

Ácidos carboxílicos produzidos a partir do reaproveitamento de lignina kraft industrial para produção de bioinsumos: uma análise patentométrica
Carboxylic acids produced from the reuse of industrial kraft lignin for the production of bio-inputs: a patentometric analysis

Douglas Rodrigues Mendes

Embrapa Agroenergia. Brasília, DF, Brasil.

Sérgio Saraiva Nazareno dos Anjos

Embrapa Agroenergia. Brasília, DF, Brasil.

Larissa Andreani

Embrapa Agroenergia. Brasília, DF, Brasil.

Clenilson Martins Rodrigues

Embrapa Agroenergia. Brasília, DF, Brasil.

GT3 - Evolução, estrutura, competitividade e dinâmica das cadeias agroindustriais

Resumo: A lignina é uma alternativa promissora para a substituição de derivados de petróleo para obtenção de insumos industriais renováveis, como os bioinsumos para uso na agricultura. Processos de obtenção de bioinsumos a partir de resíduos vegetais está alinhado a ações de descarbonização na agroindústria brasileira e de promoção à sustentabilidade dos sistemas agrícolas. O objetivo deste estudo é apresentar as tendências tecnológicas associadas à produção de ácidos carboxílicos por solvólise catalítica da lignina kraft para identificar avanços e oportunidades no mercado de bioinsumos. A área tecnológica que mais se destacou foi “química orgânica” com aplicações para “biocidas (pesticidas e herbicidas)”, “atividade de compostos químicos ou preparações de biocidas” e “fertilizantes”. O estudo aponta sinais de emergência para obtenção de ácidos carboxílicos a partir da desconstrução de lignina kraft para produção de bioinsumos, cujos resultados fomentarão ações de desenvolvimento tecnológico com maior tendência de conexão com o mercado e potencial de patenteabilidade.

Palavras-chave: Resíduos agroflorestais. Bioinsumos. Biofertilizantes. Biocidas.

Abstract: Lignin is a promising alternative for replacing petroleum derivatives in the production of renewable industrial inputs, such as bio-inputs for use in agriculture. Processes for obtaining bio-inputs from plant waste are aligned with decarbonization efforts in the Brazilian agro-industry and the promotion of the sustainability of agricultural systems. The objective of this study is to present the technological trends associated with the production of carboxylic acids by catalytic solvolysis of kraft lignin to identify advances and opportunities in the bio-input market. The technological area that stood out the most was "organic chemistry" including "biocides (pesticides and herbicides)", "activity of chemical compounds or preparations of biocides" and "fertilizers". The study points to emerging signs for obtaining carboxylic acids from the deconstruction of kraft lignin to produce bio-inputs, the results of which will foster technological development actions with a greater tendency to connect with the market and patentability potential.

Keywords: Agroforestry residues. Bio-inputs. Biofertilizers. Biocides.

1. Introdução

A conexão do agronegócio com a sustentabilidade ambiental é uma das forças motrizes para o desenvolvimento tecnológico para garantir segurança alimentar e segurança energética. Behar (2025) destaca que, para a agricultura sustentável, extensivo à pecuária e à silvicultura, a expansão do uso de bioinsumos é estratégica ao associar competitividade com desenvolvimento sustentável, e estes com agendas transversais com bioeconomia enaltecidos na 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP30).

A química verde é uma abordagem contemporânea da química ao diminuir o uso de produtos de base petroquímica na indústria e fortalecer os sistemas produtivos agrícolas ao agregar valor a coprodutos e resíduos e, portanto, se tornar oportunidades competitivas para novos sistemas de produção e de processamento (VAZ JÚNIOR, 2020). Na busca por insumos industriais renováveis, a lignina surge como uma alternativa promissora para a substituição de derivados de petróleo.

Juntamente com celulose e hemicelulose, a lignina compõe a parede celular vegetal e tem a função de recalcitrância, que promove rigidez e proteção a microrganismos (SILVA et al., 2021). A lignina é uma macromolécula natural presente na biomassa residual lignocelulósica, sendo um coproduto importante da indústria de papel e celulose, sendo usada atualmente combustível em caldeiras para geração de vapor e/ou energia elétrica (BRAGA et al., 2023). A alta relação carbono/oxigênio e a abundância natural de lignina a tornam uma matéria-prima promissora para a conversão biológica em produtos de valor agregado, particularmente por ser subutilizado frente ao seu potencial como fonte de intermediários fenólicos para a indústria química, materiais poliméricos e combustíveis (SILVA et al., 2021; BRAGA et al., 2023).

O objetivo deste estudo é apresentar as tendências tecnológicas associadas à produção de ácidos carboxílicos por solvólise catalítica da lignina kraft, utilizando dados patentométricos para identificar avanços e oportunidades no desenvolvimento de bioinsumos.

2. Revisão da Literatura

A lignina é um biopolímero polifenólico composto por três monômeros principais (álcoois coniferílico, sinapílico e cumarílico), cuja estrutura apresenta alta heterogeneidade em massa molecular e variabilidade de grupos funcionais, características que também conferem potencial antioxidante (Figura 1) (Li et al., 2018; Dhar e Vinu, 2018). A presença de grupos funcionais reativos, como carboxilas, hidroxilas e cetonas, possibilita sua aplicação na produção de materiais para diversos setores industriais (Nascimento et al., 1998; Silva et al., 2009; Dhar e Vinu, 2018; Sternberg et al., 2024).

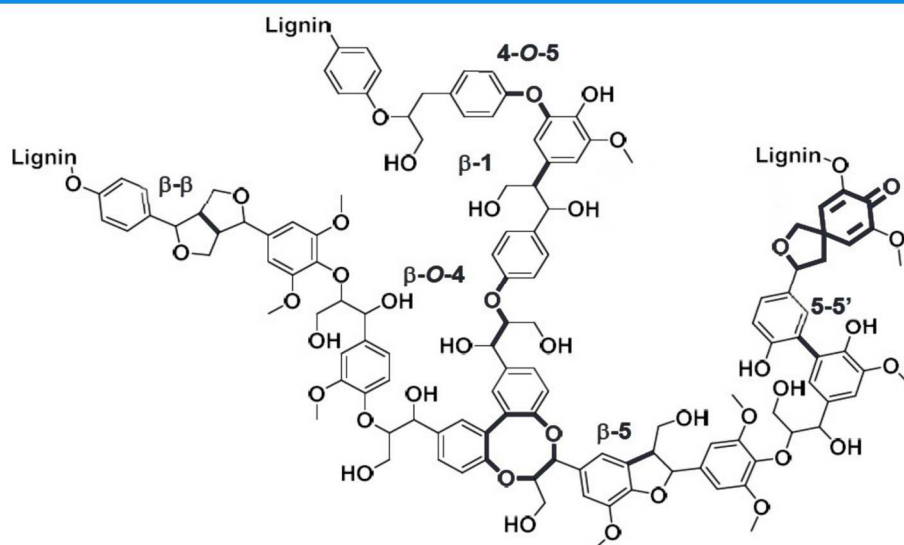


Figura 1. Estrutura polimérica da lignina. Fonte: Sebhat et al., 2021, com adaptações.

A lignina é um recurso natural amplamente disponível, podendo compor até 40% da biomassa vegetal, dependendo da espécie, e é ela que fornece rigidez para a estrutura das plantas. Sua extração ocorre pela dissolução da biomassa em processos químicos de deslignificação levando à obtenção de celulose com elevado grau de pureza e um licor contendo fragmentos de lignina e hemicelulose. Entre os métodos de deslignificação disponíveis, o processo kraft é o mais utilizado (85% do mercado), empregando uma mistura de sulfeto de sódio e hidróxido de sódio a aproximadamente 160°C para dissolver a lignina e a hemicelulose e separar as fibras celulósicas resultando em um líquido escuro, mais conhecido como licor negro, rico em lignina de alta pureza e custo de US\$ 250-364 por tonelada (Schultz, Belém e Braga, 2022; Gupta e Kapoor, 2024; Sternberg et al., 2024).

O processamento e a conversão da lignina na indústria envolvem diversas técnicas, como craqueamento térmico, hidrólise e reações catalíticas de oxidação e redução. Dentre os produtos obtidos, destaca-se a vanilina, um composto aromático amplamente utilizado na agroindústria e na indústria farmacêutica (Dhar e Vinu, 2018). A solvólise da lignina em meio aquoso básico a 200 °C aumenta sua solubilidade, e a associação desse processo ao uso de catalisadores metálicos suportados em óxidos metálicos (como Al₂O₃ e TiO₂) melhora a conversão da lignina, elevando o rendimento na produção de monômeros (Sebhat et al., 2021).

Alinhado a ações de descarbonização na agroindústria brasileira (aumento de estoques de carbono) e de promoção à sustentabilidade dos sistemas agrícolas (qualidade da água e preservação de lençóis freáticos), os bioinsumos representam uma alternativa a produtos de base petroquímica ao conectar sustentabilidade ambiental com estímulo à competitividade no

mercado de insumos agrícolas (ABBUD; CECHIN, 2026). A Lei nº 15.070, de 23/12/2024, apresenta o conceito de bioinsumo:

produto, processo ou tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, incluído o oriundo de processo biotecnológico, ou estruturalmente similar e funcionalmente idêntico ao de origem natural, destinado ao uso na produção, na proteção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários ou nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfira no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos, do solo e de substâncias derivadas e que interaja com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos (BRASIL, 2024, Artigo 2º, inciso II).

Esses produtos, de base biológica e renovável, são alternativas competitivas frente a crises geopolíticas e são opções viáveis a insumos químicos para controle de pragas, fertilidade de solos e nutrição animal e vegetal, em sua maior parte importados e sujeitos a flutuações de mercado (Anjos, 2024; Iwanicki e Delalibera Junior, 2025; Rosales-Castillo et al., 2025; Vaz et al., 2025). Além de substratos biológicos, como microrganismos, ácidos orgânicos carboxílicos são ingredientes estratégicos na formulação de bioinsumos ao atuarem nos processos metabólicos dos agentes biológicos do produto, como a solubilização de fosfatos no solo para regulação de pH e posterior biodisponibilidade (Rocha et al., 2024).

3. Metodologia

Este estudo prospectivo tem caráter exploratório e semiquantitativo a partir de dados de documentos de patente, seguido de análise de sinais descrita por Santos et al. (2022), com o intuito de identificar tendências emergentes e aplicações tecnológicas do aproveitamento da lignina para obtenção de ácidos carboxílicos por meio da solvólise. Os dados foram minerados pelo software VantagePoint.

Análises patentométricas consistem na recuperação, limpeza e mineração de dados em documentos de patente, sejam eles depositados, concedidos ou arquivados. A patentometria analisa tecnologias em estágios mais avançados de PD&I, superando o chamado “Vale da Morte”, e identifica aquelas com potencial de escalonamento e inserção no mercado (Braga, 2022). Este método gera dados que fomentam o desenho de ações estratégicas e competitivas em mercados-alvo, o que fortalece o papel de uma Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação (ICT) para elaboração de projetos, captação de recursos e parcerias (Anjos et al., 2020). Os métodos empregados foram estruturados segundo a metodologia Foresight Diamond, proposta por Popper (2008), a qual combina conhecimento setorial, evidências experimentais, interações multidisciplinares e criatividade para mapear tendências e oportunidades tecnológicas.

O estudo foi conduzido em duas etapas. A primeira etapa focou na caracterização dos ácidos acético, cítrico, malônico, oxálico e succínico (Figura 2). Na segunda, a análise foi ampliada para o termo “ácidos carboxílicos”, sem distinção, enfatizando suas aplicações no setor agrônomo, especialmente em bioinsumos com foco em um pool de ácidos (Figura 3).

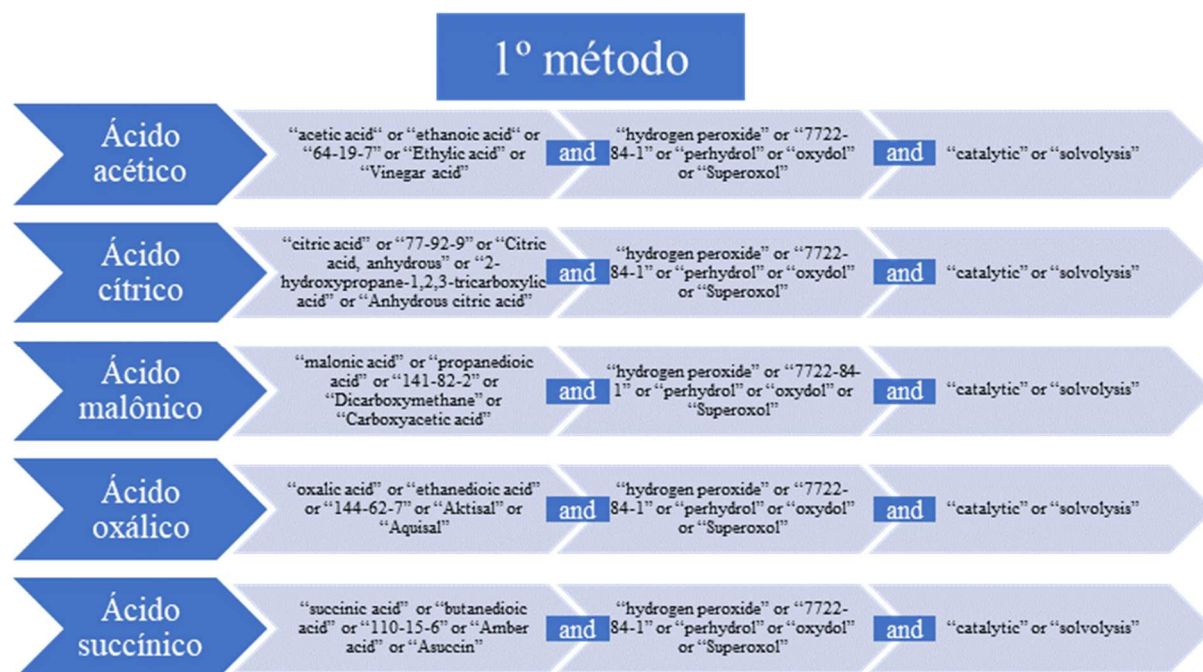


Figura 2. Estratégias de busca utilizadas na primeira etapa. Fonte: Os autores.

Na segunda etapa, as buscas foram divididas em três formas, apresentados na Figura 2:

- 2º método: “Temas relacionados a ácidos carboxílicos e possíveis associações” + “Termos voltados para bioprodutos, bioinsumos e agricultura” + “uso de lignina Kraft”;
- 3º método: “Termos voltados para bioprodutos, bioinsumos e agricultura” + “uso de lignina kraft”;
- 4º método: “Temas relacionados a ácidos carboxílicos e possíveis associações” + “Termos voltados para bioprodutos, bioinsumos e agricultura”, conforme a Figura 2.

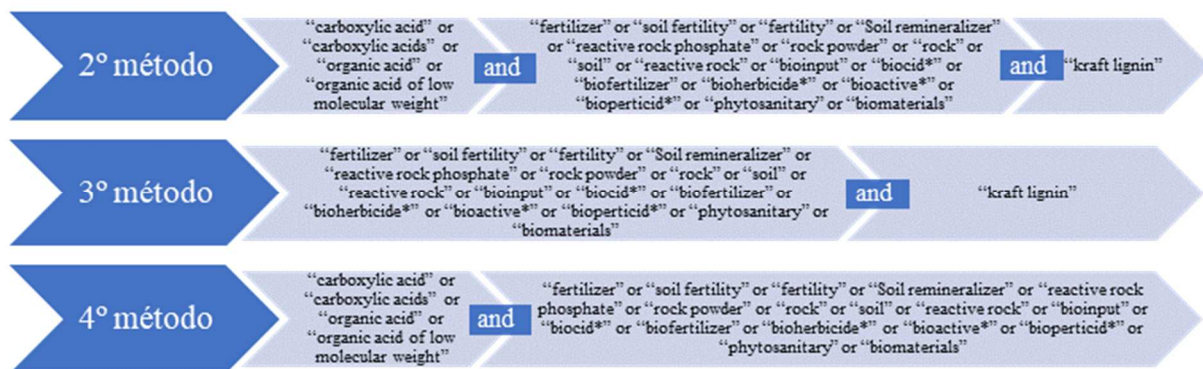


Figura 3: Estratégias de busca utilizadas na segunda etapa. Fonte: Os autores

As buscas foram realizadas na base de dados *Derwent Innovations Index* (DII) e o período definido foi de 10 anos, abrangendo 01 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2021. Considerou-se no escopo temporal o tempo médio de até 18 meses para a publicação de patentes (INPI, 2024) e o fato das pesquisas terem sido realizadas em outubro de 2023 e em março de 2024. Os termos empregados incluíram os sinônimos mais comuns, conforme disponíveis no site pubchem.ncbi.nlm.nih.gov.

Os dados recuperados foram exportados para software VantagePoint 2018, versão 11.0 e plotados em uma planilha eletrônica, conforme apresentado na Figura 4, onde foram realizadas as estruturações dos dados, consolidação das buscas, remoção dos ruídos e duplicidade (mineração dos dados), clusterização e construções de mapas e matrizes de análise.

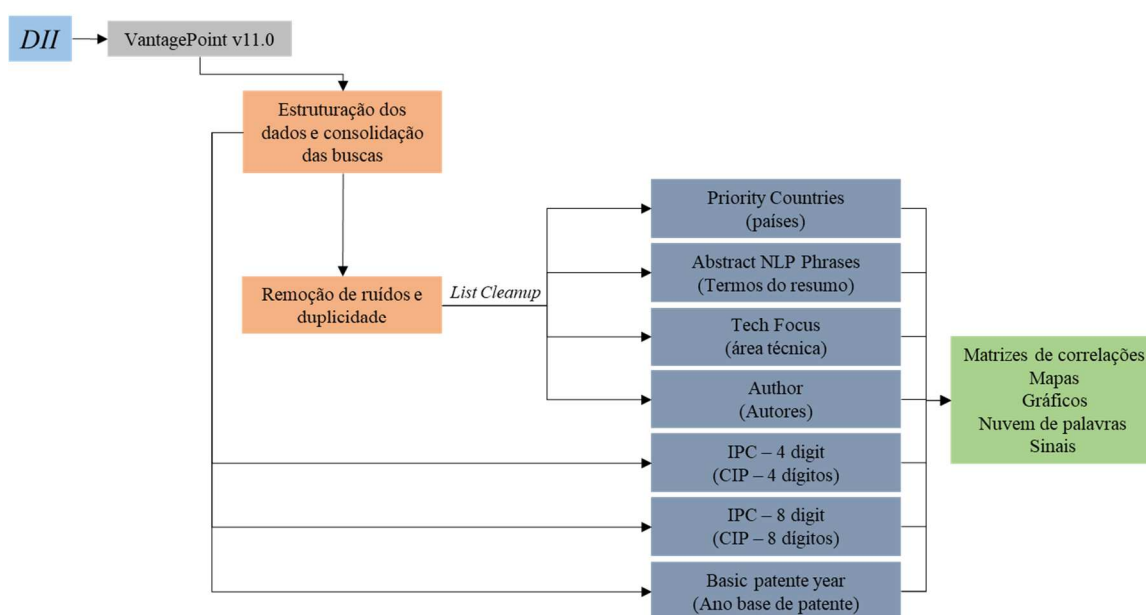


Figura 4 – Fluxograma da análise dos dados patentométricos obtidos pelo DII no programa VantagePoint. Fonte: Os autores

Para compreender as tendências de mercado, foram aplicados os estudos de sinais sobre as 30 principais IPCs (*International Patent Classifications* – Classificação Internacional de Patentes). O estudo de sinais é um mecanismo antecipatório (ou estudo de futuro) que identifica dados e tendências de mercado de forma matemática, utilizando um banco de dados de patentes dentro de um período específico, a partir de uma busca elaborada sobre um tema (Santos et al., 2022).

Os IPCs são códigos alfanuméricos que estão atrelados às patentes. Cada letra, que vai de A a H corresponde a uma seção que envolve uma área de conhecimento específica e os demais números são subclassificações que vão se afunilando conforme o avanço tecnológico. As IPCs são regidas pela organização mundial de propriedade intelectual (OMPI) e foram adotadas pelo Instituto Nacional de Propriedade Intelectual do Brasil e pode ajudar a compreender estatísticas de tendências de mercado e outros marcadores que podem facilitar a compreensão de como as tecnologias e invenções atuam (INPI, 2021).

4. Discussão dos Resultados

Com base no quantitativo total de patentes e nos dados obtidos através dos mecanismos de pesquisa do 1º método, em relação aos ácidos de forma individual, observou-se um maior número de depósitos de patente de ácido acético (397 documentos), com pico no ano de 2020, com 65 depósitos relacionados ao tema e uma queda considerável em 2021. Em menor quantidade, estão os ácidos cítrico (160 documentos), oxálico (134 documentos), succínico (23 documentos) e malônico (19 documentos). Ácido cítrico apresenta tendência mais estável, com 160 documentos e um discreto crescimento de documentos desde 2012, chegando a um pico de 29 em 2019 e 2020 e queda em 2021 para 17. O ácido oxálico apresenta uma leve tendência de crescimento, apresentando no total 134 documentos, ficando entre 15 e 20 documentos nos últimos anos. Os demais ácidos (malônico e succínico) apresentaram poucos documentos (23 e 19, respectivamente), deixando evidente a baixa representatividade de dados ao longo do tempo analisado.

No entanto, mesmo com o potencial de cada ácido isolado numa formulação de bioinsumo para agregar benefícios como os ácidos acético e cítrico para tolerância a estresses abióticos (UTSUMI et al., 2019; TAHJIB-UL-ARIF, et al., 2021), o custo de separação de cada ácido a partir de uma mistura reacional extrato (considerando que o processo de produção gera uma mistura de ácidos) representa 30% a 40% do custo total de obtenção do produto e está sujeito a baixo rendimento no processo final (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2019). Com isso, repetiu-se a busca com os 2º, 3º e 4º métodos de prospecção e recuperação de documentos de

patente sob a perspectiva de um pool de ácidos visando economicidade no processo de extração e obtenção dos ácidos para compor a formulação de um bioinsumo. Assim, as buscas usando as palavras-chaves dos 2º e 3º método recuperaram uma baixa quantidade de documentos (1 e 18, respectivamente). Já o 4º método recuperou 4520 documentos de patentes, sendo este o escolhido para avanço no estudo.

As áreas tecnológicas que mais se destacaram foram as de “química orgânica”, seguido de “química inorgânica” e “agricultura” (Figura 5). A Figura destaca as seis principais áreas com maior ocorrência nas buscas realizadas, e o número em cada vértice indica a frequência de menção dos termos no estudo, sem representar necessariamente o número exato de patentes. Destrinchando a área de “química orgânica”, foi possível identificar as áreas potenciais e principais IPCs associados ao tema.

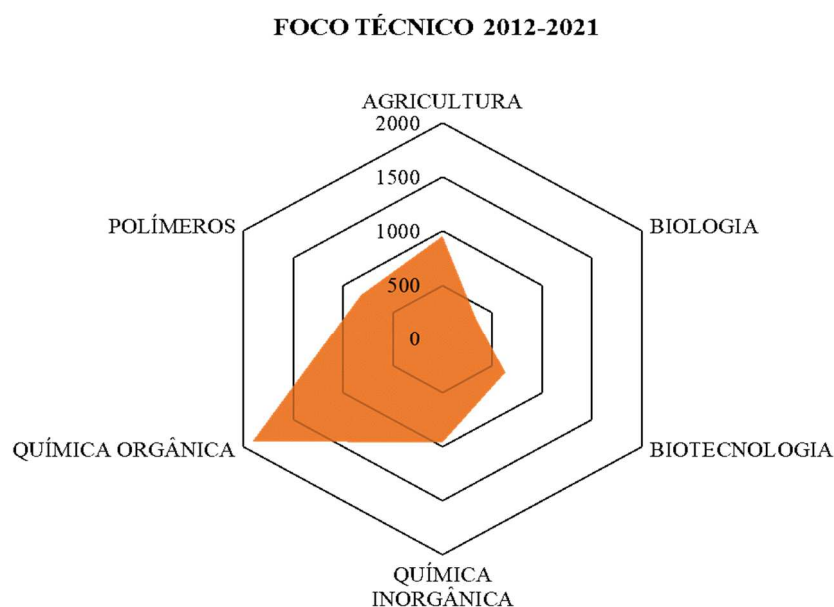


Figura 5 – Distribuição das áreas tecnológicas das patentes relacionadas ao 4º método de busca, no período de 2012 a 2021. Fonte: Os autores

Em uma análise pontual realizada no VantagePoint, correlacionando a área tecnológica mais citada entre as patentes pesquisadas e as principais IPCs, observou-se um direcionamento das tendências de mercado, conforme ilustrado no gráfico de radar (Figura 6). As tendências destacam-se especialmente nas áreas de: Agricultura, com ênfase em “biocidas (pesticidas e herbicidas)” e “atividade de compostos químicos ou preparações de biocidas”. Química, “na subárea de química orgânica de compostos heterocíclicos”, em “corantes, tintas; polidores; resinas naturais e adesivos” e “também na área de fertilizantes e sua fabricação”. A área de “saúde” também é citada, mostrando tendências na área de preparações voltadas para finalidades médicas, odontológicas ou de higiene pessoal.

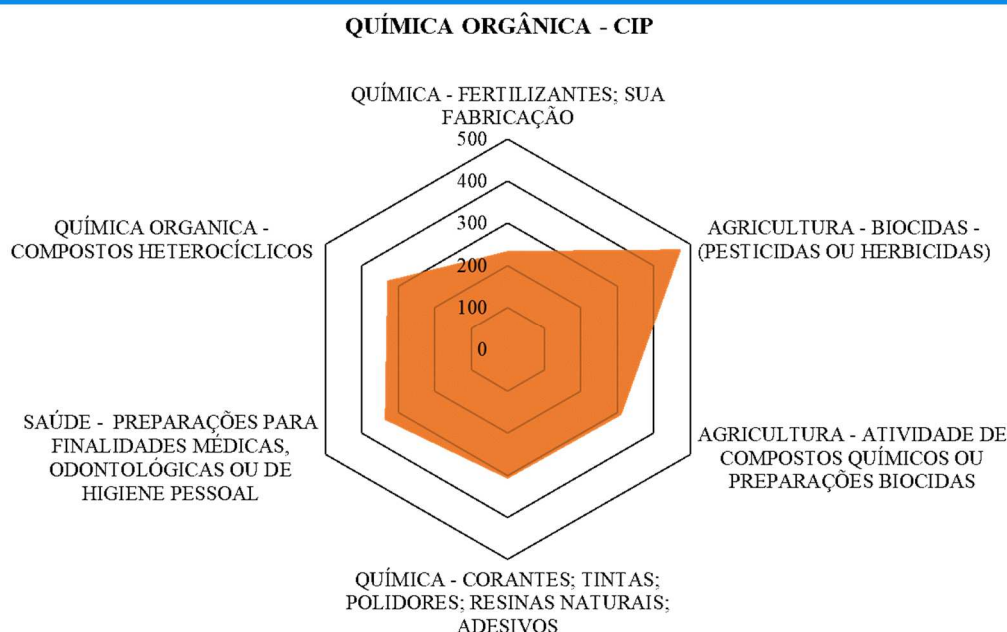


Figura 6 – Distribuição das IPCs dentro da área tecnológica de “química orgânica” A Figura destaca as seis principais IPCs dentro da área. Fonte: Os autores.

As IPCs nas áreas de Agricultura, Química ou áreas correlatas também aparecem no gráfico dos estudos de sinais (Figura 7 e Quadro 1), entre as 30 principais “IPCs de 4 dígitos” mais frequentes. Nas patentes analisadas destacamos com sinais fracos emergentes (A01C, B09C, C04B e C05D) e sinais fortes emergentes (A01G; A01H, C05F, C05G, C09K e C12N).

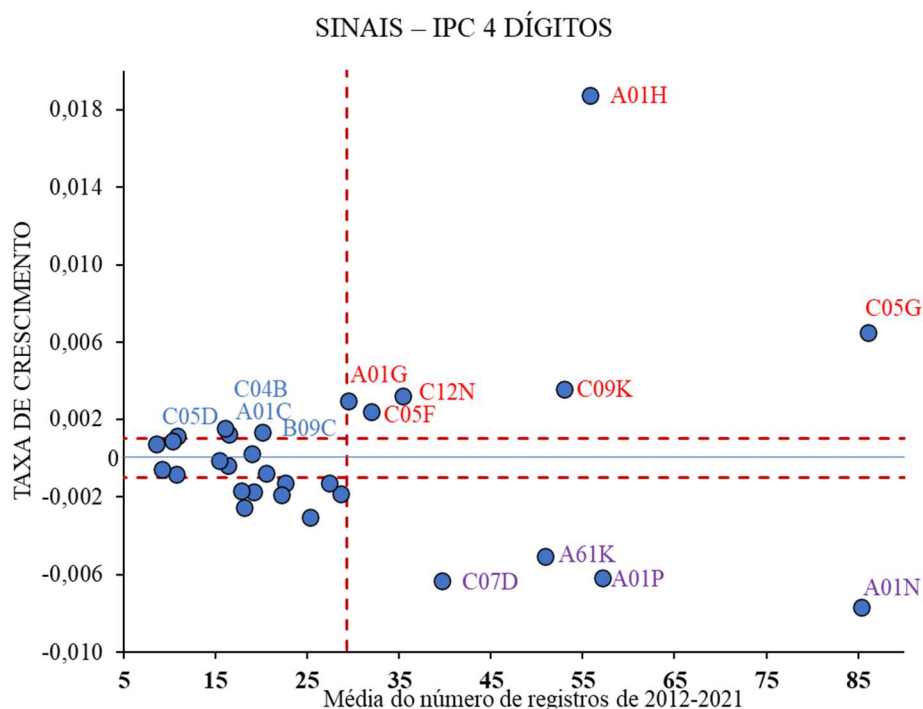


Figura 7 – Gráficos do estudo de sinais baseados nas 30 principais IPCs obtidas pelo 4º método. As representações são: azul, sinais fracos emergentes; em vermelho, sinais fortes emergentes; e em roxo, sinais fortes em declínio. Fonte: Os autores.

Quadro 1: Descrição das IPCs que apresentaram sinais emergentes/crescimento.

IPCs 4 dígitos	SEÇÃO	DESCRIÇÃO
A01C	Agricultura	Plantio; semeadura; fertilização (peças, detalhes ou acessórios de máquinas agrícolas ou implementos em geral).
A01G	Agricultura	Horticultura; cultivo de vegetais, flores, arroz, frutas, vinhas, lúpulos ou algas; silvicultura; irrigação.
A01H	Agricultura	Novas plantas ou processos para obtenção das mesmas; reprodução de plantas por meio de técnicas de cultura de tecidos.
B09C	Separação	Recuperação de solo contaminado (coletores para remoção de pedras e similares do solo; esterilização do solo por meio de vapor; remoção de material indesejável).
C04B	Química	Cal; magnésia; escória; cimentos; suas composições, p. ex. argamassa, concreto ou materiais de construção similares; pedra artificial; cerâmica.
C05D	Química	Fertilizantes inorgânicos não abrangidos pelas subclasses fosfatados e nitrogenados; fertilizantes que produzem dióxido de carbono.
C05F	Química	Fertilizantes inorgânicos não abrangidos pelas subclasses fosfatados e nitrogenados; fertilizantes resultantes do tratamento de lixo ou refugos.
C05G	Química	Misturas de fertilizantes pertencendo individualmente a diversas subclasses da classe c05; misturas de um ou mais fertilizantes com aditivos que não possuem atividade especificamente fertilizante; fertilizantes caracterizados por sua forma.
C09K	Química	Materiais para aplicações diversas, não incluídas em outro local; aplicações de materiais não incluídos em outro local.
C12N	Química	Microrganismos ou enzimas; suas composições; propagação, conservação ou manutenção de microrganismos; engenharia genética ou de mutações; meios de cultura.

Fonte: INPI, 2024.

Segundo Abbud e Cechin (2026), atualmente os bioinsumos compõem um nicho no mercado brasileiro de insumos agrícolas. Com ações de coordenação tecnológica e de regulação definidos, os autores apontam que esses produtos tendem a compor um mercado próprio e competitivo com o de insumos de base petroquímica, sem hegemonia tecnológica e com a possibilidade de hibridização nas carteiras de produtos das indústrias. Nesse cenário, mesmo que um Decreto para regulamentação da Lei nº 15.070/2024 ainda esteja em elaboração, Abbud e Cechin (2026) já estimaram que o agronegócio brasileiro crescerá 8% ao ano até 2034, com crescimento de 5%/ano de insumos químicos e de 33%/ano de bioinsumos.

Assim, associado ao alto potencial de crescimento do mercado nacional de bioinsumos, os resultados apresentados fortalecem a tendência tecnológica na obtenção de ácidos carboxílicos a partir da solvólise da lignina kraft. Tal potencial está ligado à possibilidade de eliminar etapas de separação e isolamento de cada ácido, sendo acético, cítrico, malônico, oxálico e succínico ou outros que possivelmente estejam presentes, associado à perspectiva de diminuir em até 40% o custo de obtenção do bioinsumo, conforme indicado por Magalhães

Júnior et al. (2019). Além disso, há a disponibilidade de pelo menos 20 quilotons por ano de lignina kraft no Brasil e de 112 quilotons por ano no mundo (Correa-Guillen et al., 2025).

5. Considerações finais

O estudo apresenta elementos que indicam que ácidos carboxílicos, gerados a partir da desconstrução de biomassas lignocelulósicas, especialmente os da lignina Kraft, podem ser empregados como bioinsumos, uma temática considerada emergente. Segundo o levantamento patentométrico, esses compostos estão sendo aplicados em tecnologias voltadas para o desenvolvimento de fertilizantes e como agentes de recuperação de solos contaminados, sem especificar quais ácidos carboxílicos compõem o *pool* de ácidos em uma formulação de bioinsumos para agricultura associado à economicidade.

A partir das IPCs indicadas, a próxima etapa será a de aprofundar na análise de mercado de bioinsumos e na execução de estudos de anterioridade para obtenção de pool de ácidos carboxílicos para compor formulações de bioinsumos, de forma a fomentar o direcionamento de produtos obtidos, do seu escalonamento durante o processo de desenvolvimento tecnológico e a definição do produto-alvo. Além disso, os resultados obtidos serão de grande valia para a prospecção de parcerias estratégicas para execução de projetos de desenvolvimento tecnológico sob a perspectiva da inovação aberta.

Referências

ABBUD, J. M.; CECHIN, A. Bio-inputs for agriculture in Brazil: why can't the alternative become mainstream? **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 46, n. 1, p. 203-223, jan./mar. 2026. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/bjpe/article/view/97532/90699>. Acesso em: 3 mar. 2026.

ANJOS, S. S. N. dos. **Análise econômica e de mercado de microalgas para alimentação em aquicultura**: uso de biomassa de *Chlorella sorokiniana* em formulação hipotética de dieta para camarão-branco-do-Pacífico (*Penaeus vannamei*). 2024. 158 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1184526/1/Analise-economica-e-de-mercado.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2026.

ANJOS, S. S. N. dos; HASS, V. C. C. da P.; BRAGA, M.; DAMASO, M. C. T. Análise patentométrica e bibliométrica de microrganismos-chave para produção de ácidos carboxílicos de relevância estratégica. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 6., 2020, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 57-64.

BEHAR, M. Uma agenda para bioeconomia. **GV Executivo**, São Paulo, v. 24, n. 4, e94316, 2025. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/gvexecutivo/article/view/94316/88121>. Acesso em: 10 mar. 2026.

BRAGA, M. **Análise de futuro dos ácidos carboxílicos de base biológica**: uma abordagem semiquantitativa para o mapeamento tecnológico. 2022. 307 f. Tese (Doutorado em Processos Químicos e Biológicos) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2022.

BRAGA, M.; SANTOS, A. C. dos; DAMASO, M. C. T.; SCHULTZ, E. L. O potencial da lignina no contexto brasileiro: um diagnóstico de especialistas brasileiros sobre tecnologias e tendências para 2030. **O Papel**, v. 84, n. 7, p. 87-97, jul. 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1155859/1/O-potencial-da-lignina.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2025.

BRAZIL. **Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024**. Dispõe sobre a produção, a importação, a exportação, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção, a fiscalização, a pesquisa, a experimentação, a embalagem, a rotulagem, a propaganda, o transporte, o armazenamento, as taxas, a prestação de serviços, a destinação de resíduos e embalagens e os incentivos à produção de bioinsumos [...]. Brasília, DF: Presidência da República, [2024]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/115070.htm. Acesso em: 2 mar. 2026.

CORREA-GUILLEN, E.; HENN, K. A.; ÖSTERBERG, M.; DESSBESELL, L. Lignin's role in the beginning of the end of the fossil resources era: A panorama of lignin supply, economic and market potential. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 54, 101038, ago. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2025.101038>. Acesso em: 3 mar. 2026.

DHAR, P.; VINU, R. Microwave-assisted catalytic solvolysis of lignin to phenols: kinetics and product characterization. **ACS Omega**, v. 3, p. 15076-15085, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01509>. Acesso em: 3 mar. 2026.

GUPTA, G. K.; KAPOOR, R. K. Recent advances in eco-friendly technology for decontamination of pulp and paper mill industrial effluent: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 275, 2024.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Classificação de Patentes (IPC/CPC)**: relatório executivo. Elaboração: Catia Valdman, Maria Raquel Catalano De Sousa, Sérgio Bernardo. Brasília, DF: Ministério da Economia/INPI, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/classificacao/RelatorioExecutivoClassificacaoPatentes2020_DIRPA_26022021.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Classificação Internacional de Patentes**. 2024. Disponível em: <https://ipc.inpi.gov.br/>. Acesso em: 27 out. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Guia Rápido de Publicação do Pedido de Patente**. [2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes>. Acesso em: 27 out. 2024.

IWANICKI, N. S.; DELALIBERA JUNIOR, I. Panorama dos bioinsumos no Brasil e no mundo. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 15, p. 10-14, jul. 2025. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va-15-panorama-dos-bioinsumos-no-brasil-e-no-mundo.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2026.

LABET, M.; THIELEMANS, W. Citric acid as a benign alternative to metal catalysts for the production of cellulose-grafted-polycaprolactone copolymers. **Polymer Chemistry**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 679, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/c2py00493c>. Acesso em: 3 mar. 2026.

LI, Z.; ZHANG, J.; QIN, L.; GE, Y. Enhancing antioxidant performance of lignin by enzymatic treatment with laccase. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 6, p. 2591-2595, 2018.

LONG, Z.; ZHOU, Y.; CHEN, G.; ZHAO, P.; WANG, J. 4,4'-Bipyridine-modified molybdovanadophosphoric acid: a reusable heterogeneous catalyst for direct hydroxylation of benzene with O₂. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 239, p. 19-25, mar. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.103>. Acesso em: 3 mar. 2026.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. I.; CARVALHO, J. C.; THOMS, J. F.; MEDINA, J. D. C.; SOCCOL, C. R. Techno-economic analysis of downstream processes in itaconic acid production from fermentation broth. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 336-348, jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.204>. Acesso em: 3 mar. 2026.

NASCIMENTO, E. A.; MORAIS, S. A. L.; AQUINO, F. J. T.; PILÓ-VELOSO, D. Ozonólise das ligninas organossolve e kraft eucalipto. Parte II: cinética nos meios ácido e básico. **Química Nova**, v. 21, p. 578-583, 1998.

RIBEIRO, P. R.; CARVALHO, J. R. M.; GERIS, R.; QUEIROZ, V.; FASCIO, M. Furfural - da biomassa ao laboratório de química orgânica. **Química Nova**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 1046-1051, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422012000500033>. Acesso em: 3 mar. 2026.

ROCHAM, T. M.; MARCELINO, P. R. F.; COSTA, R. A. M. da; RUBIO-RIBEAUX, D.; BARBOSA, F. G.; SILVA, S. S. da. Agricultural Bioinputs Obtained by Solid-State Fermentation: From Production in Biorefineries to Sustainable Agriculture. **Sustainability**, v. 16, n. 3, 1076, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16031076>. Acesso em: 3 mar. 2026.

ROSALES-CASTILLO, R.; VELÁZQUEZ-DE LUCIO, B. S.; HERNÁNDEZ-DOMÍNGUEZ, E. M.; ÁLVAREZ-CERVANTES, J. Bio-inputs: An Alternative to Achieve Sustainable Agriculture. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 43, p. 1-15, e2045, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2045>. Acesso em: 2 mar. 2026.

SANTOS, A. C. dos; ANJOS, S. S. N. dos; BRAGA, M.; VIANA, N. M.; SOARES, I. P. Aplicação industrial de óleos vegetais em biocombustível: um estudo prospectivo e análise de sinais para apontar tendências de mercado. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, [s. l.], v. 39, n. 2, e26995, jul. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26995>. Acesso em: 3 mar. 2026.

SEBHAT, W.; EL ROZ, A.; FONGARLAND, P.; VILCOCQ, L.; DJAKOVITCH, L. Catalytic liquefaction of Kraft lignin with solvothermal approach. **Catalysts**, v. 11, n. 875, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/catal11080875>. Acesso em: 3 mar. 2026.

SCHULTZ, E. L.; BELÉM, D. L.; BRAGA, M. **Mapa de rotas tecnológicas da conversão da lignina em intermediários químicos, combustíveis e materiais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2022. 83 p. (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-4439, 45). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1146185/1/Mapa-de-rotas-tecnologicas.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2026.

SILVA, J. P.; TICONA, A. R. P.; HAMANN, P. R. V.; QUIRINO, B. F.; NORONHA, E. F. Deconstruction of Lignin: From Enzymes to Microorganisms. **Molecules**, v. 26, n. 8, p. 2299, 15 abr. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/8/2299>. Acesso em: 11 mar. 2026.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, p. 661-671, 2009.

STERNBERG, J.; SEQUERTH, O.; PILLA, S. Structure-property relationships in flexible and rigid lignin-derived polyurethane foams: A review. **Materials Today Sustainability**, v. 25, 100643, 2024.

TAHJIB-UL-ARIF; ZAHAN, I.; KARIM, M.; IMRAN, S.; HUNTER, C. T.; ISLAM, S.; MIA, A.; HANNAN, A.; RHAMAN, M. S.; HOSSAIN, A.; BRESTIC, M.; SKALICKY, M.; MURATA, Y. Citric Acid-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 13, 7235, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms22137235>. Acesso em: 3 mar. 2026.

UTSUMI, Y.; UTSUMI, C.; TANAKA, M.; HA, C. V.; TAKAHASHI, S.; MATSUI, A.; MATSUNAGA, T. M.; MATSUNAGA, S.; KANNO, Y.; SEO, M.; OKAMOTO, Y.; MORIYA, E.; SEKI, M. Acetic Acid Treatment Enhances Drought Avoidance in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Frontiers in Plant Science**, v. 10, abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00521>. Acesso em: 3 mar. 2026.

VAZ, A. P. A.; SILVA, V. Q. R. da; FARIA, M. R. de; HALFELD-VIEIRA, B. de A.; SILVA, A. R. B. e; MORAIS, J. P. S.; FONSECA, I. M.; MENDONÇA, S.; MACHADO, J. C.; FERREIRA, A.; GERUM, A. F. A. de A. Bioinputs and bioenergy: research's contributions to Brazil's transition to a green economy. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 60, e04147, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2025.v60.04147>. Acesso em: 2 mar. 2026.

VAZ JUNIOR, S. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável**. Brasília, DF : Embrapa, 2020. 26 p. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 31). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126255>. Acesso em: 10 mar. 2026.