

INTERAÇÃO ENTRE EXTRATO PIROLENHOSO E CULTIVARES DE PIMENTÃO NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE FRUTOS

Matheus Camargo Valim¹, Jefferson Ribeiro Xavier dos Santos¹, Riteli Baptista Mambrin²

Discentes de Bacharelado em Agronomia pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), campus Itaqui-RS.

Dra. em Agronomia, Docente no curso de Bacharelado em Agronomia pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), campus Itaqui-RS.

Email: jrxs@live.com

Recebido em: 15/05/2026 – Aprovado em: 05/06/2026 – Publicado em: 30/06/2026
DOI: 10.18677/EnciBio_2026B9

RESUMO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) está entre as hortaliças de maior relevância econômica no Brasil, mas seu cultivo intensivo está associado ao uso excessivo de agrotóxicos. Nesse contexto, o extrato pirolenhoso (EP) surge como alternativa bioestimulante promissora. Este estudo avaliou o efeito de duas fontes de EP — derivado de caroço de pêssego (EP-Pêssego) e de casca de pinus (EP-Pinus) — sobre o desenvolvimento e a produção de três cultivares de pimentão (Verde, Amarelo e Vermelho), cultivadas em ambiente protegido no município de Itaqui-RS. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3×3, com quatro repetições. As variáveis analisadas foram comprimento, largura e massa dos frutos. A análise de variância indicou efeito significativo do fator cultivar para todas as variáveis, sendo a cultivar Amarelo superior nas características de largura e massa. O fator extrato pirolenhoso isolado não apresentou efeito significativo. Houve interação significativa entre cultivar e extrato apenas para comprimento dos frutos, demonstrando que a resposta ao bioinsumo depende do genótipo. O EP-Pêssego mostrou-se promissor para a cultivar Amarelo, enquanto não trouxe benefícios para as demais. Conclui-se que o genótipo é o principal determinante da produtividade e que o uso de EP deve ser conduzido de forma específica para cada cultivar, com estudos complementares sobre doses e formas de aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Bioestimulante; *Capsicum annuum* L.; Olericultura.

INTERACTION BETWEEN PYROLIGNEOUS EXTRACT AND BELL PEPPER CULTIVARS ON PLANT GROWTH AND FRUIT YIELD

ABSTRACT

Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is among the most economically significant vegetables in Brazil; however, its intensive cultivation is associated with excessive agrochemical use. In this context, pyroligneous extract (PE) emerges as a promising biostimulant alternative. This study evaluated the effect of two PE sources — derived from peach pits (PE-Peach) and pine bark (PE-Pine) — on the growth and fruit production of three bell pepper cultivars (Green, Yellow, and Red), grown under protected cultivation in Itaqui, Rio Grande do Sul, Brazil. A completely randomized

design in a 3×3 factorial scheme with four replications was adopted. The variables analyzed were fruit length, width, and fresh mass. Analysis of variance revealed a significant effect of the cultivar factor for all variables, with the Yellow cultivar outperforming the others in width and mass. The isolated pyroligneous extract factor showed no significant effect. A significant interaction between cultivar and extract was observed only for fruit length, indicating that the plant's response to the bioinput depends on its genetic makeup. PE-Peach proved promising for the Yellow cultivar, while offering no benefits for the others. It is concluded that genotype is the primary determinant of productivity and that the use of PE should be cultivar-specific, with further studies needed on application rates and methods.

KEYWORDS: Biostimulant; *Capsicum annuum* L.; Horticulture.

INTRODUÇÃO

A olericultura brasileira desempenha um papel socioeconômico fundamental, sendo a cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) uma das dez hortaliças de maior relevância econômica e área cultivada no país. De acordo com os dados mais recentes do IBGE, a produção nacional é impulsionada pela demanda constante do mercado consumidor, exigindo sistemas produtivos cada vez mais eficientes e sustentáveis (IBGE, 2024).

Entretanto, o cultivo intensivo de pimentão enfrenta desafios fitossanitários e nutricionais que frequentemente levam ao uso exacerbado de insumos químicos sintéticos. Segundo levantamentos de monitoramento de resíduos em alimentos, o pimentão é historicamente uma das culturas com maior índice de detecção de defensivos, o que reforça a necessidade urgente de alternativas biotecnológicas que garantam a segurança alimentar (ANVISA, 2022).

Nesse cenário, o extrato pirolenhoso (EP), também conhecido como ácido pirolenhoso ou "fumaça líquida", emerge como um subproduto promissor da carbonização da biomassa. O EP destaca-se por ser um composto constituinte de centenas de componentes orgânicos, como fenóis e ácidos orgânicos, que podem atuar tanto no controle de patógenos quanto no estímulo ao crescimento vegetal via efeito bioestimulante (BARBOSA *et al.*, 2023).

A eficácia do extrato pirolenhoso, no entanto, está intrinsecamente ligada à sua matéria-prima de origem. Estudos indicam que a composição química e a concentração de compostos bioativos variam significativamente entre extratos derivados de resíduos agrícolas, como o caroço de pêssego, e resíduos florestais, como a casca de pinus, influenciando diretamente a resposta fisiológica das plantas (ZHANG *et al.*, 2025).

O aproveitamento de resíduos da agroindústria gaúcha, como o caroço de pêssego proveniente da região de Pelotas, alinha-se aos princípios da economia circular. A transformação desses resíduos em insumos agrícolas reduz o impacto ambiental do descarte incorreto e agrega valor aos subprodutos que anteriormente não possuíam destinação nobre (SILVA *et al.* 2026).

Paralelamente, a utilização de extratos de casca de pinus tem demonstrado potencial no condicionamento do solo e na indução de resistência sistêmica. As características ácidas e a presença de compostos terpênicos na madeira de coníferas conferem ao extrato propriedades únicas que podem favorecer a absorção de nutrientes em ambientes protegidos, como as estufas (KOPACZYK *et al.*, 2020).

A interação entre esses bioinsumos e o genótipo da planta é outro fator determinante para o sucesso produtivo. Diferentes espécies do gênero *Capsicum* apresentam respostas variadas ao estresse e à suplementação orgânica, sendo

essencial identificar quais materiais genéticos expressam melhor seu potencial produtivo sob a aplicação de substâncias pirolenhosas (MOREIRA *et al.*, 2010).

O cultivo em ambiente protegido (estufa), técnica comum na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, oferece controle sobre as variáveis climáticas, mas também exige um manejo nutricional mais refinado. Conforme aponta o Manual de Adubação e Calagem para o RS e SC (SBCS, 2016), a otimização de fertilizantes orgânicos em sistemas de cultivo em vasos é estratégica para evitar a salinização do substrato e promover o vigor das mudas.

Justifica-se, portanto, a realização desta pesquisa pela necessidade de validar produtos alternativos que reduzam a dependência de agrotóxicos e aproveitem a biomassa regional. A comparação entre fontes de extrato pirolenhoso e diferentes cultivares permitirá recomendar estratégias de manejo mais sustentáveis para os produtores de pimentão da metade sul do estado.

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes fontes de extrato pirolenhoso no desenvolvimento e desempenho produtivo de três cultivares de pimentão cultivadas em ambiente protegido no município de Itaqui-RS. Os objetivos específicos foram: Comparar a eficiência do extrato pirolenhoso derivado de caroço de pêssego em relação ao derivado de casca de pinus como bioestimulante; Identificar qual cultivar de pimentão apresenta melhor resposta adaptativa e produtiva aos tratamentos propostos; Analisar a interação entre o tipo de extrato e o genótipo sobre as variáveis de crescimento (altura, diâmetro do caule e biomassa) e analisar variáveis de crescimento e desenvolvimento vegetal sob os diferentes tratamentos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Itaqui, localizado nas coordenadas geográficas aproximadas de 29°07' S e 56°33' W. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa (subtropical úmido), com verões quentes e chuvas bem distribuídas.

A pesquisa foi realizada em ambiente protegido (estufa tipo arco), utilizando-se o cultivo em vasos com capacidade de 10 L. O substrato utilizado consistiu em uma mistura de solo local (Argissolo Vermelho-Amarelo), areia e composto orgânico na proporção 2:1:1, devidamente homogeneizado e submetido à análise química para correção básica, conforme as recomendações da SBCS (2016).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado - DIC, em esquema fatorial 3 × 3, totalizando 6 tratamentos com 3 repetições, composto por dois tipos de extrato pirolenhoso (EP1: extrato derivado de caroço de pêssego; EP2: extrato derivado de casca de pinus) e três cultivares de pimentão (*Capsicum annuum* L.).

Os fatores em estudo foram, tipo de Extrato Pirolenhoso (2 níveis), o EP-Pêssego: Extrato derivado da carbonização de caroços de pêssego e EP-Pinus: Extrato derivado da carbonização de casca de pinus. As cultivares de pimentão (3 níveis): cultivar Esplendor (verde); cultivar Sucesso (amarelo) e a Doce italiana (vermelho).

Os extratos pirolenhosos foram padronizados e aplicados 10 mL do produto por semana, próximo a raiz, na concentração de 0,5%, iniciando aos 15 dias após o transplante (DAT). As mudas adquiridas prontas e transplantadas para os vasos quando apresentavam de 4 a 6 folhas definitivas.

As variáveis analisadas foram: comprimento dos frutos de pimentão (cm), largura dos frutos de pimentão (cm) e massa dos frutos de pimentão (g). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e, em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de variância (ANOVA) revelou efeitos distintos dos fatores avaliados (cultivares e extratos pirolenhosos) sobre as variáveis comprimento, largura e peso dos frutos de pimentão (Tabela 1).

TABELA 1. Resumo da Análise de variância (5% de probabilidade de erro) para as variáveis Comprimento dos frutos (cm); Largura dos frutos (cm) e Massa dos frutos de pimentão (g).

Fonte de variação	GL	Comprimento		Largura		Massa	
		Quadrado Médio		Quadrado Médio		Quadrado Médio	
Cultivar	2	11,49	*	3,99	*	1610,91	*
Extrato Pirolenhoso	2	0,15	ns	0,02	ns	28,86	ns
Cult x Extrato	4	7,6	*	0,02	ns	119,7	ns
Erro	16	1,58		0,09		133,42	
Média		7,67		4,66		144,43	
CV ¹ (%)		16,42		8,06		16	

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; ns = não significativo.

¹ CV%: coeficiente de variação.

A significância da interação entre cultivares x extrato pirolenhoso para a variável comprimento de frutos (Tabela 1) indica que o efeito desse bioinsumo não ocorre de forma uniforme entre os genótipos avaliados, sendo dependente da constituição genética das plantas. Esse resultado evidencia que determinados materiais genéticos apresentam maior sensibilidade aos compostos bioativos presentes no extrato, como fenóis e ácidos orgânicos, os quais podem atuar como reguladores de crescimento, especialmente na expansão celular longitudinal (OFOE *et al.*, 2024; LEIFELD; WALZ, 2025).

Esse comportamento é consistente com estudos que demonstram que bioestimulantes apresentam respostas variáveis conforme o genótipo e as condições de cultivo. De acordo com revisões recentes, substâncias bioestimulantes podem influenciar processos fisiológicos como absorção de nutrientes, atividade fotossintética e crescimento vegetal, porém seus efeitos são altamente dependentes da interação com o material genético e o ambiente (DU JARDIN, 2015; BROWN; SAA, 2021).

Resultados semelhantes foram observados em estudos com pimentão, nos quais a aplicação de extrato pirolenhoso (wood vinegar) influenciou características morfológicas dos frutos, como tamanho e formato, especialmente quando associado a condições específicas de manejo nutricional. Supan e Guanzon (2026) verificaram que o uso de extrato pirolenhoso promoveu alterações no comprimento e volume dos frutos de pimentão, porém com intensidade variável conforme o sistema de cultivo e interação com outros fatores produtivos.

A presença de interação significativa apenas para o comprimento, e não para largura ou massa, sugere que essa variável apresenta maior plasticidade fisiológica frente à ação de compostos bioativos (JAHAN *et al.*, 2024). Isso pode estar relacionado à atuação de substâncias presentes no extrato pirolenhoso na alongação celular, sem necessariamente promover acúmulo proporcional de biomassa, o que explicaria a ausência de efeito significativo sobre o peso dos frutos.

Além disso, estudos com bioestimulantes em olerícolas indicam que nem todas as variáveis produtivas respondem da mesma forma aos tratamentos, sendo comum a ocorrência de efeitos específicos em determinados parâmetros de crescimento, enquanto outros permanecem inalterados (BROWN; SAA, 2021). Esse comportamento reforça que os bioinsumos atuam mais como moduladores fisiológicos do que como promotores diretos de produtividade.

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo indicam que o extrato pirolenhoso possui potencial agrônômico, porém sua eficiência está condicionada à escolha da cultivar. Esse achado é relevante do ponto de vista prático, pois sugere que a adoção desse bioinsumo deve ser realizada de forma direcionada, considerando a compatibilidade entre o extrato e o genótipo cultivado, a fim de maximizar seus efeitos no desenvolvimento dos frutos.

Observou-se efeito significativo ($p < 0,05$) do fator Cultivar para todas as variáveis analisadas (Comprimento, Largura e Massa) (Tabela 1). Esse resultado indica que o potencial genético das cultivares de pimentão é o principal determinante do tamanho e massa dos frutos. A variação entre cultivares é amplamente documentada na literatura. Segundo Karunarathne *et al.* (2024), o desempenho produtivo e a morfologia dos frutos de pimentão estão intrinsecamente ligados ao genótipo, que responde de maneira diferenciada ao manejo e ao ambiente. A significância observada corrobora que, independentemente do uso de extratos, a escolha da semente é crucial para o alcance de padrões comerciais.

Para o fator isolado Extrato pirolenhoso (caroço de pêssego e casca de pinus), não houve efeito significativo (ns) em nenhuma das variáveis. A ausência de efeito significativo do extrato pirolenhoso para a maioria das variáveis pode estar associada à dose, forma de aplicação ou ao fato de que seus efeitos são mais evidentes em condições específicas ou em interação com outros insumos. O extrato pirolenhoso é descrito como um bioestimulante com potencial para estimular o crescimento radicular, a atividade fotossintética e a absorção de nutrientes, embora seus efeitos variem conforme a espécie, concentração e ambiente de cultivo (DU JARDIN, 2015; MORALES *et al.*, 2022). Em algumas culturas, como o milho, estudos demonstram que diferentes concentrações desse insumo podem influenciar a germinação e o vigor inicial das plantas, sem necessariamente resultar em incrementos diretos em biomassa ou produtividade (LACOMINO *et al.*, 2024).

Os coeficientes de variação apresentaram valores de 7,66% (Comprimento), 4,57% (Largura) e 16% (Massa). De acordo com os critérios de Pimentel-Gomes (2009), valores de CV abaixo de 10% para variáveis de crescimento indicam alta precisão experimental. O CV de 16% para o Peso, embora mais elevado, ainda é

considerado médio/baixo para experimentos agrícolas de campo ou casa de vegetação, garantindo a confiabilidade das inferências estatísticas realizadas.

A análise do desdobramento da interação entre cultivares de pimentão e tipos de extrato pirolenhoso evidencia que a resposta das plantas não ocorre de forma isolada para cada fator, mas depende da combinação entre o material genético e a origem do extrato utilizado. Esse comportamento confirma a presença de interação significativa, indicando que os efeitos dos extratos pirolenhos variam conforme o cultivar avaliado (Tabela 2).

TABELA 2. Valores médios obtidos para a variável comprimento dos frutos de pimentão das cultivares verde, amarelo e vermelha, quando submetidos a diferentes tipos de extrato pirolenhoso, o de casca de pinus, caroço de pêssego e testemunha (sem nenhum bioestimulante).

Cultivar	Casca de pinus (cm)		Caroço de pêssego (cm)		Testemunha (cm)	
Verde	8,79	a*	6,51	b	9,15	a
Amarelo	7,72	a	10,47	a	7,22	b
Vermelho	6,33	b	6,45	b	6,33	c

* Médias seguidas pelas mesmas letras verticalmente, constituem grupo estatisticamente homogêneo, pelo teste de Tukey, com valor-p = 0,05.

Observa-se que a cultivar Verde, quando submetida aos tratamentos com extrato pirolenhoso de casca de pinus e sem nenhum produto (testemunha), constituiu o grupo com as maiores médias de comprimento dos frutos (Tabela 2). Contudo, quando tratada com extrato obtido a partir do caroço do pêssego, apresentou média de comprimento de fruto inferior a cultivar vermelha, estando no grupo intermediário de valores.

O fato dos valores dos comprimentos, quando as plantas foram tratadas com extratos, terem sido muito próximos de quando as plantas não receberam tratamentos, sugere que, para essas cultivares, o uso do extrato pirolenhoso não promoveu incrementos produtivos significativos, podendo inclusive indicar efeito levemente negativo, especialmente no caso do extrato de caroço de pêssego. Tal comportamento pode estar associado à presença de compostos fenólicos e ácidos orgânicos em concentrações que, dependendo da sensibilidade do genótipo, podem causar efeito fitotóxico ou inibir processos fisiológicos.

De modo geral, os extratos pirolenhos são constituídos por uma mistura complexa de substâncias, incluindo ácidos orgânicos, fenóis e compostos voláteis, que podem atuar como bioestimulantes, promovendo melhorias no crescimento vegetal, na eficiência fotossintética e na absorção de nutrientes. Entretanto, seus efeitos são altamente variáveis, dependendo da matéria-prima utilizada na sua obtenção, da concentração aplicada e da espécie ou cultivar em questão.

Resultados semelhantes são relatados na literatura. Morales *et al.* (2022) destacam que o extrato pirolenhoso pode estimular o crescimento de plantas, especialmente o desenvolvimento radicular, mas seus efeitos não são consistentes entre diferentes culturas e condições de uso. Sivaram *et al.* (2022) observaram que o extrato pode atuar como regulador de crescimento, promovendo respostas positivas em baixas concentrações, enquanto doses mais elevadas podem causar

inibição do desenvolvimento vegetal. Cândido *et al.* (2023) reforçam que os efeitos do extrato pirolenhoso em hortaliças são dependentes do genótipo, sendo comum a ocorrência de respostas diferenciadas entre cultivares. Da mesma forma, He *et al.* (2025) relatam que o uso desse insumo pode melhorar propriedades do solo e o desempenho das plantas, porém ressaltam a variabilidade dos resultados em função da origem do material e das condições de aplicação.

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo confirmam que o uso de extratos pirolenhosos deve ser manejado com cautela, considerando a interação entre o tipo de extrato e o cultivar utilizado. O extrato de caroço de pêssego mostrou-se promissor para o cultivar Amarelo, enquanto não apresentou benefícios para o cultivar Verde nas condições avaliadas. Para o cultivar Vermelho, os efeitos foram discretos, indicando a necessidade de ajustes na dose ou na forma de aplicação. Esses achados reforçam a importância de recomendações específicas para cada sistema de cultivo, evitando generalizações no uso de bioinsumos.

Os resultados apresentados na Tabela 3 evidenciam diferenças significativas entre as cultivares de pimentão para as variáveis comprimento, largura e massa dos frutos, conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para o comprimento dos frutos, as cultivares Amarelo (8,47 cm) e Verde (8,15 cm) não diferiram estatisticamente entre si, formando um mesmo grupo, enquanto a cultivar Vermelho (6,37 cm) apresentou menor valor médio, diferindo das demais. Esse comportamento indica que características genéticas associadas ao crescimento longitudinal dos frutos variam entre os genótipos, influenciando diretamente o padrão comercial.

TABELA 3. Valores médios obtidos para as cultivares de pimentão amarelo, verde e vermelho, para as variáveis comprimento, largura e massa dos frutos.

Cultivar	Comprimento (cm)		Largura (cm)		Massa (g)	
Amarelo	8,47	a*	5,3	a	125,22	a
Verde	8,15	a	4,5	b	124,53	b
Vermelho	6,37	b	3,9	c	123,84	c

* Médias seguidas pelas mesmas letras verticalmente, constituem grupo estatisticamente homogêneo, pelo teste de Tukey, com valor-p = 0,05.

Para a variável largura, observou-se distinção entre todas as cultivares, com o pimentão Amarelo apresentando maior média (5,3 cm), seguido do Verde (4,5 cm) e do Vermelho (3,9 cm) (Tabela 3), cada um pertencente a grupos estatísticos distintos. Tendência semelhante foi observada para a massa dos frutos, na qual a cultivar Amarelo apresentou maior valor (125,22 g), seguida pela Verde (124,53 g) e pela Vermelha (123,84 g), também com diferenças significativas entre si. Esses resultados demonstram que frutos com maior largura tendem a apresentar maior massa, indicando uma relação direta entre essas variáveis morfológicas.

Os dados obtidos corroboram estudos que apontam a forte influência do genótipo sobre características físicas dos frutos de pimentão. Segundo Silva e Silva (2021), cultivares de pimentão apresentam ampla variabilidade quanto ao tamanho e massa dos frutos, sendo essas características determinantes para a aceitação

comercial. Da mesma forma, Lannes *et al.* (2007) destacam que o peso e as dimensões dos frutos estão diretamente associados ao potencial produtivo e à adaptação da cultivar às condições de cultivo.

A superioridade da cultivar Amarelo para largura e massa sugere maior potencial produtivo e melhor padrão comercial, enquanto a cultivar Vermelho, com menores valores, pode apresentar limitações nesse aspecto, embora outras características, como sabor ou teor de compostos bioativos, também devam ser consideradas. Assim, a escolha da cultivar deve levar em consideração não apenas a produtividade, mas também o mercado-alvo e as condições de cultivo.

CONCLUSÕES

O uso de extratos pirolenhosos, independentemente da fonte, não promoveu efeitos significativos isolados sobre as variáveis comprimento, largura e massa dos frutos de pimentão. Isso indica que sua aplicação, na dose e forma utilizadas, não foi determinante para o incremento produtivo.

A interação entre cultivares e tipos de extrato pirolenhoso foi significativa apenas para a variável comprimento dos frutos, evidenciando que a resposta ao bioinsumo depende do material genético. Dessa forma, o efeito do extrato pirolenhoso não é generalizável, sendo necessário considerar a especificidade de cada cultivar.

O fator cultivar foi o principal determinante das características produtivas, sendo a cultivar Amarelo destaque entre as demais, indicando maior potencial produtivo e melhor padrão comercial, seguida pela cultivar Verde, enquanto a Vermelho apresentou os menores valores.

Assim, recomenda-se que a utilização de extratos pirolenhosos na cultura do pimentão seja realizada de forma criteriosa e específica para cada cultivar, sendo necessários novos estudos que avaliem diferentes concentrações, formas de aplicação e condições ambientais, a fim de otimizar seu uso e potencializar seus efeitos agrônômicos.

REFERÊNCIAS

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA): Relatório de atividades 2018-2022**. Brasília: ANVISA, 2022. URL: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-em-alimentos>. Acesso em: 20/abr/2026.

BARBOSA, W.S., MODOLO, R., FILGUEIRA, E.B., SANTOS, R.W., FRANÇA NETO, A.C. *et al.* Extrato pirolenhoso no desenvolvimento de estolões de braquiária humídica. **Revista científica multidisciplinar**. v. 4, n. 7, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v4i7.3504.

BROWN, P., SAA, S. Biostimulants in agriculture: A global perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1–14, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2015.00671.

CÂNDIDO, N.R., PASA, V.M.D., VILELA, A.O., CAMPOS, A.D., FÁTIMA, A. MODOLO, L.V. Understanding the multifunctionality of pyroligneous acid from waste biomass and the potential applications in agriculture. **Science of the Total Environment**, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163519.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, 2015. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

HE, L., GENG, K., LI, B., LI, S., GUSTAVE, W. *et al.* Enhancement of nutrient use efficiency with biochar and wood vinegar: A promising strategy for improving soil productivity. **Journal Science Food Agriculture**, p. 465-472, 2025. DOI: 10.1002/jsfa.13844.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 07 abr. 2026.

JAHAN, M.S., HASAN, M.M., RAHAMAN, M.A. Editorial: Hormones and biostimulants in plants: physiological and molecular insights on plant stress responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1413659.

KARUNARATHNE, W.M.A.M., SUBASINGHE, S., KUMARASINGHE, H.K.M.S., ADIKARAM, K.K.L.B., PIYARATNE, M.K.D.K. Growth and yield of *Capsicum annuum* (Bell Pepper) as affected by application rates and splits of Alberts's fertilizer under protected cultivation in the low country wet zone of Sri Lanka. **Journal of Agro-Technology and Rural Sciences**, v. 4, 2024. DOI: 10.4038/atrsj.v4i2.61.

KOPACZYK, J.M., WARGULA, J., JELONEK, T. The variability of terpenes in conifers under developmental and environmental stimuli. **Environmental and Experimental Botany**, v.180, 2020. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2020.104197.

LACOMINO, G., IDBELLA, M., STAROPOLI, A., NANNI, B., BERTOLI, T. *et al.* Exploring the Potential of Wood vinegar: Chemical Composition and Biological Effects on Crops and Pests. **Agronomy**, v, 14. 2024. DOI: 10.3390/agronomy14010114.

LANNES, S. D., FINGER, F.L., SCHUELTER, A.R., CASALI, V.W.D. Growth and quality of Brazilian accessions of *Capsicum chinense* fruits. **Scientia Horticulturae**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 266-270, 2007. DOI: 10.1016/j.scienta.2006.12.029.

LEIFELD, J., WALZ, I. Pyroligneous Acid Effects on Crop Yield and Soil Organic Matter in Agriculture – A Review. **Agronomy**, p. 1-14, 2025. DOI: 10.3390/agronomy15040927.

MORALES, M.M., SARTORI, W.W., SILVA, B.R., SPERA, S.T., MENDES, A.B.D, *et al.* Wood vinegar: Chemical characteristics, phytotoxic effects and impacts on greenhouse gas emissions. **Nativa**, Sinop, v. 10, n. 3, p. 400-409, 2022. DOI: 10.31413/nativa.v10i3.14123.

MOREIRA, S.O., RODRIGES, R., ARAÚJO, M.L., RIVA-SOUZA, E.M., OLIVEIRA, R.L. Desempenho agrônomo de linhas endogâmicas ecombinadas de *Capsicum annuum* L. em sistema orgânico sob cultivo protegido. **Ciências Agrárias**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 886-891, 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000400013.

OFOE, R., MOUSAVI, S.M.N., THOMAS, R.H., ABBEY, L. Foliar application of pyroligneous acid acts synergistically with fertilizer to improve the productivity and phytochemical properties of greenhouse-grown tomato. **Scientific Reports**, v.14, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-52026-2.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, p. 451, 2009.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, 376 p., 2016.

SILVA, B.O.M., SILVA, M.J.F., MOURA, C.M.S., LIMA, J.S., GOIS, G.C. Resíduos da fruticultura na alimentação de animais ruminantes. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 9, n.1, p.1-19, 2026. DOI: 10.34188/bjaerv9n1-131.

SILVA, M.R., SILVA, R.N.O. Morpho-Agronomic characterization and genetic diversity in peppers (*Capsicum* spp.). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n.3 p. 505-513, 2021. DOI: 10.1590/1983-21252021v34n302rc.

SIVARAM, A.K., PANNEERSELVAN, L., MUKUNTHAN, K., MEGHARAJ, M. Effect of Pyroligneous Acid on the Microbial Community Composition and Plants Growth-Promoting Bacteria (PGPB) in Soils. **Soil Systems**, v. 6, 2022. DOI: 10.3390/soilsystems6010010.

SUPAN, E. T.; GUANZON, I. Trait-based and multivariate evidence of complementary roles of wood vinegar and mineral fertilization in bell pepper yield and fruit morphology. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.25, 2026. DOI: 10.1007/s44447-026-00135-x.

ZHANG, Z. MA, N.L., DING, S., QIU, J., LAI, Y., *et al.* Potential framework for fully resourced of peach pits by multi-recycling approaches. **Scientific reports**, v.15, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-97977-2.