699	2020	Comparative study of individual and Co-Application of biochar and wood vinegar on blueberry fruit yield and nutritional quality	Aplicação	Agricultura	Chemosphere	8,9	China
https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111117	2020	Effects of wood distillate (pyroligneous acid) on sensitive bioindicators (lichen and moss)	Aplicação	Agricultura	Ecotoxicology and Environmental Safety	6,7	Itália Eslováquia
https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110191	2020	Exogenous bamboo pyroligneous acid improves antioxidant capacity and primes defense responses of harvested apple fruit	Aplicação	Antioxidante	LWT	5,8	China
https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.106186	2020	High-temperature CO ₂ capture by Li ₄ SiO ₄ adsorbents: Effects of pyroligneous acid (PA) modification and existence of CO ₂ at desorption stage	Aplicação	Captura de CO ₂	Fuel Processing Technology	5,0	China

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
10.1016/S1872-2040(19)61217-X	2020	Effect of Wood Vinegar on Adsorption and Desorption of Four Kinds of Heavy (loid) Metals Adsorbents	Aplicação	Adsorvente	CHINESE JOURNAL OF ANALYTICAL CHEMISTRY	1,8	China
https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.064	2019	Effects of biomass pyrolysis derived wood vinegar (WVG) on extracellular polymeric substances and performances of activated sludge	Aplicação	Estudo do efeito em substâncias poliméricas extracelulares	Bioresource Technology	11,9	China Singapura
https://doi.org/10.1016/j.environpol.2019.05.014	2019	Responses of antibiotic and heavy metal resistance genes to bamboo charcoal and bamboo vinegar during aerobic composting	Aplicação	Agricultura	Environmental Pollution	10,0	China
https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.058	2019	The evaluation of the potential ecotoxicity of pyroligneous acid obtained from fast pyrolysis	Aplicação	Agricultura	Ecotoxicology and Environmental Safety	6,7	Brasil Irlanda
10.3390/ijms20040943	2019	Root proteomics reveals the effects of wood vinegar on wheat growth and subsequent tolerance to drought stress	Aplicação	Agricultura	International Journal of Molecular Sciences	5,5	China
10.22099/iar.2020.31134.1305	2019	The effects of pine wood vinegar on the germination, growth and photosynthetic characteristics of cucumber	Aplicação	Agricultura	Iran Agricultural Research	0,2	Irã
https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.037	2018	Effects of wood vinegar on properties and mechanism of heavy metal competitive adsorption on secondary fermentation-based composts	Aplicação	Adsorvente	Ecotoxicology and Environmental Safety	6,7	China

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.015	2018	N ₂ O and CH ₄ emissions from N-fertilized rice paddy soil can be mitigated by wood vinegar application at an appropriate rate	Aplicação	Agricultura	Atmospheric Environment	5,8	China EUA
10.1088/1755-1315/128/1/012183	2018	Impacts of adding different components of wood vinegar on rape (<i>Brassica napus</i> L) seed germination	Aplicação	Agricultura	Journal of Earth and Environmental Sciences	2,3	China
10.1088/1755-1315/128/1/012186	2018	Effect of adding wood vinegar on cucumber (<i>Cucumis sativus</i> L) seed germination	Aplicação	Agricultura	Journal of Earth and Environmental Sciences	2,3	China
10.15243/jdmlm.2018.053.1245	2018	Application of wood vinegar coconut shell and NPK fertilizer to maintain sustainable agriculture of upland rice production	Aplicação	Agricultura	JOURNAL OF DEGRADED AND MINING LANDS MANAGEMENT	0,9	Indonésia
10.1080/01904167.2014.992539	2016	Effects of adding wood vinegar to nutrient solution on the growth, photosynthesis, and absorption of mineral elements of hydroponic lettuce	Aplicação	Agricultura	Journal of Plant Nutrition	2,4	China
doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.558	2015	Utilization of Dendrocalamus Asper Backer Bamboo Charcoal and Pyrolygneous Acid	Aplicação	Coagulante	Energy Procedia	2,6	Tailândia
10.1007/s10333-014-0453-z	2015	Effect of Pistia stratiotes, cattle manure and wood vinegar (pyrolygneous acid) application on growth and yield of organic rainfed rice	Aplicação	Agricultura	Paddy Water Environment	1,5	Japão

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
10.1080/15427528.2014.995328	2015	The Potential Application of Pyrolygneous Acid in the UK Agricultural Industry	Aplicação	Agricultura	Journal of Crop Improvement	1,4	Reino Unido Alemanha
http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.020	2013	Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (<i>Solanum lycopersicum</i> L)	Aplicação	Agricultura	Scientia Horticulturae	3,5	Tailândia
10.1111/j.1740-0929.2012.01045.x	2013	Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar as antibiotic alternatives on growth performance, immune responses and fecal microflora population in fattening pigs	Aplicação	Antibiótico animal	Animal Science Journal	1,7	Coreia do Sul
http://dx.doi.org/10.1016/j.mex.2020.100783	2020	Predicting antioxidant activity of wood vinegar using color and spectrophotometric parameters	Caracterização Aplicação	Antioxidante	MethodsX	1,8	Tailândia
10.1021/acsomega.9b02240	2019	Effect of Pyrolysis Temperature on the Characteristics of Wood Vinegar Derived from Chinese Fir Waste: A Comprehensive Study on Its Growth Regulation Performance and Mechanism	Processo Caracterização Aplicação	Agricultura	ACS Omega	4,1	China
https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101971	2022	Effects of pyrolygneous acid on life history and physiology of two pyralid pests of stored products	Processo Aplicação	Pesticida	Journal of Stored Products Research	2,6	Irã EUA
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148962	2021	Individual and combined applications of biochar and pyrolygneous acid mitigate dissemination of antibiotic resistance genes in agricultural soil	Processo Aplicação	Agricultura	Science of the Total Environment	10,8	China EUA

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
10.1111/JAM.14977	2021	Pyroligneous acid from <i>Mimosa tenuiflora</i> and <i>Eucalyptus urograndis</i> as an antimicrobial in dairy goats	Processo Aplicação	Antimicrobiano	Journal of Applied Microbiology	4,1	Brasil
https://doi.org/10.1016/j.coenv.2019.01.124	2019	Disinfection and removal performance for <i>Escherichia coli</i> , toxic heavy metals and arsenic by wood vinegar - modified zeolite	Processo Aplicação	Adsorvente	Ecotoxicology and Environmental Safety	6,7	China
http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2017.08.030	2017	Hydrogen from pyroligneous acid via modified bimetal Al-SBA-15 catalysts	Processo Aplicação	Substrato de reforma catalítica	Applied Catalysis A: General	5,7	China
10.1021/acs.energyfuels.6b03000	2017	Influence of Mixed Supports on the Steam Catalytic Reforming of Wood Vinegar	Processo Aplicação	Substrato de reforma catalítica	Energy & Fuels	3,6	China
10.5897/AJB2013.12963	2013	Biological activity of sugarcane pyroligneous acid against <i>Spodoptera frugiperda</i> (JE Smith, 1797) (<i>Lepidoptera: Noctuidae</i>) larvae	Processo Aplicação	Agricultura	African Journal of Biotechnology	0,6	Brasil
https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121918	2022	Preparation and analysis of pyroligneous liquor, charcoal and gas from lacquer wood by carbonization method based on a biorefinery process	Processo Caracterização	Antimicrobiano	Energy	7,1	China
https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113690	2021	The effect of pyrolysis temperature on the characteristics of biochar, pyroligneous acids, and gas prepared from cotton stalk through a polygeneration process	Processo Caracterização	Indústria de talo de algodão.	Industrial Crops & Products	6,4	China

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
10.1088/1755-1315/462/1/012057	2020	Chemical composition of liquid smoke from coconut shell waste produced by SME in Rongkop Gunungkidul	Processo Caracterização	Antimicrobiano	Earth and Environmental Science	2,3	Indonésia
https://doi.org/10.1016/j.jap.2020.104907	2020	Comprehensive insights into the influences of acid-base properties of chemical pretreatment reagents on biomass pyrolysis behavior and wood vinegar properties	Processo Caracterização	Agricultura	Journal of Analytical and Applied Pyrolysis	1,2	China Suécia
10.3390/molecules23020426	2018	Chemical composition of pyroligneous acid obtained from eucalyptus GG100 clone	Processo Caracterização	Indústria alimentícia	Molecules	4,9	Brasil
http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.12.026	2015	Study on the preparation of wood vinegar from biomass residues by carbonization process	Processo Caracterização	N/A	Bioresource Technology	11,9	China
10.1371/journal.pone.0075738	2013	Bamboo Vinegar Decreases Inflammatory Mediator Expression and NLRP3 Inflammasome Activation by Inhibiting Reactive Oxygen Species Generation and Protein Kinase C- α/δ Activation	Processo Caracterização	Anti-inflamatório	PLOS ONE	3,2	Taiwan
10.1016/j.proenv.2013.02.012	2013	Maximizing the Production of Liquid Smoke from Bark of Durio by Studying its Potential Compounds	Processo Caracterização	Agricultura	Procedia Environmental Sciences	0,8	Indonésia
10.1080/15567036.2011.603032	2014	The effect of wood vinegar on hydrothermal liquefaction of cotton stalk under co atmosphere	Processo Caracterização Aplicação	Solvente	Energy Sources, Part A	3,4	China

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113226	2021	The effects of pyrolysis temperature and storage time on the compositions and properties of the pyrolyigneous acids generated from cotton stalk based on a polygeneration process	Processo Caracterização Aplicação	Antimicrobiano	Industrial Crops & Products	6,4	China
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139943	2020	Comparison of methanogenic potential of wood vinegar with gradient loads in batch and continuous anaerobic digestion and microbial community analysis	Processo Caracterização Aplicação	Potencial metanogênico	Science of the Total Environment	10,8	China
https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106158	2020	Pyrolyigneous acid mitigated dissemination of antibiotic resistance genes in soil	Processo Caracterização Aplicação	Agricultura	Environment International	9,6	China EUA
https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111159	2020	A possible environmental-friendly removal of <i>Microcystis aeruginosa</i> by using pyrolyigneous acid	Processo Caracterização Aplicação	Antimicrobiano	Ecotoxicology and Environmental Safety	6,7	China
https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.004	2019	In vitro evaluation of antimicrobial efficacy of pyrolyigneous acid from softwood mixture	Processo Caracterização Aplicação	Antimicrobiano	Biotechnology Research and Innovation	8,9	Canadá
https://doi.org/10.1007/s11368-019-02365-9	2019	Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth	Processo Caracterização Aplicação	Agricultura	Journal of Soils and Sediments	3,6	Alemanha
http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.049	2018	Pyrolysis of <i>Arundo donax L</i> to produce pyrolytic vinegar and its effect on the growth of dinoflagellate <i>Karenia brevis</i>	Processo Caracterização Aplicação	Antimicrobiano	Bioresource Technology	11,9	China

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
10.1111/jam.13626	2018	Antibacterial and antifungal activities of pyrolygneous acid from wood of <i>Eucalyptus urograndis</i> and <i>Mimosa tenuiflora</i>	Processo Caracterização Aplicação	Antifúngico	Journal of Applied Microbiology	4,1	Brasil
10.1039/c8ra07491g	2018	Chemical constituents and antimicrobial activity of wood vinegars at different pyrolysis temperature ranges obtained from <i>Eucommia ulmoides</i> Olivers branches	Processo Caracterização Aplicação	Antimicrobiano	The Royal Society of Chemistry	4,0	China EUA
https://doi.org/10.1007/s10086-018-1703-2	2018	Antifungal and antitermitic activities of wood vinegar from oil palm trunk	Processo Caracterização Aplicação	Antifúngico	Journal of Wood Science	2,2	Indonésia Japão
http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2015.07.007	2015	Antioxidant property and chemical profile of pyrolygneous acid from pineapple plant waste biomass	Processo Caracterização Aplicação	Antioxidante	Process Biochemistry	3,0	Malásia
http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2013.09.011	2013	Pyrolysis process and antioxidant activity of pyrolygneous acid from <i>Rosmarinus officinalis</i> leaves	Processo Caracterização Aplicação	Antioxidante	Journal of Analytical and Applied Pyrolysis	6,4	China
https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114949	2022	Characterization of the pyrolygneous acids generated from the pyrolysis of four types of mulberry branches	Processo Caracterização Aplicação Análise econômica	Industrial	Industrial Crops and Products	6,4	China
https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.09.008	2018	Production, prospects and potential application of pyrolygneous acid in agriculture	Revisão	N/A	J. Anal. Appl. Pyrolysis	6,3	Canadá

Tabela B-1 – Ácido pirolenhoso: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator de Impacto	Países
https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.07.001	2018	Antimicrobial potential of pyrolygneous extracts - a systematic review and technological prospecting	Revisão	N/A	Brazilian journal of microbiology	3,5	Brasil
http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77380	2018	Physicochemistry and Utilization of Wood Vinegar from Carbonization of Tropical Biomass Waste	Revisão	N/A	Tropical Forests	0,8	Reino Unido
http://dx.doi.org/10.1080/15427528.2016.1160462	2016	Pyrolygneous Acid: A Farmer's Flexible Friend?	Revisão	N/A	Journal of Crop Improvement	1,4	Reino Unido
10.1007/s00253-014-6242-1	2015	Pyrolygneous acid - the smoky acidic liquid from plant biomass	Revisão	N/A	Appl Microbiol Biotechnol	5,5	Alemanha

APÊNDICE C – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras

Tabela C-1 – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator Impacto	Países
https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100544	2023	Effects of tea branch liquid smoke on oxidation and structure of myofibrillar protein derived from pork tenderloin during curing	Processo Aplicação	Indústria alimentícia	Food Chemistry: X	6,4	China
https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108799	2022	Characterization of ginger starch-based edible films incorporated with coconut shell liquid smoke by ultrasound treatment and application for ground beef	Aplicação	Indústria alimentícia	Meat Science	7,1	Turquia
https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2021.110912	2022	Characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial capacity of prepared liquid smoke-loaded chitosan nanoparticles	Aplicação	Indústria alimentícia	Journal of Food Engineering	6,2	Peru Brasil
https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107874	2021	Production of liquid smoke using fluidised - bed fast pyrolysis and its application to green lipped mussel meat	Processo Caracterização Aplicação	Indústria alimentícia	Food Control	6,7	Nova Zelândia
10.7324/JAPS.2021.110809	2021	Distilled liquid smoke coconut shell attenuates the cytokine profile of macrophages in oral ulcer in experimental model of diabetes mellitus	Processo Aplicação	Medicina	Journal of Applied Pharmaceutical Science	1,4	Indonésia
https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2021.01.003	2021	Growth factor stimulation for the healing of traumatic ulcers with liquid rice hull smoke	Aplicação	Medicina	Journal of Taibah University Medical Sciences	1,2	Indonésia
10.1088/1757-899X/1098/2/022004	2021	Preliminary study on the antibacterial activity of liquid smoke from cacao pod shells (<i>Theobroma cacao</i> L)	Processo Aplicação	Indústria alimentícia	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	0,5	Indonésia

Tabela C-1 – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator Impacto	Países
10.1088/1755-1315/788/1/012078	2021	Liquid smoke characteristic from coconut shell and rice husk	Processo Caracterização	N/A	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	0,5	Indonésia
10.1088/1755-1315/926/1/012052	2021	Liquid smoke application in latex as an environment - friendly natural coagulant	Processo Aplicação	Coagulante	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	0,5	Indonésia
https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102427	2020	Inactivation of <i>Listeria monocytogenes</i> in raw and hot smoked trout fillets by high hydrostatic pressure processing combined with liquid smoke and freezing	Aplicação	Atividade antimicrobiana	Innovative Food Science and Emerging Technologies	7,1	Reino Unido Grécia Turquia
https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107186	2020	Liquid smoking - A safe and convenient alternative for traditional fish smoked products	Revisão	N/A	Food Control	6,7	Índia
https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05228	2020	Preservation of meatballs with edible coating of chitosan dissolved in ricehull-based liquid smoke	Processo Caracterização Aplicação	Indústria alimentícia	Heliyon	3,8	Indonésia
https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1520306	2020	Cocoa Bean Skin Waste as Potential Raw Material for Liquid Smoke Production	Processo Caracterização	N/A	Environmental Technology	3,2	Indonésia
https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1798030	2020	Source-dependent compositional changes in coconut flavoured liquid smoke and its application in traditional Indian smoked fishery products	Processo Caracterização Aplicação	Indústria alimentícia	Food Additives & Contaminants: Part A	3,1	Índia
10.1055/s-0040-1714445	2020	The Role of Rice Hull Liquid Smoke in the Traumatic Ulcer Healing	Processo Aplicação	Medicina	European Journal of Dentistry	3,0	Indonésia

Tabela C-1 – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator Impacto	Países
https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00443	2020	Characterization of volatile compounds of liquid smoke flavourings from some tropical hardwoods	Processo Caracterização	N/A	Scientific African	2,8	Índia Camarões
10.1088/1757-899X/935/1/012041	2020	Characteristics of liquid smoke from several kinds of waste	Processo Caracterização	Agricultura	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	0,5	Indonésia
10.1088/1755-1315/462/1/012049	2020	Utilization of liquid smoke corn cobs for germination tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) seeds	Processo Caracterização Aplicação	Agricultura	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	0,5	Indonésia
https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.015	2019	Effect of storage conditions on the physicochemical characteristics of edible films based on whey protein concentrate and liquid smoke	Aplicação	Indústria alimentícia	Food Hydrocolloids	11,5	Argentina
https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2018.10.030	2019	Effects of liquid smoke infusion on osmotic dehydration kinetics and microstructural characteristics of apple cubes	Aplicação	Indústria alimentícia	Journal of Food Engineering	6,2	EUA
https://doi.org/10.1055/s-0039-1693527	2019	Potential of Distilled Liquid Smoke Derived from Coconut (<i>Cocos nucifera</i> L) Shell for Traumatic Ulcer Healing in Diabetic Rats	Processo Caracterização Aplicação	Medicina	European Journal of Dentistry	3,0	Indonésia
10.1088/1757-899X/543/1/012075	2019	Production of Liquid Smoke from the Process of Carbonization of Durian Skin Biomass, Coconut Shell and Palm Shell for Preservation of Tilapia Fish	Processo Caracterização Aplicação	Indústria alimentícia	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	0,5	Indonésia

Tabela C-1 – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator Impacto	Países
10.1088/1755-1315/278/1/012018	2019	Liquid smoke inhibits growth of pathogenic and histamine forming bacteria on skipjack fillets	Processo Aplicação	Atividade antimicrobiana	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	0,5	Indonésia
10.1088/1755-1315/309/1/012020	2019	Chemical identification of coconut shell liquid smoke	Caracterização	Indústria alimentícia	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	0,5	Indonésia
https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.038	2018	Nanoencapsulation of liquid smoke/thymol combination in chitosan nanofibers to delay microbiological spoilage of sea bass (<i>Dicentrarchus labrax</i>) fillets	Aplicação	Atividade antimicrobiana	Journal of Food Engineering	6,2	Turquia
10.31788/rjc.2018.1123035	2018	Characteristics of liquid smoke from the pyrolysis of durian peel waste at moderate temperatures	Processo Caracterização	N/A	Rasayan Journal of Chemistry	1,3	Indonésia
10.21660/2018.43.3531	2018	A study on the effectiveness of liquid smoke produced from palm kernel shells in inhibiting black pod disease in cacao fruit in vitro	Processo Caracterização Aplicação	Atividade antimicrobiana	International Journal of GEOMATE	0,9	Indonésia Japão
10.21660/2018.47.06109	2018	The effectiveness of liquid smoke produced from palm kernel shells pyrolysis as a natural preservative in fish balls	Processo Caracterização Aplicação	Indústria alimentícia	International Journal of GEOMATE	0,9	Indonésia
10.1088/1742-6596/1120/1/012051	2018	The Study of Liquid Smoke as Substitutions in Coagulating Latex to the Quality of Crumb Rubber	Aplicação	Coagulante	Journal of Physics: Conference Series	0,5	Indonésia

Tabela C-1 – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator Impacto	Países
10.1088/1755-1315/175/1/012020	2018	Pyrolysis of Corncob Waste to Produce Liquid Smoke	Processo	Indústria alimentícia	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	0,5	Indonésia
http://dx.doi.org/10.12962/j23546026.y2019i3.5853	2018	Characterization of Liquid Smoke Bamboo Waste with Pyrolysis Method	Processo Caracterização	N/A	IPTEK Journal of Proceedings Series	0,0	Indonésia
http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.032	2017	Effect of liquid smoking on lipid hydrolysis and oxidation reactions during in vitro gastrointestinal digestion of European sea bass	Aplicação	Estudo de digestão gastrointestinal in vitro	Food Research International	7,4	Espanha
http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.09.001	2017	Impact of lysine and liquid smoke as flavor enhancers on the quality of low-fat Bologna - type sausages with 50% replacement of NaCl by KCl	Aplicação	Indústria alimentícia	Meat Science	7,1	Brasil Espanha
10.1177/2156587216674313	2017	Coconut Shell Liquid Smoke Promotes Burn Wound Healing	Aplicação	Medicina	Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine	2,6	Indonésia
10.1007/s13197-017-2570-3	2017	Use of chitosan coating in increasing the shelf life of liquid smoked Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) fillet	Aplicação	Indústria alimentícia	Journal of Food Science and Technology	1,7	Brasil
https://doi.org/10.21660/2017.37.2734	2017	A preliminary study of the utilization of liquid smoke from palm kernel shells for organic mouthwash	Processo Aplicação Caracterização	Atividade antimicrobiana	International Journal of GEOMATE	0,9	Indonésia Japão

Tabela C-1 – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator Impacto	Países
10.1088/1757-899X/206/1/012050	2017	Antimicrobial activity of coconut shell liquid smoke	Aplicação	Atividade antimicrobiana	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	0,5	Indonésia
10.21776/ub.jitek.2017.012.02.3	2017	The Influence of Liquid Smoke on the Chemical Characteristics of Salted Egg	Aplicação	Indústria alimentícia	Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak (JITEK)	0,0	Indonésia China
http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.007	2016	Antimicrobial and antioxidant activity of liquid smoke and its potential application to bacon	Aplicação	Atividade antimicrobiana	Innovative Food Science and Emerging Technologies	7,1	Brasil
http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.027	2016	Antimicrobial and physicochemical characterization of whey protein concentrate edible films incorporated with liquid smoke	Caracterização Aplicação	Indústria alimentícia	LWT - Food Science and Technology	6,1	Argentina
10.1111/1750-3841.13282	2016	Using Liquid Smoke to Improve Mechanical and Water Resistance Properties of Gelatin Films	Processo Caracterização Aplicação	Indústria alimentícia	Journal of Food Science	3,2	China Canadá
10.3923/jeasci.2016.2583.2587	2016	Pyrolysis of oil Palm Kernel Shell into liquid smoke and its application to control anthracnose disease on Chili (<i>Capsicum annum L</i>)	Processo Aplicação	Atividade antimicrobiana	Journal of Engineering and Applied Sciences	0,9	Indonésia Japão
http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/89	2016	Characterization of Liquid Smoke from Coconut Shell as a Natural Pesticide for Hexamitodera Semivelutinia Beetle on Clove Trees	Processo Caracterização Aplicação	Pesticida	International Journal of Applied Chemistry	0,1	Indonésia

Tabela C-1 – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator Impacto	Países
10.1016/j.aqpro.2016.07.003	2016	Antimicrobial Activity of Microencapsulation Liquid Smoke on Tilapia [Oreochromis Niloticus (Linnaeus, 1758)] Meat for Preservatives in Cold Storage ($\pm 5\text{ C}^\circ$)	Processo Aplicação	Indústria alimentícia	Aquatic Procedia	0,0	Indonésia
10.1016/j.aqpro.2016.07.013	2016	Changes of Amino Acids and Quality in Smoked Milkfish [Chanos chanos (Forsk. 1775)] Processed by Different Redestilation Methods of Corncob Liquid Smoke	Aplicação	Indústria alimentícia	Aquatic Procedia	0,0	Indonésia
10.18517/ijaseit.5.2.503	2015	Applications of liquid smoke powder as flavor and food preservative (Case Study: Sponge Cake)	Processo Aplicação	Indústria alimentícia	International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology	0,9	Indonésia
10.1016/j.proche.2015.12.073	2015	Characterization of Iron Metal Corrosion in Liquid Smoke Coagulant	Aplicação	Coagulante	Procedia Chemistry	0,0	Indonésia
http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.041	2014	Characterisation of volatile compounds in a smoke flavouring from rice husk	Caracterização	N/A	Food Chemistry	9,2	Cuba
http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2014.05.008	2014	Antioxidative and antimicrobial activities of liquid smoke nanocapsules using chitosan and maltodextrin and its application on tuna fish preservation	Aplicação	Indústria alimentícia	Food Bioscience	5,3	Indonésia

Tabela C-1 – Fumaça líquida: artigos publicados em revistas estrangeiras

DOI	Ano	Título	Classificação	Aplicação	Revista	Fator Impacto	Países
http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/77151	2014	Application of Liquid Smoke and Chitosan as Natural Preservatives for Tofu and Meatballs	Aplicação	Indústria alimentícia	International Journal of Applied Science and Technology	0,0	Indonésia
https://doi.org/10.1002/fsn3.9	2013	Chemical characterization of commercial liquid smoke products	Caracterização	N/A	Food Science & Nutrition	3,6	EUA
10.4315/0362-028X.JFP-12-368	2013	Refined liquid smoke: A potential antilisterial additive to cold-smoked sockeye salmon (<i>Oncorhynchus nerka</i>)	Aplicação	Indústria alimentícia	Journal of Food Protection	2,7	EUA
10.1016/j.proenv.2013.02.012	2013	Maximizing the Production of Liquid Smoke from Bark of Durio by Studying its Potential Compounds	Processo Caracterização	N/A	Procedia Environmental Sciences	0,8	Indonésia