



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA – PPGEQ

VALDIRIO ALEXANDRE GADELHA SEGUNDO

**ESTUDO, REVISÃO SISTEMÁTICA E MONITORAMENTO TECNOLÓGICO
DA FERMENTAÇÃO SEMISSÓLIDA DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

CAMPINA GRANDE, Paraíba, Brasil

Setembro de 2024

VALDIRIO ALEXANDRE GADELHA SEGUNDO

**ESTUDO, REVISÃO SISTEMÁTICA E MONITORAMENTO TECNOLÓGICO
DA FERMENTAÇÃO SEMISSÓLIDA DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química como
requisito à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana
Regina Nascimento Campos

G124e Gadelha Segundo, Valdirio Alexandre.

Estudo, revisão sistemática e monitoramento tecnológico da fermentação semissólida de resíduos agroindustriais / Valdirio Alexandre Gadelha Segundo. – Campina Grande, 2025.

76 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

“Orientação: Profa. Dra. Ana Regina Nascimento Campos”.

Referências.

1. Fermentação Semissólida. 2. Resíduos Agroindustriais. 3 Revisão e Prospecção. I. Campos, Ana Regina Nascimento. II. Título.

UFCG/BC

CDU 663.15(043.3)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CRB-15/225

VALDIRIO ALEXANDRE GADELHA SEGUNDO

**ESTUDO, REVISÃO SISTEMÁTICA E MONITORAMENTO TECNOLÓGICO
DA FERMENTAÇÃO SEMISSÓLIDA DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química como
requisito à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Química.

Aprovado em: 30/09/2024

Documento assinado digitalmente
 **ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS**
Data: 08/04/2025 11:08:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Ana Regina Nascimento Campos
Orientadora
(PPGEQ/UAEQ/CCT/UFCG)

Documento assinado digitalmente
 **RENATO ALEXANDRE COSTA DE SANTANA**
Data: 08/04/2025 14:19:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Renato Alexandre Costa de Santana
Avaliador Interno
(PPGEQ/UAEQ/CCT/UFCG)

Documento assinado digitalmente
 **JOSE NILTON SILVA**
Data: 08/04/2025 14:37:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Nilton Silva
Avaliador Externo
(UAEQ/CCT/UFCG)

Documento assinado digitalmente
 **ALDRE JORGE MORAIS BARROS**
Data: 08/04/2025 15:07:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Aldre Jorge Moraes Barros
Avaliador Externo
(UAEB/CDSA/UFCG)

Documento assinado digitalmente
 **KARLINE DANTAS BRITO**
Data: 08/04/2025 21:43:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Karoline Dantas Brito
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
(PPGEQ/UAEQ/CCT/UFCG)

RESUMO

Os resíduos agrícolas são ricos em compostos bioativos que podem ser usados como uma fonte alternativa para a produção de diferentes produtos e como matéria-prima em diversas pesquisas em laboratórios, universidades e indústrias. Uma variedade de microrganismos pode ser utilizada para a produção desses produtos por meio de processos de fermentação semissólida. Portanto, a fermentação e seu efeito na formação de produtos de valor agregado são revisados e discutidos ao longo dos anos. Para tal discussão e sua posterior sustentação, faz-se necessária busca, obtenção, leitura e interpretação de uma pluralidade de artigos, denominada revisão sistemática da literatura. No que tange o monitoramento do desenvolvimento tecnológico, tais organizações lógicas são proporcionadas a partir de um conjunto de documentos de patentes. Os documentos de patentes publicados acerca de uma certa tecnologia compõem um conjunto denominado Estado da Técnica. A partir deste, a organização lógica de um amplo conjunto de patentes é denominada monitoramento tecnológico ou prospecção tecnológica. Dessa forma, busca-se mapear as tecnologias relacionadas à fermentação do processo de fermentação em fase semissólida a partir do método de monitoramento e análise de dados provenientes de documentos de patentes e artigos científicos.

Palavras-chave: fermentação; revisão; prospecção.

ABSTRACT

Agricultural residues are rich in bioactive compounds that can be used as an alternative source for the production of various products and as raw material in different research settings, including laboratories, universities, and industries. A variety of microorganisms can be utilized for the production of these products through solid-state fermentation processes. Therefore, the fermentation process and its impact on the formation of value-added products have been reviewed and discussed over the years. This discussion and its subsequent support necessitate the search, acquisition, reading, and interpretation of a multitude of articles, referred to as a systematic literature review. Regarding the monitoring of technological development, such logical organizations are provided through a set of patent documents. Patent documents published about a certain technology make up a collection called the State of the Art. From this, the logical organization of a broad set of patents is referred to as technological monitoring or technological prospecting. Thus, the aim is to map technologies related to solid-state fermentation processes using the method of monitoring and analyzing data from patent documents and scientific articles.

Keywords: fermentation; review; prospecting.

Dedico esse trabalho ao meu tio Valdirio Alexandre Gadelha (*in memoriam*) por todo apoio desde a infância até a vida adulta. Minha eterna gratidão.

Agradecimentos

O desenvolvimento desta dissertação é fruto da ajuda da família, dos mestres, dos colegas de trabalho, dos profissionais e dos amigos, dentre os quais eu agradeço:

À minha esposa Géssica Souza e ao meu filho Antônio Alexandre por todo amor, cuidado, atenção, carinho e por serem a base da minha vida;

Aos meus pais Aldirio e Wânia pelo constante apoio e carinho. Minha gratidão é maior que qualquer palavra;

Aos meus irmãos Mariana e Gabriel pela união, proteção e momentos de descontração;

À minha sogra Maria Rosineide e à minha cunhada Maria Luana pelo cuidado e carinho;

À minha orientadora Ana Regina por nortear todo trabalho durante esses dois anos de mestrado;

Aos professores Nilton e Aldre pelos ensinamentos além da universidade, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Renato Alexandre do PPGEQ pelas contribuições;

Ao professor Wagner pela orientação em relação aos processos;

Ao professor Laércio por, no momento certo, incentivar a participar de uma nova seleção;

Ao colega Jadson por me apresentar a ferramenta de revisão sistemática e por disponibilizar o acesso ao Web of Science, fundamental para o desenvolvimento da revisão sistemática da literatura;

À discente do PPGEQ Anna Laura por auxiliar na submissão do artigo científico;

Ao PROFINIT do IFPB, por meio dos professores Aldre e Nilton, pela parceria e por disponibilizar os resultados da plataforma Questel Orbit;

Aos colegas do NITT e do OBITEC pela ajuda com as demandas antes da defesa.

Aos colegas Bruno e Helymarckson por assumirem as aulas de aprofundamento, proporcionando horas preciosas para a escrita, bem como as dicas sobre a revisão sistemática, referências e o uso da ferramenta Mendeley;

Ao trio gestor da ECI José Vitorino de Medeiros pela compreensão e ajuda;

A todos os colegas da ECI José Vitorino de Medeiros pela compreensão e paciência;

Ao amigo David por me incentivar a estudar para concursos e ajudar na seleção para o PPGEQ;

À Dr^a. Marília pelo impacto positivo e orientação para retomar atividades essenciais fundamentais para o meu crescimento e minha realização pessoal.

Aos amigos da Pizzaria do Chico por disponibilizarem aquela mesinha perto da porta, na qual a produção dessa dissertação fluía melhor do que em qualquer outro lugar;

A todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte dessa jornada.

Muitíssimo Obrigado!

“Ora, uma criança de 4 anos
poderia fazer isso. Tragam-
me uma criança de 4 anos”.

Groucho Marx

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	2
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
4. ESTADO DA ARTE	6
5. MÉTODOS	20
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Definições de Fermentação Semissólida.....	5
Quadro 2 – Panorama dos principais resíduos agroindustriais e micro-organismos	27
Quadro 3 – Panorama dos principais inventores, instituições, domínios tecnológicos, classificações internacionais de patentes e resíduos abordados documentos de patentes.....	43
Quadro 4 – Classificação Internacional de Patentes.	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama da Análise Prisma.....	20
Figura 2 – Diagrama da Prospecção Tecnológica.....	22
Figura 3 – Diagrama da Metodologia PRISMA aplicada à Fermentação Semissólida de Resíduos Agroindustriais.	23
Figura 4 – Distribuição Macro de Artigos por Ano.	24
Figura 5 – Distribuição de Artigos Científicos por Países.	25
Figura 6 – Distribuição Meso de Artigos entre 2020 e 2024.	26
Figura 7 – Etapas da Prospecção Tecnológica da Fermentação Semissólida de Resíduos Agroindustriais	33
Figura 8 – Distribuição Macro de Patentes Depositadas por Ano.	34
Figura 9 – Distribuição Macro de Patentes Depositadas por Países.	35
Figura 10 – Distribuição Macro de Patentes Chinesas Depositadas por Ano.....	36
Figura 11 – Distribuição Macro de Patentes Americanas, Indianas e Brasileiras Depositadas entre 2015 e 2023.	37
Figura 12 – Principais Titulares em Depositos de Patentes.....	38
Figura 13 – Distribuição Meso de Patentes Depositadas por Ano.	39
Figura 14 – Distribuição Meso de Patentes Depositadas por Países	40
Figura 15 – Distribuição Meso de Patentes Chinesas Depositadas por Ano.	41
Figura 16 – Distribuição meso de patentes americanas, indianas e brasileiras entre 2015 e 2023.	42

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos agrícolas são ricos em compostos bioativos, que podem ser usados como uma fonte alternativa para a produção de diferentes produtos, como biogás, biocombustível e como matéria-prima em diversas pesquisas em laboratórios, universidades e indústrias. O uso de resíduos agroindustriais como matéria-prima pode ajudar na redução do custo de produção e também diminuir a carga de poluição no meio ambiente. Resíduos agroindustriais são utilizados na produção de biocombustíveis, enzimas, vitaminas, antioxidantes, ração animal, antibióticos e outros produtos químicos por meio da fermentação. Uma grande variedade de microrganismos pode ser utilizada para a produção desses produtos por meio de processos de fermentação semissólida. Portanto, a fermentação e seu efeito na formação de produtos de valor agregado são revisados e discutidos ao longo dos anos (Sadh; Duhan; Duhan, 2018).

Uma das formas de fermentação para a formação de produto de valor agregado é a Fermentação Semissólida. O termo Fermentação em Estado Sólido (FES), ou Fermentação Semissólida, ou Fermentação em Meio Semissólido aplica-se aos processos onde existe o crescimento de microrganismos em partículas de matriz sólida, onde a quantidade de líquido apresenta um nível de atividade de água que possa garantir o crescimento e metabolismo dos microrganismos, mas não exceda à máxima capacidade de ligação da água com a matriz sólida. (Pinto *et al.*, 2006). Um aspecto importante na Fermentação em Estado Semissólido é a recuperação adequada dos metabólitos produzidos. A eficiência de extração é um fator crítico que determina a viabilidade econômica da fermentação. Parâmetros como temperatura e tipo de solvente são importantes na extração de solutos de sólidos (Castilho; Medronho; Alves, 2000).

Para tal discussão e sua posterior sustentação, faz-se necessária busca, obtenção, leitura e interpretação de uma pluralidade de artigos, denominada revisão sistemática da literatura. Conduzir uma revisão sistemática da literatura transcende a simples revisão bibliográfica típica em trabalhos de pesquisa acadêmica. Trata-se de uma abordagem de pesquisa que segue protocolos específicos, visando proporcionar uma organização lógica a um amplo conjunto de documentos (Galvão; Ricarte, 2019).

No que tange o monitoramento do desenvolvimento tecnológico, tais organizações lógicas são proporcionadas a partir de um conjunto de documentos de patentes. Os documentos de patentes publicados acerca de uma certa tecnologia compõem um conjunto denominado Estado da Técnica. A partir deste, a organização lógica de um amplo conjunto de patentes é denominada Monitoramento Tecnológico ou Prospecção Tecnológica.

As análises de tecnologias emergentes e suas implicações são vitais para as áreas econômica, social e empresarial. Tais análises informam escolhas críticas que vão desde o nível multinacional até a organização individual. Decisões que precisam ser bem informadas dizem respeito ao estabelecimento de prioridades para esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D), compreensão e gerenciamento dos riscos da inovação tecnológica, exploração de propriedade intelectual e aprimoramento da competitividade tecnológica de produtos, processos e serviços (Technology Futures Analysis Methods Working Group, 2004).

1.1. Justificativa

Realizar uma revisão sistemática da literatura e uma prospecção tecnológica sobre o processo da fermentação semissólida de resíduos agroindustriais, proporcionando o preenchimento de lacunas de conhecimento existentes, a identificação de oportunidades e desafios, e fornecer recomendações para aprimorar a eficiência e a viabilidade dessa tecnologia, promovendo assim a sustentabilidade ambiental, a valorização de resíduos e futuros avanços. Portanto, este trabalho buscou obter uma análise abrangente acerca da tecnologia, onde, unindo as análises Macro, Meso e Micro podem identificar tendências e expandir o entendimento sobre a tecnologia, propondo pesquisas e trabalhos futuros de uma maneira mais direcionada.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Realizar revisão sistemática da literatura, bem como uma prospecção tecnológica acerca do tema fermentação semissólida de resíduos agroindustriais.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão sistemática da literatura através da metodologia PRISMA com base em artigos científicos sobre diferentes características da fermentação semissólida de resíduos agroindustriais, incluindo microrganismos, tecnologias, desempenho e aplicabilidade;
- Mapear as tecnologias relacionadas à fermentação do processo de fermentação em fase semissólida a partir do método de monitoramento e análise de dados provenientes de documentos de patentes.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Resíduos Agroindustriais

Os resíduos agroindustriais são amplamente utilizados como uma fonte alternativa para a produção de diferentes produtos. Sadh, Duhan e Duhan (2018), citam diversos resíduos que são amplamente utilizados no processo de fermentação semissólida, como: palha de arroz, palha de trigo, casca de laranja, casca de batata, farelo de soja e farelo de amendoim. Todos esses resíduos agroindustriais podem ser submetidos ao processo de fermentação semissólida, originando diversos produtos, tais quais: biocombustíveis, Tempeh (alimento feito a partir da soja fermentada), antibióticos, biofertilizantes, ração animal e produtos químicos em geral. Os resíduos agroindustriais se subdividem em duas categorias, são elas: resíduos agrícolas e resíduos industriais, que se distinguem pelas suas origens e suas composições.

Os resíduos agrícolas consistem em cascas, bagaço, sementes, folhas, caules, palha, talos, cascas, polpa, cascas, raízes, etc. e são utilizados para diversas finalidades, entre elas ração animal, melhoria do solo, fertilizantes e manufatura (Sadh; Duhan; Duhan, 2018). Uma grande quantidade de resíduos agrícolas é gerada e a maioria é subutilizada. Os resíduos agrícolas são diferenciados com base em sua disponibilidade e características que podem ser diferentes de outros combustíveis sólidos como carvão e madeira. Eles são fontes de matéria-prima para a produção de biocombustíveis, alimentos para animais, fertilizantes, compostagem e outros processos industriais. Além disso, destaca-se a importância de aproveitar esses resíduos de forma sustentável para reduzir o desperdício, promover a reciclagem de nutrientes e contribuir para a sustentabilidade ambiental e econômica da agricultura.

Os resíduos industriais, por sua vez, são gerados a partir de processos industriais, em especial na produção de alimentos. Dentre estes resíduos pode-se destacar: cascas de laranja, cascas de batata, cascas de mandioca, farelo de amendoim, farelo de soja, farelo de coco, etc.

3.2. Fermentação Semissólida

A fermentação semissólida, ou fermentação em estado semissólido, ou fermentação em estado sólido aplica-se aos processos onde existe um crescimento de micro-organismos sobre ou dentro de uma matriz sólida (Pinto *et al.*, 2006). Esse processo biotecnológico tem ganho destaque nas últimas décadas devido à capacidade de transformar resíduos agroindustriais em produtos de valor agregado, como exemplos: enzimas, biocombustíveis e alimentos para animais. Esse método é muito vantajoso, uma vez que utiliza substratos como palhas, cascas, ou polpas, todos estes frequentemente descartados e os utilizam como matéria-prima.

Existem diversas maneiras de definir a fermentação semissólida. Yafetto (2023), traz a definição de fermentação semissólida do ponto de vista de diversos autores, como podemos ver no quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Principais Definições de Fermentação Semissólida

Definições	Referências
Um processo microbiano que ocorre principalmente na superfície de materiais sólidos que tem a propriedade de absorver ou conter água, com ou sem nutrientes solúveis	Viniegraz-González (1997)
Cultivo de microrganismos em suportes sólidos úmidos, seja em portadores inertes ou em substratos insolúveis que também podem ser utilizados como fonte de carbono e energia	Pandey et al. (2000)
Qualquer processo em que substratos em estados particulados sólidos são utilizados	Mitchel et al. (2000)
O crescimento de microrganismos em um substrato sólido umedecido, no qual há umidade suficiente para manter o crescimento e o metabolismo microbiano, mas onde não há água em movimento livre e o ar é a fase contínua	Rahardjo et al. (2006)
O crescimento de microrganismos em substratos ou suportes sólidos ou semissólidos	Rosales et al. (2007)
Um processo que envolve o crescimento de microrganismos em partículas úmidas de materiais sólidos em leitos nos quais os espaços entre as partículas são preenchidos com uma fase gasosa contínua	Mitchel et al. (2011)
Um processo heterogêneo de três fases, compreendendo fases sólida, líquida e gasosa, que oferecem benefícios potenciais para o cultivo para o desenvolvimento de bioprocessos e produtos	Thomas et al. (2013)

Fonte: Adaptado de Yafetto (2022).

A definição dos resíduos agroindustriais e da fermentação semissólida são o ponto de partida para a realização da busca não estruturada. A partir do entendimento de ambas, deu-se início à escola das palavras-chave e operadores booleanos que compuseram a estratégia de busca.

4. ESTADO DA ARTE

O estado da arte foi desenvolvido a partir da metodologia PRISMA representada pela Figura 1 na seção resultados e discussão. Após a definição da estratégia de busca para identificar os artigos, realizar delimitação e, finalmente, selecionar manualmente os documentos, encontrou-se 34 artigos que tratam especificamente da fermentação semissólida de resíduos agroindustriais. Esta seleção restringiu-se apenas aos artigos relacionados à obtenção de produtos oriundos da fermentação e enriquecimento das matérias-primas, excluindo revisões bibliográficas, *design* de reatores químicos e artigos que tratavam apenas de otimização. Os artigos selecionados para o estado da arte estão descritos a seguir:

Martínez-Avila, Llimós e Ponsá (2021) apresentam um estudo que investiga a produção sustentável de poli-hidroxialcanoatos (PHA), bioplásticos biodegradáveis, a partir de resíduos agroindustriais de baixo custo. O trabalho propõe uma abordagem integrada que combina a hidrólise enzimática em estado sólido (SSEH) e a fermentação em estado sólido (SSF) utilizando resíduos como grãos de cerveja, pomáceas de uva e resíduos de azeitona. Os autores destacam que a eficiência da SSEH é influenciada por características intrínsecas dos resíduos, temperatura e tipo de extrato enzimático utilizado. Os resultados mostram que a combinação de SSEH e SSF pode aumentar significativamente o rendimento de PHA, com melhorias de até 54%, 41% e 31% para os diferentes resíduos em comparação com a SSF isoladamente. O estudo conclui que essa abordagem integrada não apenas melhora a produção de PHA, mas também representa uma alternativa sustentável para a valorização de resíduos agroindustriais, contribuindo para a economia circular.

Wang *et al.* (2022) exploraram a extração aprimorada de flavonoides a partir de resíduos de alcaçuz utilizando a fermentação mista em estado sólido. O estudo aborda o problema do descarte inadequado de resíduos de alcaçuz, que contêm componentes ativos valiosos, como flavonoides, que são frequentemente perdidos devido à estrutura compacta da lignocelulose. Os autores selecionaram *Lichtheimia ramosa* e um fungo de podridão branca para a fermentação mista, focando na produção de enzimas degradadoras da parede celular, como pectinase, exocelulase e lacase. A otimização das condições de fermentação resultou em atividades enzimáticas máximas de 60,31 U/g para exocelulase, 65,99 U/g para pectinase e 62,30 U/g para lacase. A análise por FT-IR confirmou a remoção eficaz de lignina e hemicelulose, enquanto a microscopia eletrônica de varredura (SEM) revelou uma morfologia rugosa com fissuras nos resíduos fermentados, indicando a destruição da lignocelulose. O estudo conclui que a fermentação em estado sólido é uma técnica promissora para melhorar a extração de flavonoides de resíduos de alcaçuz, contribuindo para a valorização desses subprodutos.

Almana et al. (2020) investigam a produção de amilase a partir da cepa *Bacillus subtilis* D19 utilizando resíduos agroindustriais em um processo de fermentação em estado sólido. O estudo avaliou diferentes resíduos sólidos, incluindo casca de trigo, casca de banana, casca de laranja, farelo de arroz e casca de abacaxi, para determinar qual substrato proporcionava a maior produção de amilase. Os resultados mostraram que a casca de trigo foi o substrato mais eficaz, resultando em uma atividade de amilase de 640 U/g. A atividade aumentou para 670 U/g quando a casca de trigo foi suplementada com amido. O estudo também identificou que a adição de extrato de levedura como fonte de nitrogênio aumentou a produção de amilase, alcançando uma atividade máxima de 1239 U/g sob condições otimizadas de pH 9,0, 70% de umidade, 1% de amido e 1% de extrato de levedura. A pesquisa destaca a viabilidade da utilização de resíduos agroindustriais para a produção econômica de enzimas, contribuindo para a sustentabilidade e a valorização de subprodutos agrícolas.

Kwanga et al. (2022) investigam o efeito da fermentação em estado sólido sobre o rendimento de óleo essencial a partir de resíduos de *Curcuma longa* (cúrcuma). O estudo aborda a problemática do descarte inadequado dos resíduos gerados após o processo de extração do suco da cúrcuma, que ainda contém potencial para a extração de óleo essencial. A fermentação em estado sólido foi realizada sem a adição de inóculo, e a extração do óleo essencial foi realizada por hidrodestilação. Os resultados mostraram que a fermentação por 7 dias, em condições de temperatura ambiente (25 °C) e umidade de 44%, resultou em um rendimento de 1,21% de óleo essencial, comparado a 0,35% do material não fermentado e 0,96% do material bruto, representando um aumento de 71% e 21%, respectivamente. O estudo conclui que a fermentação em estado sólido é uma técnica eficaz para melhorar a eficiência da extração de óleo essencial de resíduos de cúrcuma, contribuindo para a valorização desses subprodutos.

Ding et al. (2020) realizaram um estudo sobre a otimização das condições de cultura durante a fermentação em estado sólido de resíduos de chá utilizando cepas mistas de *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger* e *Saccharomyces cerevisiae*. O objetivo foi maximizar a produção de compostos valiosos a partir dos resíduos de chá, que são frequentemente descartados. A pesquisa utilizou a metodologia de superfície de resposta para otimizar as condições de fermentação, incluindo temperatura, umidade e tempo de fermentação. Os resultados mostraram que as condições otimizadas foram: temperatura de 29,24 °C, umidade de 54,14%, tempo de fermentação de 5,58 dias e uma proporção de inóculo de 1:1:2 para *B. subtilis*, *A. niger* e *S. cerevisiae*, respectivamente. Sob essas condições, houve um aumento significativo na produção de proteína bruta, açúcares redutores e atividade de celulase, com aumentos de 19,32%, 39,5% e 33,3%, respectivamente, em comparação com os níveis antes da fermentação.

O estudo destaca o potencial dos resíduos de chá como substrato para a produção de bioprodutos valiosos através da fermentação em estado sólido.

Keong *et al.* (2023) investigaram a biotransformação da okara, um resíduo gerado durante o processamento de soja, através da fermentação em estado sólido utilizando as cepas probióticas *Bacillus subtilis* e *Bacillus coagulans*. O estudo abordou a subutilização da okara, que é propensa à deterioração e possui uma vida útil curta. Os autores realizaram uma triagem inicial das cepas de *Bacillus* e selecionaram *B. subtilis* R0179 e *B. coagulans* 123 para análises mais detalhadas. Os resultados mostraram que a fermentação com *B. subtilis* R0179 resultou em uma conversão significativa de fibra dietética insolúvel em fibra dietética solúvel, além de aumentar a concentração de açúcares hemicelulósicos e aminoácidos aromáticos. A okara fermentada também apresentou um aumento na produção de compostos voláteis, como acetoína e ácidos carboxílicos, que conferem características de sabor desejáveis. O estudo conclui que a utilização de cepas probióticas pode melhorar o valor nutricional e as propriedades sensoriais da okara, promovendo sua utilização em alimentos.

Caroca *et al.* (2022) exploraram o enriquecimento de resíduos lignocelulósicos através de um processo sequencial que combina fermentação em estado sólido (SSF) com digestão anaeróbica de substrato sólido (SSAD). O estudo focou em resíduos agrícolas, especificamente os restos de vagem de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), que não haviam sido previamente estudados no contexto de uma biorrefinaria. Durante a fermentação em estado sólido, o fungo *Trametes versicolor* foi utilizado, resultando em uma alta atividade enzimática de lacase, que alcançou 1588 U/l em 12 dias. O estudo também avaliou a recuperação de enzimas, comparando dois extratores em termos de estabilidade e eficácia. Os resultados mostraram que a SSF aumentou a biodegradabilidade do resíduo lignocelulósico, resultando em um aumento na produção de biogás entre 0 e 75,5%. A pesquisa conclui que a combinação de SSF e SSAD é uma abordagem promissora para a valorização de resíduos agrícolas, produzindo tanto enzimas como biogás como produtos de valor agregado.

Li *et al.* (2022) investigaram o potencial de degradação de diferentes resíduos lignocelulósicos utilizando as cepas de fungos *Trichoderma longibrachiatum* e *Trichoderma afroharzianum* em condições de fermentação em estado sólido (SSF). O estudo focou na eficiência dessas cepas em degradar substratos como palha de milho e resíduos de alcaçuz, que são abundantes e frequentemente subutilizados. Os autores realizaram uma série de experimentos para otimizar as condições culturais, incluindo tempo de fermentação, relação material-líquido, pH inicial e temperatura. Os resultados mostraram que *T. afroharzianum* apresentou uma atividade de celulase superior, com uma taxa de degradação significativa dos

resíduos lignocelulósicos. O estudo conclui que a utilização de cepas de *Trichoderma* pode ser uma estratégia eficaz para a conversão de resíduos lignocelulósicos em produtos de valor agregado, contribuindo para a sustentabilidade e a economia circular.

Eliopoulos *et al.* (2022) conduziram uma pesquisa preliminar sobre a bioconversão de resíduos de extrato de cânhamo industrial (IHER) utilizando a fermentação em estado sólido (SSF) com o fungo *Pleurotus ostreatus*. O objetivo do estudo foi melhorar a composição nutricional dos resíduos, visando sua utilização como ração animal. Os resultados mostraram que a fermentação em estado sólido aumentou significativamente o teor de proteínas brutas em 53,05%, além de um aumento de 5,25% na celulose e um incremento superior a duas vezes na concentração de lignina. O conteúdo de beta-glucano também aumentou em aproximadamente 32,51%. Os autores concluíram que a SSF com *P. ostreatus* é uma estratégia promissora para enriquecer resíduos agroindustriais, contribuindo para a economia circular e a reutilização de resíduos na produção de produtos de alto valor agregado, como ração animal.

Meng *et al.* (2024) exploraram a utilização da fermentação em estado sólido (SSF) com o fungo *Trichoderma guizhouense* para reciclar resíduos de chá. O estudo focou na otimização das condições de produção de esporos do fungo, utilizando resíduos de chá como substrato. Os autores determinaram que a melhor relação entre resíduos de chá e farelo de arroz era de 7:3 (p/p), com uma espessura do material de 3 cm, uma concentração de inóculo de 15% (v/p) e um tempo de incubação de 4 dias, resultando em uma contagem de esporos de $1,8 \times 10^9$ CFU/g. A aplicação dos esporos de *T. guizhouense* em substratos de viveiro demonstrou aumentar significativamente a biomassa e influenciar a composição da comunidade fúngica do rizosfera. Os resultados sugerem que a utilização de resíduos de chá para a produção de esporos de *Trichoderma* é uma abordagem viável e sustentável, contribuindo para a melhoria do crescimento e promovendo a economia circular.

Falcão *et al.* (2022) investigaram a otimização da produção de endoglucanase pelo fungo *Aspergillus brasiliensis* utilizando resíduos de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) como substrato em um processo de fermentação em estado sólido (SSF). O estudo começou com a caracterização dos resíduos, que foram encontrados ricos em fibras e nutrientes essenciais para o crescimento fúngico. Inicialmente, a atividade de endoglucanase foi de $7,35 \text{ U g}^{-1}$. Através de um desenho experimental fatorial, os autores identificaram que as interações entre umidade, temperatura e fonte de nitrogênio eram significativas ($p < 0,05$) para a produção enzimática. Após a otimização, a atividade de endoglucanase aumentou para $40,50 \text{ U g}^{-1}$, representando um aumento de mais de cinco vezes em relação ao valor inicial. O extrato enzimático obtido foi aplicado na hidrólise de cascas de cupuaçu, resultando na produção de açúcares redutores. Os

resultados indicam que os resíduos de cupuaçu podem ser utilizados de forma eficaz para a produção de celulases, contribuindo para a valorização de resíduos agroindustriais e oferecendo benefícios econômicos e ambientais.

Han *et al.* (2021) compararam capacidade de produção de lacase de quatro espécies de fungos basidiomicetos utilizando fermentação em estado sólido com quatro diferentes resíduos lignocelulósicos. Os resultados mostraram que o potencial biossintético dos basidiomicetos variou conforme a espécie. A capacidade de secreção de lacase de *Cerrena unicolor* Han 849 foi significativamente superior à de *Lenzites betulinus* Han 851, *Stropharia rugosoannulata* Han 1321 e *Auricularia heimuer* Han 1333, com produções máximas de lacase 11,25, 122,26 e 15,27 vezes maiores, respectivamente. Além disso, diferentes espécies de fungos mostraram preferências por resíduos lignocelulósicos específicos. A presença de *Firmiana platanifolia* favoreceu a secreção de lacase por *C. unicolor* Han 849. A produção contínua e estável de lacase por *C. unicolor* Han 849 foi uma vantagem clara na fermentação em estado sólido com qualquer um dos resíduos utilizados. A produção máxima de lacase com *Firmiana platanifolia* foi 2,12, 1,68 e 6,13 vezes maior do que com *Populus beijingensis*, *Sorghum bicolor* e *Oryza sativa*, respectivamente. Esses achados são promissores para o desenvolvimento de novas cepas produtivas em aplicações industriais e para a seleção de resíduos lignocelulósicos adequados para a produção de lacase.

Liu *et al.* (2021) investigou a produção de esporos do fungo *Trichoderma guizhouense* utilizando resíduos de stevia por meio de fermentação em estado sólido. O estudo determina que a maior produção de esporos, alcançando 7×10^9 CFU g⁻¹, ocorre sob condições específicas de proporção de material, pH, umidade, tamanho do inóculo, espessura do material e tempo de incubação. Os resultados mostram que a aplicação de *T. guizhouense* em combinação com fertilizantes orgânicos aumenta significativamente a biomassa das plantas de milho, além de influenciar positivamente a composição da comunidade fúngica do solo. O estudo conclui que a utilização de resíduos de stevia para a produção de *T. guizhouense* é uma estratégia viável para melhorar o crescimento das plantas e a eficiência do uso de fertilizantes orgânicos.

Shradhdha *et al.* (2020) investigou a capacidade dos fungos *Pleurotus sajor caju*, *Pleurotus ostreatus* e *Phanerochaete chrysosporium* para a produção de enzimas lignocelulolíticas por meio de fermentação em estado sólido (SSF) utilizando resíduos agrícolas. Os fungos foram avaliados quanto à degradação de material lignocelulósico e à produção de diversas enzimas, incluindo lignina peroxidase, FPase, lacase, manganês peroxidase, CMCase e xilanase. A produção máxima das enzimas foi: lignina peroxidase (183,69 U/g), FPase (30,1 U/g), lacase (720 U/g), manganês peroxidase (268,19 U/g), CMCase

(200 U/g) e xilanase (302,2 U/g), obtida em diferentes substratos. O estudo também otimizou o tampão de extração para todas as enzimas, com o objetivo de avaliar a atividade das enzimas lignocelulolíticas cultivando fungos em resíduos agrícolas.

Bangoria *et al.* (2021) investigaram na produção de beta-mannanase extracelular a partir da cepa recém-isolada *Penicillium aculeatum* APS1, utilizando bagaço de palmiste e farelo de soja, que são subprodutos residuais da indústria de extração de óleo, em fermentação em estado sólido. Ao suplementar o bagaço de palmiste com 20% de farelo de soja, a produção de beta-mannanase alcançou 2807 U/g. A metodologia de superfície de resposta foi utilizada para a otimização estatística da produção. Dois fatores independentes, nível de umidade e tempo de incubação, mostraram-se significativos para o processo de produção. Sob condições otimizadas de umidade (52,25%) e tempo de incubação (130 h), a produção de beta-mannanase aumentou em 1,6 vezes, atingindo uma atividade máxima de 4696 U/g. A temperatura e o pH ótimos para a beta-mannanase crua foram 65 °C e 6,0, respectivamente. A beta-mannanase crua e parcialmente purificada demonstrou eficácia na liberação de manooligosacarídeos por hidrólise de substratos ricos em mannan, como goma de alfarroba, goma guar e glucomanana de konjac. Análises qualitativas e quantitativas de MOS foram realizadas por cromatografia em camada fina (TLC) e cromatografia iônica. A beta-mannanase de *Penicillium aculeatum* APS1 apresentou propriedades adequadas para aplicações na indústria de ração/alimentos.

Rocha *et al.* (2021) estudaram nova enzima obtida por meio de fermentação em estado sólido utilizando *Aspergillus sydowii* foi purificada e caracterizada. O resíduo de café foi utilizado como substrato, e a enzima crua passou por etapas adicionais de purificação, incluindo precipitação acetônica, DEAE-Sephadex e coluna Superdex G-75. Tanto as enzimas cruas quanto as purificadas foram caracterizadas bioclimaticamente em relação à termostabilidade, temperatura e pH ótimos, além dos efeitos de inibidores e íons metálicos. Uma protease purificada foi obtida com um rendimento de 5,9 vezes e 53% de recuperação, apresentando uma atividade proteolítica máxima de 352,0 U/mL. A análise SDS-PAGE revelou uma banda de proteína com 47,0 kDa. A atividade enzimática foi abolida na presença de fenilmetilsulfonilfluoreto e inibida parcialmente por Triton X-100 (78,0%). A atividade ótima foi encontrada em pH 8,0 a 45 °C, e a enzima mostrou estabilidade entre 35 e 50 °C. O estudo determinou condições apropriadas para a obtenção de proteases termostáveis com interesse biotecnológico, associadas a um método que demonstra excelentes níveis de produção e recuperação de resíduos de matéria-prima de forma rentável.

Liu *et al.* (2023) exploraram uma maneira eficaz de converter resíduos agroindustriais em produtos de valor agregado. Uma cepa produtora de protease termofílica foi isolada do

farelo de soja (SBM) e identificada como *Bacillus licheniformis* por sequenciamento de 16S rDNA. Após a incubação de *Bacillus licheniformis* CPB2 em meio de caseína por 24 horas, a atividade da protease, o rendimento de peptídeos e a taxa de conversão de proteínas da cultura atingiram $8,87 \pm 0,33$ U/mL, 68,58% e 82,27%, respectivamente. O bagaço de cerveja (BSG) e o SBM foram utilizados como co-substratos para produzir peptídeos de valor agregado por meio da fermentação em estado sólido termofílica (TSSF) com *Bacillus licheniformis* CPB2. O conteúdo de peptídeos dos co-substratos aumentou de 25,71 mg/g para 112,72 mg/g sob condições ótimas de TSSF. Os produtos fermentados apresentaram aumento no teor de proteína bruta e aminoácidos livres, além de redução nos teores de gordura bruta e cinzas, bem como na atividade inibidora de tripsina em comparação com os co-substratos não fermentados. A TSSF conseguiu degradar proteínas macromoleculares em peptídeos, desagregar agregados proteicos e reduzir o tamanho das partículas. A relevância industrial deste trabalho propõe uma maneira eficaz para a utilização racional e eficiente de resíduos agroindustriais úmidos e secos na produção de produtos de valor agregado, mostrando um amplo potencial para reduzir custos de produção, economizar recursos hídricos e energia, e preservar o meio ambiente ecológico.

Xu *et al.* (2020) desenvolveram um processo eficiente de valorização de resíduos de chá em produtos de valor agregado utilizando *Trametes versicolor* na fermentação em estado sólido (SSF). A produção de lacase alcançou 25,7 U/g de substrato seco após a otimização do meio de cultura e das condições, resultando em um aumento de 4,0 vezes em comparação com 6,4 U/g de substrato seco sob condições não otimizadas. Durante a cultivo de 7 dias sob SSF, ocorreram degradações de 44,7% para lignina, 12,2% para hemicelulose e 9,8% para celulose nos resíduos de chá. A produção de lacase atingiu 31,2 U/g de substrato seco ao escalar a cultura em um sistema de bandeja rasa. Os resíduos de chá fermentados secos foram utilizados diretamente como enzima crua na descoloração do verde malaquita, apresentando uma taxa de descoloração superior a 95% em 120 minutos e mantendo 81,3% da capacidade de descoloração após 6 ciclos. Este estudo forneceu uma estratégia útil para a produção de lacase de baixo custo por meio de SSF, demonstrando grande potencial para a aplicação na descoloração de corantes.

Conorado *et al.* (2023) investigaram se os resíduos da casca de pera espinhosa (*Opuntia ficus-indica*) podem ser utilizados como substrato na fermentação em estado sólido para a obtenção de compostos bioativos. O crescimento cinético de algumas cepas de *Aspergillus* foi avaliado utilizando um desenho de Box-Hunter para analisar fatores independentes, como temperatura, inoculo, umidade, pH, e concentrações de NaNO₃, MgSO₄, KCl e KH₂PO₄. Os fatores de resposta incluíram a quantidade de taninos hidrolizáveis e condensados. As cepas *Aspergillus niger* GH1 e HT3 mostraram-se as mais eficazes na acumulação de taninos. A

umidade, o inoculo e a temperatura influenciaram a liberação de taninos. O tratamento 13, com valores baixos de temperatura, inoculo, NaNO_3 e MgSO_4 , e altos de umidade, pH, KCl e KH_2PO_4 , resultou em 32,9 mg/g de taninos condensados, enquanto o tratamento 16, com altos valores para todos os fatores, resultou em 3,5 mg/g de taninos hidrolizáveis. Além disso, os extratos fermentados apresentaram maior atividade antioxidante em comparação com os extratos não fermentados. Os tratamentos 13 e 16 mostraram baixa inibição de *E. coli*, *Alternaria* sp. e *Botrytis* spp. O processo de fermentação em estado sólido com resíduos de casca de pera espinhosa favorece a acumulação de taninos com atividade antioxidante e antifúngica.

Michael *et al.* (2021) realizaram a fermentação em estado sólido em substratos naturalmente disponíveis, como resíduos de escamas de peixe, cascas de camarão, farelo de trigo, casca de batata e folhas de uva, para verificar a produção aprimorada de quitinase. O resíduo de casca de camarão foi identificado como o melhor substrato natural para a alta atividade de quitinase (464,98 U/g). A máxima produção de quitinase e atividade quitinolítica (531,66 U/gds) foi alcançada com parâmetros de processo otimizados, incluindo tempo de incubação de 60 horas, temperatura de 34 graus, idade do inoculo de 3 dias, volume do inoculo de 20% (v/w), pH de 7,0, umidade de 60% (v/w), 1,5% (w/w) de amido como suplemento de carbono e 1% (w/w) de ureia como suplemento de nitrogênio. Tanto os parâmetros físico-químicos quanto nutricionais desempenharam um papel significativo na produção da enzima quitinase.

Oliveira *et al.* (2020) avaliaram a influência de resíduos agroindustriais na produção de endoglucanase pelo *Aspergillus niger* 426, cultivado em fermentação em estado sólido. A maior porcentagem de degradação de lignina foi observada em cascas de soja (56%), seguida por bagaço de cana-de-açúcar (36%) e palha de arroz (8,5%). A degradação da celulose foi em torno de 90% em cascas de soja e bagaço de cana, enquanto apenas 50% foi observada na palha de arroz. A produção máxima de endoglucanase ($112,34 \pm 0,984 \text{ U mL}^{-1}$) foi registrada para cascas de soja. As melhores condições do Design Experimental foram obtidas com 2,5 g de bagaço de cana, 2,3 g de palha de arroz e 5,2 g de cascas de soja, resultando em uma atividade máxima de $138,92 \pm 0,02 \text{ U mL}^{-1}$. A metodologia estatística possibilitou um aumento superior a 20% na produção de endoglucanase utilizando resíduos agroindustriais. Esses dados demonstram que *A. niger* 426 é uma fonte potencial de celulases que podem ser obtidas por fermentação em estado sólido utilizando resíduos agroindustriais.

An *et al.* (2021) investigaram a atividade de lacase de cepas de *Pleurotus ostreatus* e *Flammulina velutipes* utilizando diversos resíduos agroindustriais e florestais por meio de

fermentação em estado sólido. Diferentes espécies ou cepas da mesma espécie demonstraram a capacidade única de secretar lacase em fermentação com esses resíduos. No geral, as cepas de *P. ostreatus* apresentaram uma capacidade superior de secreção de lacase em comparação com as de *F. velutipes*, exceto no caso do talo de palha. A presença de casca de algodão foi benéfica para aumentar a atividade de lacase nas cepas de *P. ostreatus*, enquanto o talo de palha favoreceu a atividade de lacase nas cepas de *F. velutipes*. Esses resultados ressaltam a importância da seleção de resíduos agroindustriais e florestais adequados para a produção de lacase por fungos. As descobertas contribuem para a escolha de cepas apropriadas para a aplicação integrada de lacase de baixo custo na indústria.

Azzouz *et al.* (2022) realizaram a produção de xilanase pela cepa BG de *Aspergillus niger* utilizando farelo de trigo em fermentação em estado sólido (SSF). Um método de otimização de um fator por vez (OFAT) foi empregado para avaliar o impacto do período de incubação, pH inicial, umidade e temperatura de cultivo na produção de xilanase. Além disso, foram realizados experimentos utilizando um design Box-Behnken (BBD) e metodologia de superfície de resposta (RSM). A análise de variância (ANOVA) foi aplicada, e a produção de xilanase foi expressa por uma equação matemática em função dos fatores. A produção máxima de xilanase após a abordagem OFAT e a otimização por RSM foi significativa, com valores máximos de $4008,25 \pm 3,73$ U/g de substrato seco (U/gds) e $5427,51 \pm 4,4$ U/gds, respectivamente, em comparação com as condições iniciais ($1899,02 \pm 1,6$ U/gds) após 7 dias de fermentação. As condições ótimas estabelecidas pelo método RSM para a produção máxima de xilanase foram um pH de 2,5 a 37 °C, utilizando farelo de trigo como substrato umedecido a 84% após 66 horas de incubação, resultando em um aumento de 65,01% na produção de xilanase em relação às condições iniciais. A produção de xilanase pela cepa BG de *Aspergillus niger* utilizando RSM é considerada vantajosa para a bioconversão de resíduos agrícolas.

Singh *et al.* (2023) avaliaram as modificações bioquímicas durante a fermentação em estado sólido de diversos componentes dos resíduos de trigo pós-colheita, utilizando *Aspergillus flavus* e *Aspergillus niger*. Amostras de resíduos de trigo, incluindo internódios, folhas, palha e palha, foram coletadas de um campo natural e submetidas a diferentes estágios de decomposição por 40 e 60 dias. As amostras coletadas foram analisadas quanto às modificações bioquímicas e os resultados foram comparados com amostras iniciais não decompostas. O fungo *A. flavus* causou a maior decomposição das folhas, seguido pela palha e internódios. Durante os primeiros 40 dias, a perda foi composta principalmente por gorduras e ceras, seguidas por açúcares simples, aminoácidos, peptídeos e minerais. Nos 20 dias seguintes, a taxa de decomposição aumentou, com perda máxima de hemicelulose, celulose, lignina e

pectina. O fungo *A. niger* também causou perda de peso nas folhas, seguido pela palha e internódios. A perda de peso seco dos internódios foi significativa após 40 dias de tratamento, principalmente devido à decomposição de hemicelulose e celulose, enquanto a decomposição de pectina também contribuiu para a perda de peso seco. As folhas, palha e internódios apresentaram tendências semelhantes nas mudanças bioquímicas. A decomposição parcial da lignina foi observada durante o estudo. A pesquisa revelou a importância da gestão de resíduos agrícolas como um recurso natural valioso para a agricultura sustentável.

Melanouri *et al.* (2022) investigou a influência de dez agro-resíduos, incluindo palha de trigo, serragem de álamo, baga de uva, lascas de faia, torta de algodão, espigas de milho, resíduos de café, polpa de azeitona, palha de cevada e aveia, e casca de arroz, como substratos alternativos para o cultivo de cogumelos *Pleurotus*. Várias cepas nativas e comerciais de *P. ostreatus* e *P. eryngii* foram avaliadas quanto às taxas de crescimento micelial, produção de biomassa e atividades de endoglucanase e lacase. Os resultados mostraram que as cepas de *P. ostreatus* apresentaram as maiores taxas de crescimento em substratos como lascas de faia, palha de cevada, espigas de milho e casca de arroz, com tempos de colonização variando de 16 a 36 dias. Para *P. eryngii*, as maiores taxas de crescimento linear foram observadas em espigas de milho, polpa de azeitona, resíduos de café e palha de cevada, com períodos de colonização entre 26 e 51 dias. A produção máxima de biomassa variou de 115,32 a 454,42 mg/g de peso seco para *P. ostreatus* e de 108,50 a 422,59 mg/g para *P. eryngii*. As maiores atividades de endoglucanase foram registradas nas culturas de *P. eryngii* AMRL 163 em substratos de serragem de álamo e palha de cevada, enquanto *P. eryngii* AMRL 173 e *P. ostreatus* AMRL 150 cultivados em casca de arroz e palha de cevada produziram quantidades significativas de lacase. O estudo destacou o potencial industrial de converter agro-resíduos de baixo valor em biomassa fúngica e enzimas, resultando em produtos alimentícios valiosos.

Sosa-Martínez *et al.* (2024) avaliaram o bioprocessamento de fermentação em estado sólido (SSF) utilizando grãos de cervejaria (BSG) e pomáceas de maçã (AP) como fontes de carbono e matrizes para o crescimento de microrganismos, visando a produção de xilanase, pectinase e celulase. O processo foi analisado em escala maior por meio do design de um bioreator tipo coluna empacotada, equipado com sensores para monitorar parâmetros críticos como concentração de CO₂, umidade e temperatura. A simulação do processo foi utilizada para avaliar a viabilidade técnico-econômica do bioprocessamento em escala industrial, focando em qual formulação — xilanase (cenário 1), pectinase (cenário 2) ou celulase (cenário 3) — apresentava os melhores resultados para avançar à fase comercial. Uma análise de sensibilidade também foi realizada para explorar a influência de variações nos custos de matérias-primas e preços de

enzimas. Os resultados obtidos em maior escala estavam dentro das expectativas para condições ótimas. O cenário 1 demonstrou forte viabilidade econômica, com potencial de otimização adicional (caso base: 5000 kg/lote, ROI de 37,59%, tempo de retorno de 2,66 anos, IRR de 26,8% e valor presente líquido de USD 7.325.537). A análise de sensibilidade revelou que mudanças nos preços das enzimas, especialmente da xilanase, poderiam influenciar significativamente a rentabilidade do processo. O estudo também demonstrou o potencial de otimização de custos ao selecionar um meio de inoculação mais econômico e otimizar o uso de água para aumentar a eficiência e sustentabilidade do processo.

Perez *et al.* (2022) utilizou uma cepa selvagem de *Aspergillus* isolada para produzir enzimas pectinolíticas a partir de resíduos de café desidratados (polpa e casca) derivados de cerejas de café cultivadas nas regiões andinas do Equador. Foi possível identificar condições que maximizaram simultaneamente a produção de pectinases (expressa como Atividade Enzimática - EA) e a concentração de esporos (S), utilizando a metodologia de superfície de resposta em um desenho fatorial de 3 níveis, em bioreatores tipo bandeja simples. Após a análise e otimização dos modelos quadráticos, foram realizados três experimentos confirmatórios nas condições ótimas recomendadas (35 °C e 79% de umidade relativa), obtendo-se 29,9 IU/g para EA e $2,64 \times 10^6$ #Sp./g para S, valores que coincidiram com os previstos pelos modelos quadráticos, demonstrando sua validade. Os resultados obtidos são semelhantes aos previamente relatados por outros autores.

Sosa-Martínez *et al.* (2024) propôs uma abordagem sistemática para converter AFR em produtos valiosos por meio da fermentação em estado sólido (SSF). Utilizando a produção de enzimas fúngicas como estudo de caso, a metodologia adaptável se aplica a qualquer bioprocessamento de SSF. Inicialmente, as propriedades físico-químicas dos AFR foram avaliadas para determinar sua viabilidade como fontes de carbono e matrizes sólidas para SSF. Em seguida, cinco cepas foram selecionadas com base em sua capacidade de produzir enzimas (xilanase, pectinase e celulase). A pomácea de maçã (AP) e os grãos de cervejaria (BSG) com *Aspergillus* sp. (cepa G5) foram escolhidos. Os passos subsequentes envolveram uma abordagem estatística em duas fases, identificando e otimizando fatores críticos. As condições do processo foram avaliadas usando um desenho de Plackett-Burman, reduzindo as variáveis críticas a três (BSG/AP, pH, umidade). A Metodologia de Superfície de Resposta (Desenho Composto Central) otimizou ainda mais esses fatores para a co-síntese de xilanase, pectinase e celulase. A umidade teve o maior efeito nas três respostas. As condições ótimas variaram para cada enzima e foram validadas para maximizar a produção de X, P ou C. Os extratos obtidos foram utilizados para a extração de pectina de cascas de laranja, com o extrato contendo

principalmente xilanase ($X = 582,39$, $P = 22,86$, $C = 26,10 \text{ U mL}^{-1}$) mostrando uma recuperação significativa de pectina ($12,33 \pm 0,53\%$). Os resultados obtidos permitirão ajustar as condições do processo para obter coquetéis enzimáticos com uma composição personalizada para aplicações específicas.

Jatuwong *et al.* (2020) investigaram a produção de fitase, uma enzima que degrada fitatos para liberar fósforo em uma forma disponível, essencial para a digestão de fitatos e absorção de fósforo em animais, especialmente os monogástricos. Foram testadas cinco espécies de cogumelos (*Amauroderma rugosum*, *Ganoderma mastoporum*, *Marusmius sp.*, *Pholiota adiposa* e *Piptoporellus triqueter*) entre 27 espécies, todas apresentando produção positiva de fitase em ensaios em placa de ágar. Essas cinco espécies foram selecionadas para avaliar sua capacidade de produzir fitase em fermentação em estado sólido, utilizando cinco resíduos agrícolas (parchment de café, cachos vazios de palma, farelo de arroz, serragem e jacinto d'água) como substratos. A maior produção de fitase ($17,02 \pm 0,92$ unidades/grama de substrato seco) foi alcançada após uma semana de fermentação. A otimização da produção foi realizada por meio de abordagens estatísticas, utilizando um desenho de Plackett-Burman para examinar dez parâmetros relevantes. Dois parâmetros significativos, a quantidade de jacinto d'água e o teor de umidade, influenciaram o processo de produção. A produção máxima de fitase ($53,66 \pm 1,68$ unidades/grama de substrato seco, um aumento de 3,15 vezes) foi obtida em jacinto d'água com 85% de umidade, a um pH de 6,5, incubada a 30 °C por sete dias. A fitase crua de *P. adiposa* foi precipitada e caracterizada, mostrando alta atividade em condições de 42 °C e pH 5,0. Além disso, o Fe^{2+} aumentou a atividade da fitase, e o extrato precipitado apresentou melhor estabilidade a um pH de 8,0 e temperatura de 4 °C.

Lu *et al.* (2022) propuseram uma estratégia de cultivo substitutivo para *Auricularia auricula*, que conecta a biodegradação eficiente de lignocelulose da palha de milho por meio de pré-tratamento com o crescimento do micélio de *Auricularia auricula* em fermentação em estado sólido. O efeito de promoção do crescimento do micélio foi observado na seguinte ordem: pré-tratamento alcalino > pré-tratamento alcalino combinado com ozônio > pré-tratamento com ozônio > pré-tratamento com água a alta temperatura (controle). A maior degradação de celulose (35,38%) foi observada no grupo de pré-tratamento alcalino ($P < 0,05$), enquanto a perda máxima de lignina de 28,10% foi alcançada no grupo de pré-tratamento com ozônio. A análise de correlação mostrou que tanto a celulose quanto a lignina poderiam ser utilizadas como fontes de carbono para promover o crescimento do micélio, sendo que o efeito da celulose foi mais significativo. Altas atividades de beta-glucosidase (2,92 IU/g) e enzima de papel filtro (2,92 IU/g) foram observadas no grupo de pré-tratamento alcalino nos dias 6 e 8,

respectivamente, correlacionando-se significativamente com a taxa de degradação da celulose ($P < 0,01$).

Peña *et al.* (2023) investigaram valorizar os resíduos do processamento do chá verde para produzir tanase utilizando uma cepa endêmica dos Ghats Ocidentais, *Aspergillus niger* TBG 28A. A SSF foi realizada em frascos Erlenmeyer com folhas de chá verde usadas inoculadas com esporos de *A. niger* TBG 28A. A otimização do bioprocesso foi realizada utilizando o desenho experimental Box-Benkhen, alcançando um alto rendimento enzimático de 246,82 (U/g). O estudo demonstra a complexidade da degradação de taninos e os diferentes padrões de expressão da tanase fúngica obtida de *A. niger* TBG 28A. A enzima foi purificada, resultando em um aumento de 16,35% na pureza e uma massa molecular de 150 kDa. A produção de tanase com a nova cepa de *A. niger* TBG 28A representa uma estratégia interessante para revalorizar os resíduos do chá verde.

Oliveira *et al.* (2022) avaliaram a produção de enzimas lignocelulolíticas (carboximetilcelulases, xilanase, pectinase, lacase), além de compostos fenólicos e proteases, por meio da fermentação em estado sólido (SSF) utilizando o fungo *Lentinus strigosus* isolado da Amazônia. O resíduo de guaraná (*Paullinia cupana*) foi caracterizado por microscopia eletrônica de varredura (SEM), difração de raios X (XRD) e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). A SSF foi realizada com 60% de umidade do resíduo, a 30 graus Celsius, durante 10 dias. A biomassa lignocelulósica apresentou estruturas fragmentadas com formas irregulares e porosidades, composta principalmente por celulose (19,16%), hemicelulose (32,83%) e lignina (6,06%). Durante a SSF, foram observados valores significativos de CMCase (0,84 U/g) no 8º dia, xilanase (1,00 U/g) no 7º dia, pectinase (2,19 U/g) no 6º dia, lacase (176,23 U/mL) no 5º dia, compostos fenólicos (10,27 µg/mL) no 1º dia, proteínas solúveis (0,08 mg/mL) no 5º dia e protease (8,30 U/mL) no 6º dia. De modo geral, o resíduo agroindustrial utilizado apresentou resultados promissores como uma alternativa viável para uso como substrato em processos biotecnológicos.

Melanouri *et al.* (2022) estudaram O potencial de cepas selvagens e comerciais de *Pleurotus ostreatus* e *P. eryngii* para colonizar e produzir carposomas após a fermentação em estado sólido de cinco substratos compostos por resíduos agroindustriais (palha de trigo, aparas de madeira de faia, resíduo de café, palha de cevada e aveia, e casca de arroz), suplementados com farelo de trigo, foi investigado. O efeito da composição do substrato na viabilidade do bioprocesso foi avaliado para as diferentes cepas por meio de parâmetros quantitativos (rendimento de cogumelos e Eficiência Biológica - BE %) e qualitativos (peso, tamanho, cor, firmeza dos carposomas). As cepas de *P. ostreatus* produziram carposomas mais cedo do que

as de *P. eryngii*. A formação precoce de frutos foi promovida na palha de trigo para as cepas de *P. ostreatus*, enquanto os menores valores de earliness para *P. eryngii* foram observados no substrato de palha de cevada e aveia. Em termos de produtividade, a cepa AMRL 150 de *P. ostreatus* apresentou a maior BE (>70%) em todos os substratos, exceto na casca de arroz, enquanto a cepa AMRL 144 alcançou o maior rendimento e BE nos substratos de palha de cevada e aveia (75,30 e 64,26%, respectivamente). As cepas de *P. eryngii* produziram um número menor, mas carposomas mais pesados. Os maiores valores de BE% para essas cepas foram registrados nos substratos de palha de trigo e palha de cevada e aveia. A BE foi correlacionada a parâmetros de crescimento da fase vegetativa do fungo. Quanto à cor dos cogumelos, *P. ostreatus* apresentou coloração mais clara do que *P. eryngii*, e o substrato de palha de cevada e aveia promoveu essa leveza em ambas as cepas. Cogumelos de *P. ostreatus* mais firmes foram produzidos no resíduo de café. Não foram detectadas diferenças na brancura e firmeza dos cogumelos de *P. eryngii* em nenhum dos substratos utilizados. Os dados indicam que os cogumelos do gênero *Pleurotus* podem ser cultivados em resíduos agroindustriais de baixo ou zero valor, com grande importância financeira e ambiental para a produção de produtos alimentícios de valor agregado.

Bhattacharya *et al.* (2022) abordaram a valorização de resíduos de agulhas de pinheiro (PN), amplamente disponíveis e de baixo custo, na produção de enzimas celulolíticas e pellets de combustível de alto valor calorífico (CV). Estudos iniciais em frascos, utilizando pré-tratamento com vapor de água quente (HWSP) com *Aspergillus niger* MTCC 9652 por 5 dias, resultaram em um aumento nas atividades de celulase, endoglucanase e xilanase em comparação com as agulhas de pinheiro não tratadas (UPN). Experimentos de fermentação foram ampliados em um reator de leito fixo de 6 L, utilizando UPN em diferentes alturas de leito. Os rendimentos máximos de celulase e xilanase foram alcançados em $9,97 \pm 0,27$ FPU g-ds(-1) e 8276 ± 254 IU g-ds(-1), respectivamente, após 72 h. O resíduo fermentado mostrou 53,5% de consumo de holocelulose, uma diminuição no índice de cristalinidade de 46% para 29,5%, e um aumento no teor total de lignina de 45,9%. O resíduo fermentado foi processado para a produção de pellets, resultando em um CV mais alto ($19,13 \pm 0,69$ MJ kg(-1)) em comparação com o pellet feito de PN não fermentado ($17,63 \pm 0,66$ MJ kg(-1)), além de uma maior resistência à compressão. O teor de enxofre (0,14%) estava abaixo do limite permitido de emissão de SOx para combustíveis com teor de cinzas inferior a 5%. Portanto, este estudo representa uma abordagem inovadora e sustentável para a valorização de resíduos de agulhas de pinheiro.

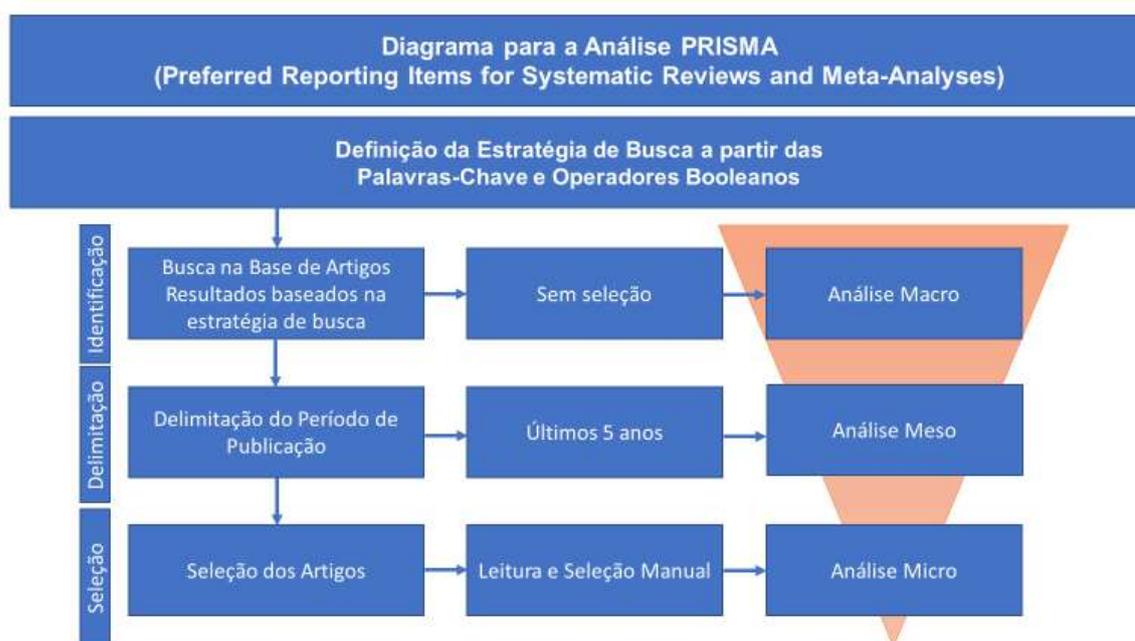
5. MÉTODOS

No estudo da revisão sistemática da literatura, o método de monitoramento empregado consiste na análise de dados provenientes de artigos científicos. O objetivo foi mapear artigos relacionados à fermentação em fase semissólida e, posteriormente, especificá-la para os resíduos industriais como matéria-prima. Como fonte de informações, utilizou-se bases de dados onde foram realizadas as buscas por artigos científicos delimitados através de palavras-chave.

A estratégia de busca utilizada neste trabalho foi conduzida de acordo com as diretrizes do método Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Antes de iniciar a coleta sistemática de estudos, foi realizada uma busca não estruturada para identificar palavras-chave regularmente associadas ao tema de fermentação semissólida de resíduos agroindustriais.

Após a escolha da plataforma e definição da estratégia de busca, realizou-se a seleção e sistematização dos artigos encontrados. Estas foram realizadas através da análise dos documentos de acordo com, por exemplo, a série histórica, a distribuição por países, a distribuição por universidades, dentre outras verificações. A Figura 01 ilustra as etapas do método PRISMA aplicado à Fermentação Semissólida de Resíduos Agroindustriais.

Figura 1 – Diagrama da Análise Prisma



Fonte: Adaptado de Rethlefsen *et al* (2021).

A plataforma Web of Science foi escolhida para compor a base de dados com o objetivo de analisar as distribuições de artigos. As palavras-chave utilizadas Fermentação, Semissólida e Resíduos, adaptadas com dos devidos operadores booleanos, no campo de Título através da *string*: ((semi-solid OR semi-solid-state OR solid-state) AND ferment* AND (Residue* OR Bioresidue*)).

No estudo de prospecção tecnológica, o método de monitoramento empregado envolveu a análise de dados provenientes de documentos de patentes. O objetivo foi mapear tecnologias relacionadas à fermentação por meio do processo de fermentação em fase semissólida. A plataforma Questel Orbit® foi a ferramenta utilizada para realizar as buscas.

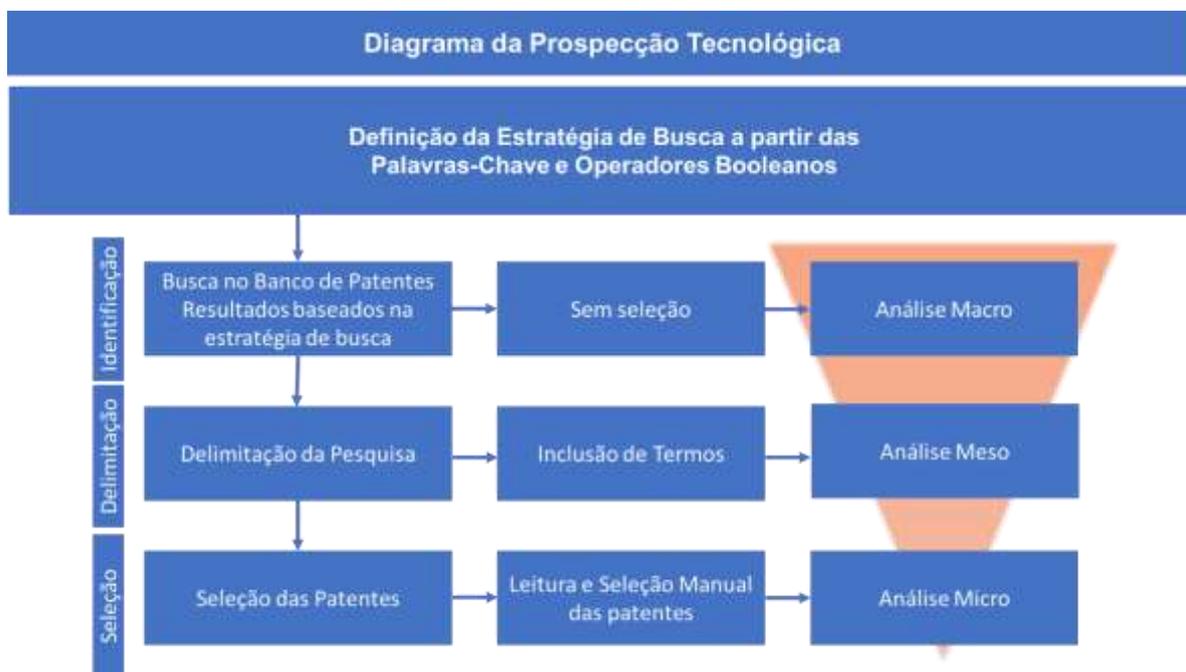
A coleta de dados sobre tecnologias de fermentação foi conduzida através da utilização de palavras-chave como entrada na ferramenta Questel Orbit®. Esta pesquisa foi direcionada aos campos de título e resumo, visando obter uma representação abrangente de documentos entre os anos de 2004 e 2024. Inicialmente, foram analisados os números de patentes depositadas como o primeiro conjunto de dados da análise Macro. Para refinar a pesquisa, foram adicionadas mais palavras-chave com o intuito de ter uma análise mais aprofundada. A análise com base nas taxonomias foi essencial para a prospecção tecnológica, possibilitando a visualização de tendências em três níveis: Macro, Meso e Micro (Moreira, 2016).

Análise no nível Macro consiste em uma análise dos documentos de acordo com a série histórica de patentes concedidas, a distribuição por países, por universidades, centros de pesquisa e empresas ligadas ao conhecimento científico e desenvolvimento da tecnologia, parcerias (internacionais e com empresas). A análise macro abordou uma análise mais abrangente dos documentos sem entrar em detalhes específicos sobre a fermentação semissólida. A estratégia de busca foi realizada a partir da identificação das patente pelas palavras-chave Fermentação e Semissólida, com dos devidos operadores booleanos, nos campos de Título e Resumo através da *string*: ((SEMI+ AND +SOLID+) AND FERMENT+)/TI/AB.

Na análise nível Meso, os documentos foram categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes diante do tema, adicionando a taxonomia como delimitador importante para o refinamento da pesquisa, deixando-a mais específica através do termo delimitador +RESIDUE+ obtendo a seguinte *string*: ((SEMI+ AND +SOLID+) AND FERMENT+ AND +RESIDUE+)/TI/AB.

Por fim, como análise nível Micro, foram identificadas as particularidades e detalhes de cada taxonomia da análise Meso, desta maneira, foi restringido a busca para o tema específico. A Figura 2 a seguir ilustra as etapas da prospecção tecnológica realizada.

Figura 2 – Diagrama da Prospecção Tecnológica.



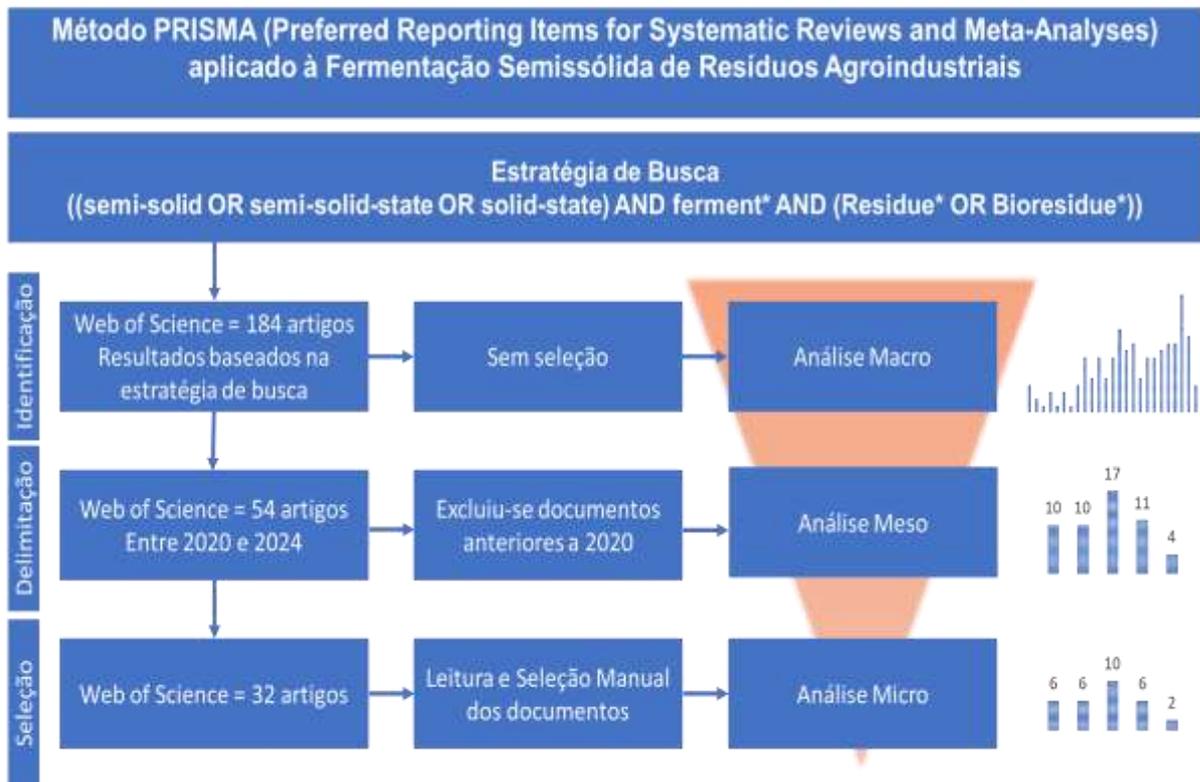
Fonte: Elaboração do Autor.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Da Revisão Sistemática da Literatura

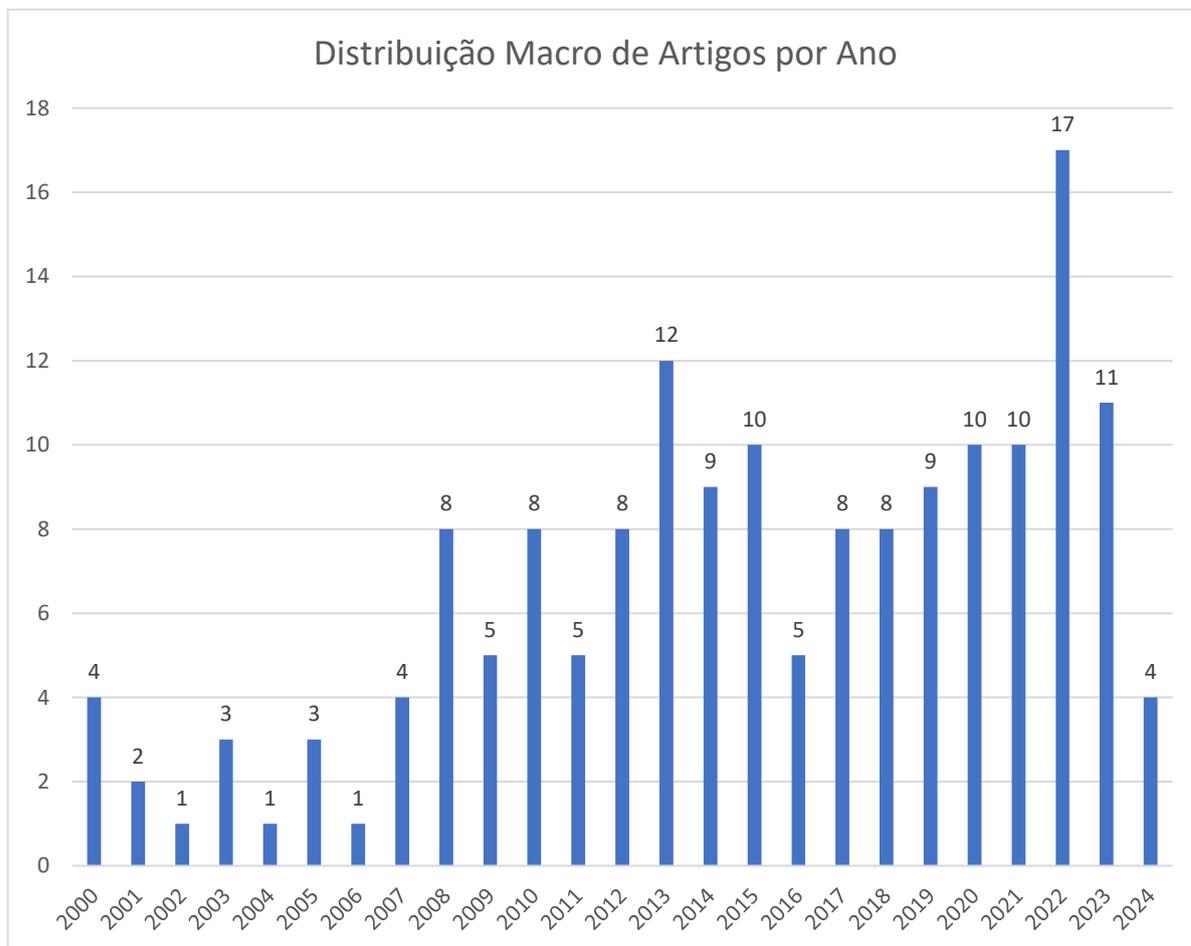
A revisão sistemática da literatura foi realizada de acordo com o método PRISMA discutido na metodologia. A Figura 3 ilustra as etapas de busca adaptadas para o tema de fermentação semissólida de resíduos agroindustriais, com os respectivos resultados de cada etapa da revisão.

Figura 3 – Diagrama da Metodologia PRISMA aplicada à Fermentação Semissólida de Resíduos Agroindustriais.



Através da busca foram encontrados 184 artigos, os quais 150 compõem o período entre 2004 e 2024. Após a identificação de todos os artigos, realizou-se a distribuição Macro de artigos por ano, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Distribuição Macro de Artigos por Ano.

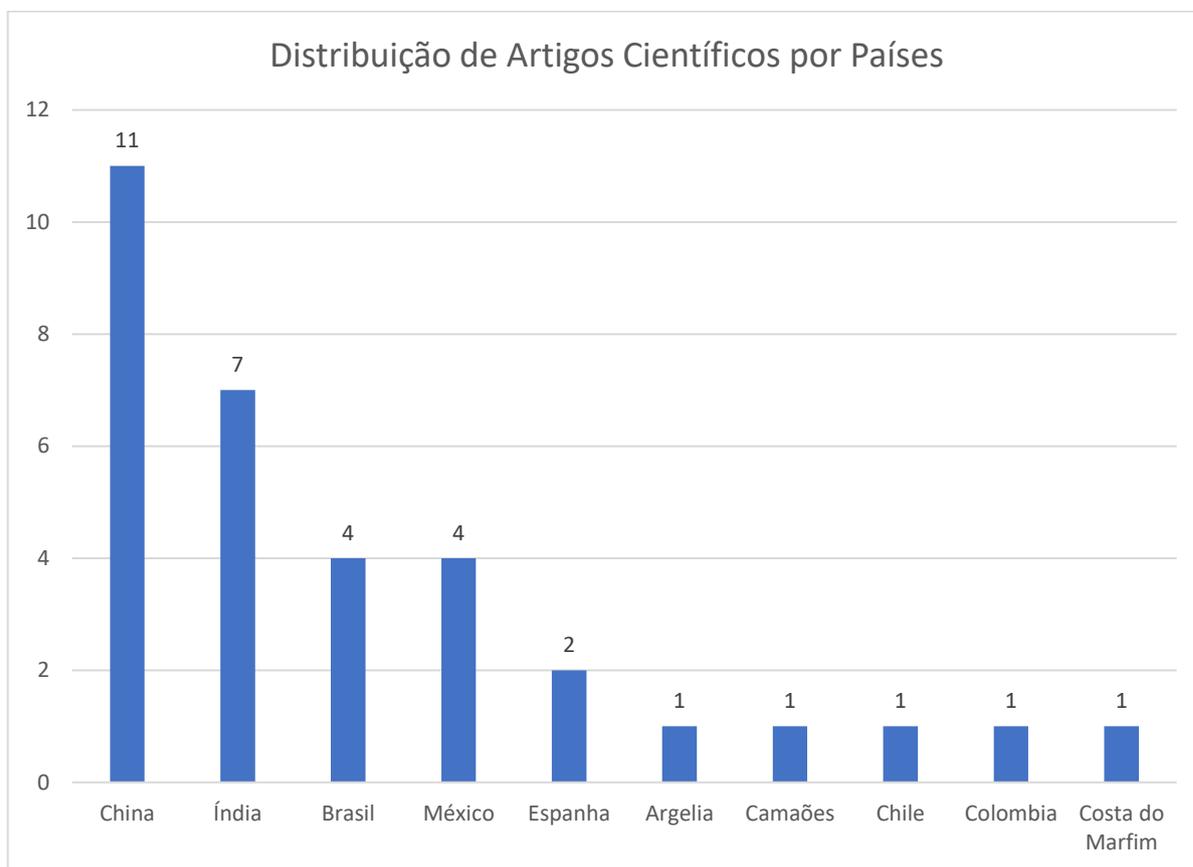


Fonte: Adaptado da Plataforma Web of Science.

A distribuição macro de artigos por ano mostra tendências significativas na produção científica. Nesse gráfico podemos ver uma tendência predominantemente ascendente com diminuição em 2023 quando comparado com o ano anterior.

Após a distribuição macro de artigos por ano de publicação, realizou-se a distribuição macro de artigos por países. Esta distribuição revela um panorama competitivo dos países que mais publicam, como podemos ver na figura 5 a seguir.

Figura 5 – Distribuição de Artigos Científicos por Países.

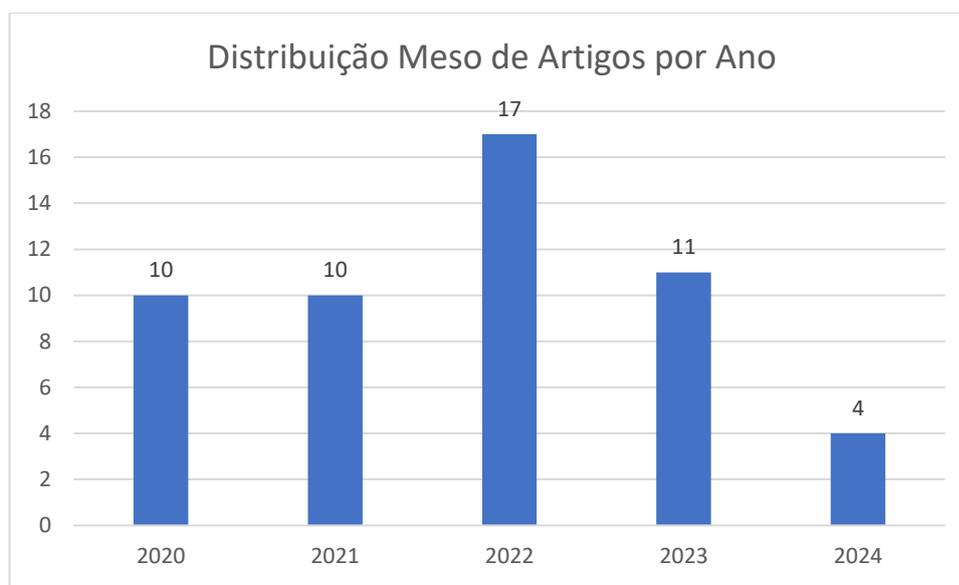


Fonte: Adaptado da Plataforma Web of Science.

A distribuição macro de artigos por países mostra a liderança da China, contabilizando 11 artigos publicados. Em seguida vem a Índia, com 7 publicações, e em terceiro vêm Brasil e México.

Ao delimitar os resultados da análise Macro, obtêm-se a análise Meso. A análise Meso teve o intuito de delimitar os resultados da análise Macro aos últimos 5 anos, com o objetivo de compor o Estado da Arte. A figura 6 a seguir ilustra a distribuição dos artigos científicos publicados nos últimos 5 anos.

Figura 6 – Distribuição Meso de Artigos entre 2020 e 2024.



Fonte: adaptado da Plataforma Web of Science.

Após a delimitação, realizou-se a leitura de todos os títulos e resumos para consolidar a etapa de seleção, intitulada análise Micro. Feita a seleção, organizou-se o Quadro 2 a seguir, categorizando os artigos por autores, título, resíduos agroindustriais utilizados e micro-organismos utilizados.

Quadro 2 – Panorama dos principais resíduos agroindustriais e micro-organismos

Autores	Título	Resíduos Agroindustriais	Micro-organismos
Almanaa, TN; Vijayaraghavan, P; Alharbi, NS; Kadaikunnan, S; Khaled, JM; Alyahya, SA	Solid state fermentation of amylase production from <i>Bacillus subtilis</i> D19 using agro-residues	Casca de trigo Casca de banana Casca de laranja Farelo de arroz Casca de abacaxi	<i>Bacillus subtilis</i>
An, Q; Liu, ZY; Wang, CR; Yang, J; Chen, SY; Chen, X; Zhang, YJ; Bian, LS; Han, ML	Laccase Activity from <i>Pleurotus ostreatus</i> and <i>Flammulina velutipes</i> Strains Grown on Agro- and Forestry Residues by Solid-state Fermentation	Casca de caroço de algodão Sabugo de milho Populus beijingensis Palha de milho	<i>Pleurotus ostreatus</i>
Azzouz, Z; Bettache, A; Djinni, I; Boucherba, N; Benallaoua, S	Biotechnological production and statistical optimization of fungal xylanase by bioconversion of the lignocellulosic biomass residues in solid-state fermentation	Farelo de trigo	<i>Aspergillus niger</i>
Bangoria, P; Divecha, J; Shah, AR	Production of mannoooligosaccharides producing β -Mannanase by newly isolated <i>Penicillium aculeatum</i> APS1 using oil seed residues under solid state fermentation	Bagaço de palmiste Farelo de soja	<i>Penicillium aculeatum</i>
Caroca, E; Elorrieta, M; Palma, C; Navia, D; Lebrero, R; Carvajal, A	Lignocellulosic residue valorization in a sequential process of solid-state fermentation and solid substrate anaerobic digestion	Resíduos de vagem de feijão comum (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	<i>Trametes versicolor</i>
Oliveira, F; de Melo, MR; Buzato, JB	Effect of agro-industrial residues mixtures on the production of endoglucanase by <i>Aspergillus niger</i> in solid state fermentation	Casca de soja Bagaço de cana-de-açúcar Palha de arroz	<i>Aspergillus niger</i>

Oliveira, SD; Asevedo, EA; de Araújo, JS; Brito, PB; Costa, CLDC; de Macedo, GR; dos Santos, ES	Enzymatic extract of <i>Aspergillus fumigatus</i> CCT 7873 for hydrolysis of sugarcane bagasse and generation of cellulose nanocrystals (CNC)	Fibras de cana-de-açúcar	<i>Aspergillus fumigatus</i>
Oliveira, SD; Gouvêa, PRD; de Aguiar, LVB; Pessoa, VA; Costa, CLDC; Chevreuil, LR; Brito Nascimento, LBD; dos Santos, ES; Sales-Campos, C	Production of Lignocellulolytic Enzymes and Phenolic Compounds by <i>Lentinus strigosus</i> from the Amazon Using Solid-State Fermentation (SSF) of Guarana (<i>Paullinia cupana</i>) Residue	Resíduo de guaraná	<i>Lentinus strigosus</i>
Ding, XQ; Yao, L; Hou, Y; Hou, YB; Wang, GL; Fan, JH; Qian, LH	Optimization of Culture Conditions During the Solid-State Fermentation of Tea Residue Using Mixed Strains	Resíduos de chá	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Eliopoulos, C; Markou, G; Chorianopoulos, N; Haroutounian, SA; Arapoglou, D	Preliminary Research Concerning the Enrichment of Industrial Hemp Extract Residues via Solid State Fermentation with <i>Pleurotus ostreatus</i>	Extrato de cânhamo industrial (IHER).	<i>Pleurotus ostreatus</i>
Falcao, LD; do Amaral, TS; Brasil, GB; Albuquerque, PM	Improvement of endoglucanase production by <i>Aspergillus brasiliensis</i> in solid-state fermentation using cupuacu (<i>Theobroma grandiflorum</i>) residue as substrate	Resíduos de Cupuaçu	<i>Aspergillus brasiliensis</i>
Han, ML; An, Q; Ma, KY; An, WN; Hao, WY; Liu, MY; Shi, WY; Yang, J; Bian, LS	A Comparative Study on the Laccase Activity of Four Basidiomycete Fungi with Different Lignocellulosic Residues via Solid-state Fermentation	Palha de arroz Bagaço de cana-de-açúcar Casca de frutas	<i>Cerrena unicolor</i> <i>Lenzites betulinus</i> <i>Stropharia rugosoannulata</i> <i>Auricularia heimuer</i>

Jatuwong, K; Kumla, J; Suwannarach, N; Matsui, K; Lumyong, S	Bioprocessing of Agricultural Residues as Substrates and Optimal Conditions for Phytase Production of Chestnut Mushroom, <i>Pholiota adiposa</i> , in Solid State Fermentation	Papel de café Cachos vazios de fruta de palma de óleo Farelo de arroz Serragem Jacinto-de-água	<i>Pholiota adiposa</i>
Keong, LYE; Toh, M; Lu, YY; Liu, SQ	Biotransformation of okara (soybean residue) through solid-state fermentation using probiotic <i>Bacillus subtilis</i> and <i>Bacillus coagulans</i>	Okara - que é o resíduo gerado durante o processamento de soja.	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus coagulans</i>
Kwanga, SN; Djuffo, DT; Boum, AT; Anoh, FA; Dongmo, PMJ	Effect of Solid-State Fermentation on the Essential Oil Yield of <i>Curcuma longa</i> Residues	Resíduos de <i>Curcuma longa</i>	-
Li, WY; Zhao, LL; He, XL	Degradation potential of different lignocellulosic residues by <i>Trichoderma longibrachiatum</i> and <i>Trichoderma afroharzianum</i> under solid state fermentation	Palha de milho e Resíduos de Alcaçuz	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>
Liu, DD; Guo, YT; Ma, HL	Production of value-added peptides from agro-industrial residues by solid-state fermentation with a new thermophilic protease-producing strain	Farelo de Soja e Bagaço de Cerveja	<i>Bacillus licheniformis</i>
Liu, HJ; Duan, WD; Liu, C; Meng, LX; Li, HX; Li, R; Shen, QR	Spore production in the solid-state fermentation of stevia residue by <i>Trichoderma guizhouense</i> and its effects on corn growth	Resíduo de Stevia	<i>Trichoderma guizhouense</i>
Lu, XH; Li, F; Zhou, X; Hu, JR; Liu, P	Biomass, lignocellulolytic enzyme production and lignocellulose degradation patterns by <i>Auricularia auricula</i> during solid state fermentation of corn stalk residues under different pretreatments	Palha de milho	<i>Auricularia auricular</i>

Martínez-Avila, O; Llimós, J; Ponsá, S	Integrated solid-state enzymatic hydrolysis and solid-state fermentation for producing sustainable polyhydroxyalkanoates from low-cost agro-industrial residues	Grãos de Cerveja Pomáceas de Uva Resíduos de Azeitona	<i>Aspergillus niger</i>
Melanouri, EM; Dedousi, M; Diamantopoulou, P	Cultivating <i>Pleurotus ostreatus</i> and <i>Pleurotus eryngii</i> mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part I: Screening for growth, endoglucanase, laccase and biomass production in the colonization phase br	Palha de trigo Serragem de madeira de álamo Bagaço de uva Cavacos de madeira de faia Torta de algodão Sabugo de milho Resíduo de café Polpa de oliva Palha de cevada e aveia Casca de arroz	<i>Pleurotus ostreatus</i> <i>Pleurotus eryngii</i>
Melanouri, EM; Dedousi, M; Diamantopoulou, P	Cultivating <i>Pleurotus ostreatus</i> and <i>Pleurotus eryngii</i> mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part II: Effect on productivity and quality of carposomes	Palha de trigo Serragem de madeira de bétula Resíduo de café Palha de cevada e aveia Casca de arroz	<i>Pleurotus ostreatus</i> <i>Pleurotus eryngii</i>
Meng, Z; Xiang, SS; Wang, X; Zhang, J; Bai, GX; Liu, HJ; Li, R; Shen, QR	Turning Waste into Wealth: Utilizing <i>Trichoderma</i> 's Solid-State Fermentation to Recycle Tea Residue for Tea Cutting Production	Resíduos de chá	<i>Trichoderma guizhouense</i>
Michael, RAZ	Production of Chitinase from <i>Chromobacterium violaceum</i> Using Agro Industrial Residues under Solid State Fermentation	Farelo de trigo Casca de batata Folha de uva	<i>Chromobacterium violaceum</i>
Peña-Lucio, EM; Chávez-González, ML; Londoño-Hernandez, L; Ruiz, HA; Martínez-Hernandez, JL; Govea-Salas, M; Sukumaran, PN;	Solid-State Fermentation of Green Tea Residues as Substrates for Tannase Production by <i>Aspergillus niger</i> TBG 28A: Optimization of the Culture Conditions	Folhas de chá verde usadas	<i>Aspergillus niger</i>

Abdulhameed, S; Aguilar, CN			
Pérez, JN; Arias, BSC; Quintero, JCD; Baca, SZ; Pais-Chanfrau, JM	Multi-Objective Statistical Optimization of Pectinolytic Enzymes Production by an <i>Aspergillus</i> sp. on Dehydrated Coffee Residues in Solid-State Fermentation	Resíduos de café desidratado	<i>Aspergillus</i> sp.
Rocha, FTB; Brandao-Costa, RMP; Neves, AGD; Cardoso, KBB; Nascimento, TP; Albuquerque, WWC; Porto, ALF	Purification and characterization of a protease from <i>Aspergillus sydowii</i> URM5774: Coffee ground residue for protease production by solid state fermentation	Resíduos de Café	<i>Aspergillus sydowii</i>
Shradhdha, S; Murty, DS	Production of Lignolytic and Cellulolytic Enzymes by using Basidiomycetes Fungi in the Solid State Fermentation of Different Agro-Residues	Farelo de arroz Farelo de amendoim Palha de arroz Palha de trigo Palha de sorgo Palha de bajra Feno de sorgo Palha de milho	<i>Basidiomycetes Fungi</i>
Singh, R; Singh, BJ; Kumar Mukherjee, T; Kumar, V; Upadhyay, SK	Biochemical Changes During Solid State Fermentation of Wheat Crop Residues by <i>Aspergillus flavus</i> Link and <i>Aspergillus niger</i> van Tieghem	Internódios Folha Palha	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus niger</i>
Sosa-Martínez, JD; Montañez, J; Contreras- Esquivel, JC; Balagurusamy, N; Gadi, SK; Morales- Oyervides, L	Agroindustrial and food processing residues valorization for solid-state fermentation processes: A case for optimizing the co-production of hydrolytic enzymes	Bagaço de maçã Grãos gastos de cervejaria	

Tippanavar, N; Bhat, D; Rebello, O; Prabhu, G; Selvaraj, S; Bhat, RM	Bio-utilization of agricultural residue banana plant shoot through solid state fermentation for production of inulinase using newly isolated <i>Nothophoma anigozanthi</i> JAM	Pó de broto de planta de banana	<i>Nothophoma anigozanthi</i>
Wang, XY; Zhang, GL; Dang, YY	Enhanced Extraction of Flavonoids from Licorice Residues by Solid-State Mixed Fermentation	Resíduos de Alçaçuz	
Xu, L; Sun, K; Wang, F; Zhao, LT; Hu, JH; Ma, HL; Ding, ZY	Laccase production by <i>Trametes versicolor</i> in solid-state fermentation using tea residues as substrate and its application in dye decolorization	Resíduos de Chá	<i>Trametes versicolor</i>

Fonte: Elaboração do autor.

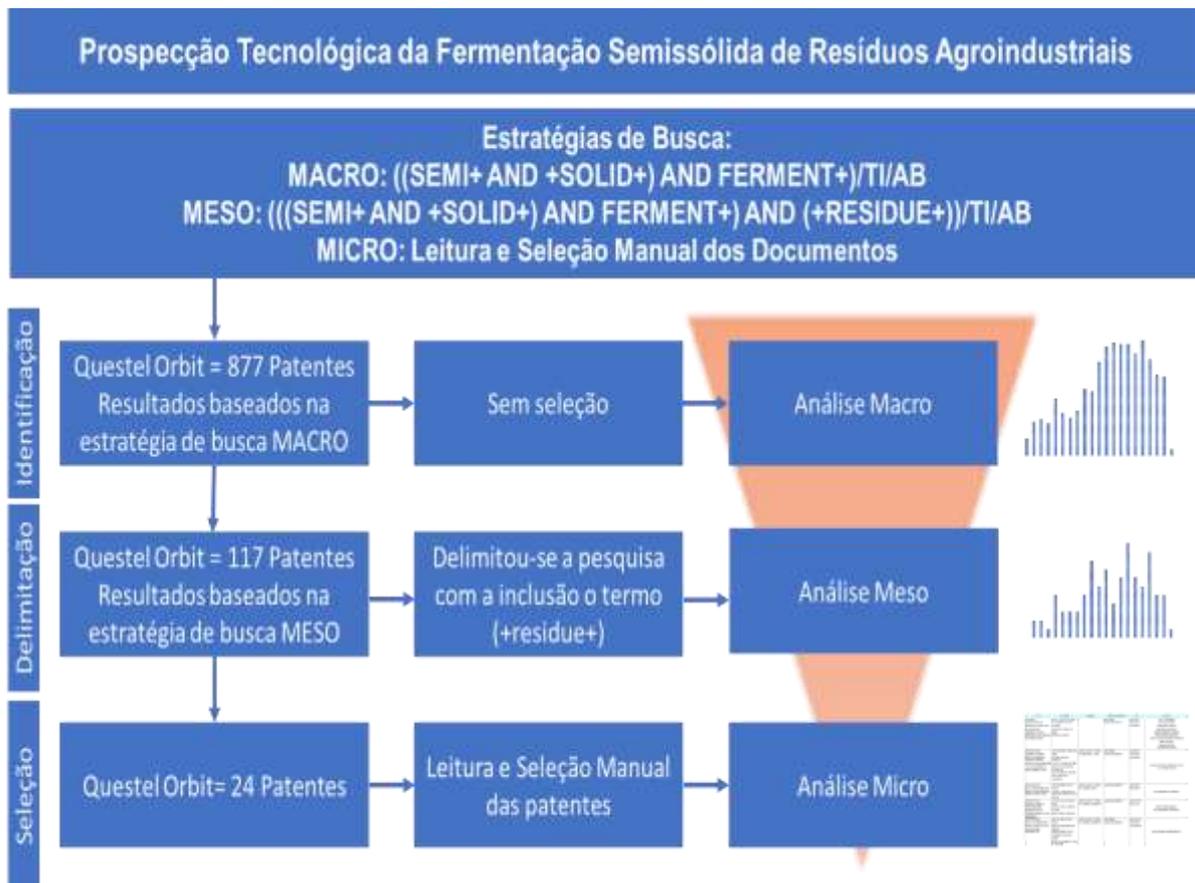
O quadro 2 exibe os artigos sobre a utilização de resíduos agroindustriais em processos de fermentação em estado semissólido destacando os resíduos utilizados e os micro-organismos. Ao utilizar essa abordagem, as principais informações são transmitidas de maneira mais eficaz, promovendo uma melhor compreensão e, desta forma, cumprindo o papel da análise Micro.

6.2. Da Prospecção Tecnológica

6.2.1. Análise Macro

A análise Macro foi realizada utilizando a plataforma Questel Orbit com o objetivo de analisar as distribuições dos depósitos de patentes no período de 2004 a 2024. A Figura 7 a seguir ilustra as etapas da prospecção tecnológica com os respectivos resultados.

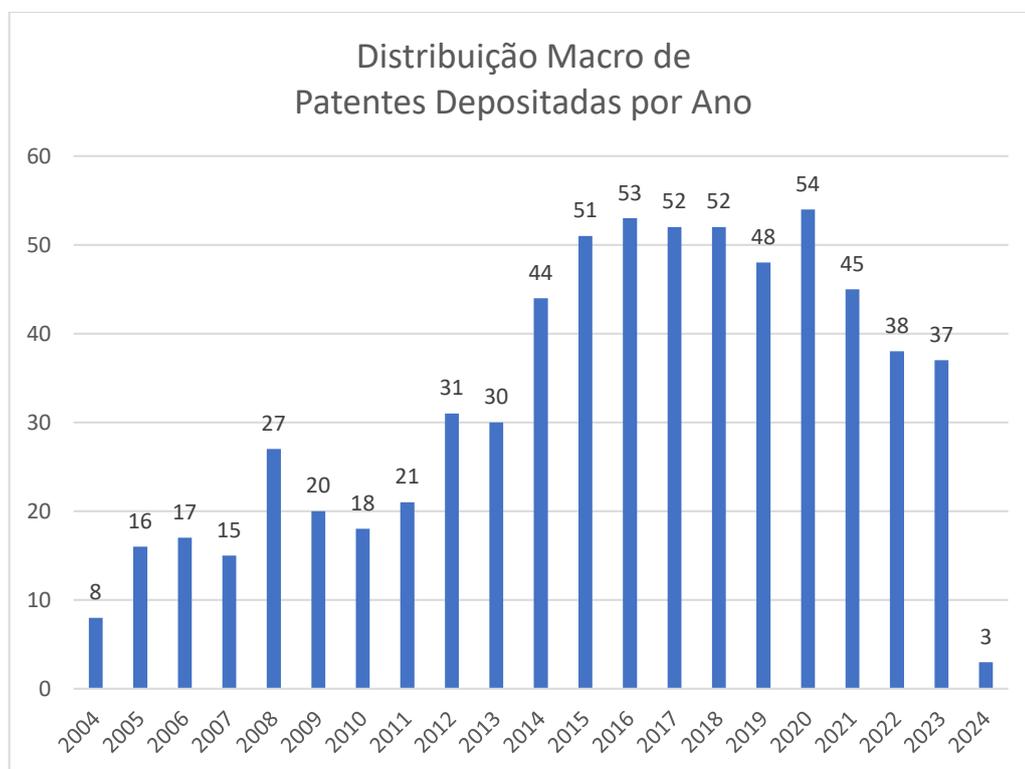
Figura 7 – Etapas da Prospecção Tecnológica da Fermentação Semissólida de Resíduos Agroindustriais



Fonte: Elaboração do autor.

Das 866 patentes encontradas, 677 patentes estão no período proposto, dispostas na distribuição de patentes apresentadas na Figura 8.

Figura 8 – Distribuição Macro de Patentes Depositadas por Ano.



Fonte: Adaptado da Plataforma Questel Orbit.

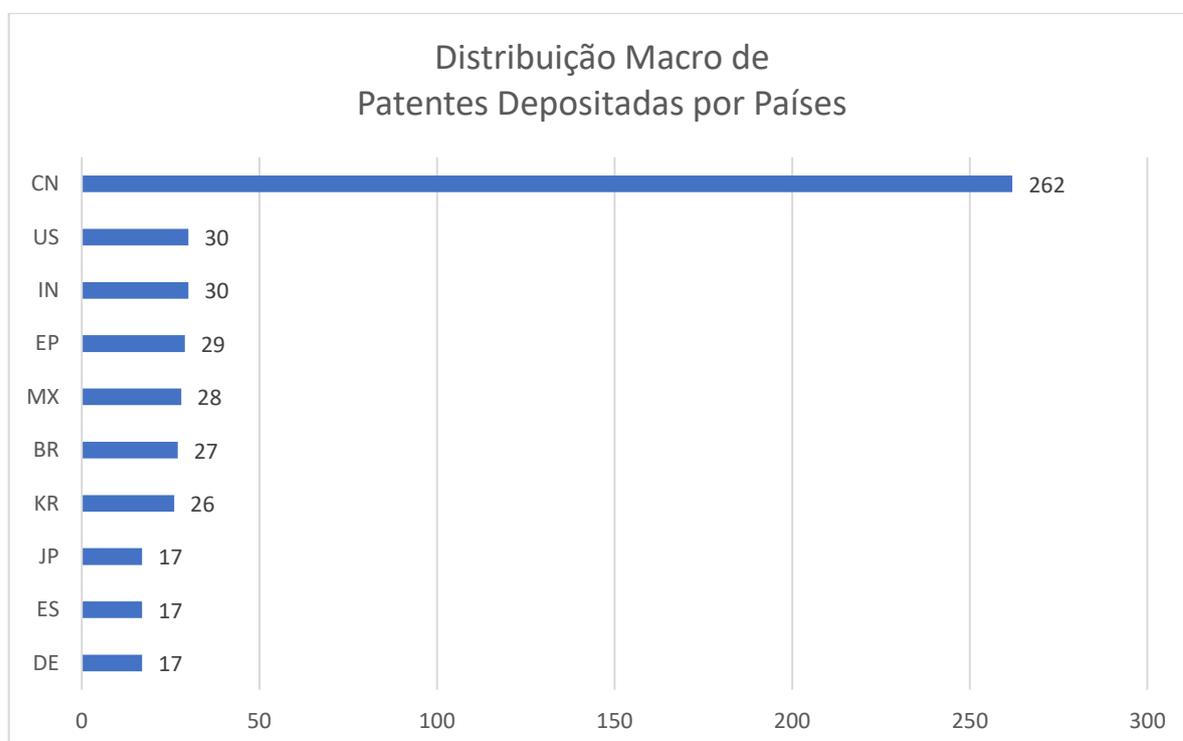
Percebe-se um comportamento predominantemente ascendente do número de patentes depositadas até o ano de 2020. A partir de 2021 houve uma diminuição significativa na quantidade de pedidos ao comparar com o período de 2015 a 2020, onde corriqueiramente tinha-se mais de 50 patentes depositadas por ano. Esta diminuição pode estar relacionada ao período de pandemia que se iniciou em 11 de março de 2020 e terminou em 05 de maio de 2023. Os dados de 2023 e 2024 devem ser analisados com cautela, uma vez que toda patente depositada passa pelo período de sigilo de 18 meses contados a partir da data de depósito, de acordo com o Art. 30 da Lei Nº 9279/96 que regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial.

A distribuição de patentes por países é um aspecto importante para entender a atividade inventiva em diferentes regiões do mundo. Ao analisar a distribuição de patentes por países, é possível identificar os principais depositantes em termos de atividade de patentes. Isso pode

fornecer as tendências de inovação globais, as áreas de especialização de cada país e as possíveis oportunidades de colaboração ou competição.

Além disso, a distribuição de patentes por países também pode refletir o ambiente regulatório e de negócios de cada nação, bem como sua capacidade de inovação e investimento em pesquisa e desenvolvimento. Portanto, ao analisar a distribuição de patentes por países, os pesquisadores, empresas e formuladores de políticas podem obter uma visão abrangente do cenário de inovação global e tomar decisões informadas com base nessas informações. A Figura 9 apresenta a distribuição macro de patentes por países depositantes.

Figura 9 – Distribuição Macro de Patentes Depositadas por Países.

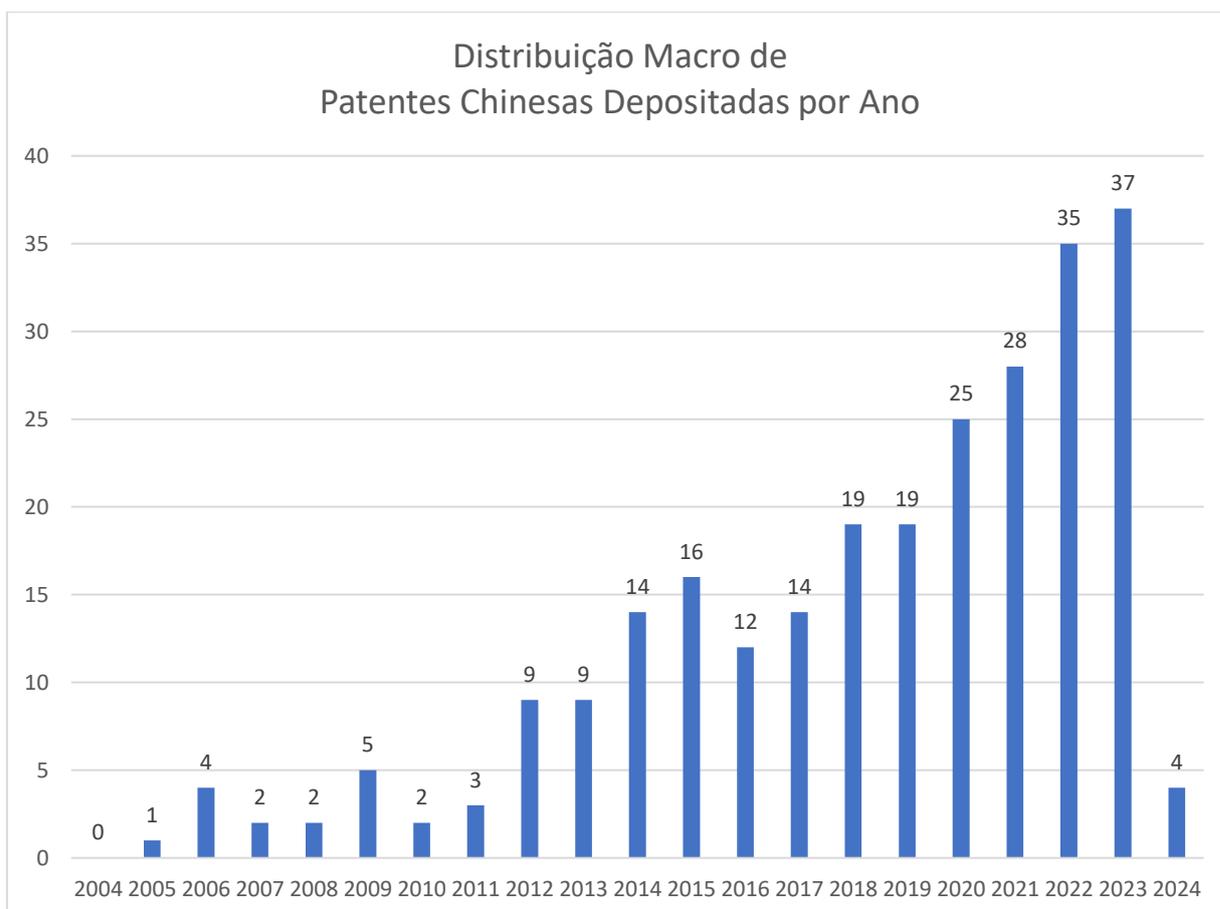


Fonte: Adaptada de Questel Orbit.

No que diz respeito à distribuição de patentes depositadas por países, observa-se claramente a liderança da China com 262 patentes depositadas. Empatados como os segundos maiores depositantes, os Estados Unidos e a Índia possuem aproximadamente 23% de depósitos quando comparados à líder China. O Brasil aparece em 6º lugar com 27 patentes, aproximadamente 10%.

Construindo-se, a China teve uma produção peculiar de patentes relacionadas à fermentação semissólida no período de pandemia. Tal produção teve grande volume quando comparado ao período anterior à pandemia e comportou-se de maneira ascendente, em direção oposta à tendência mundial, como apresenta Figura 10.

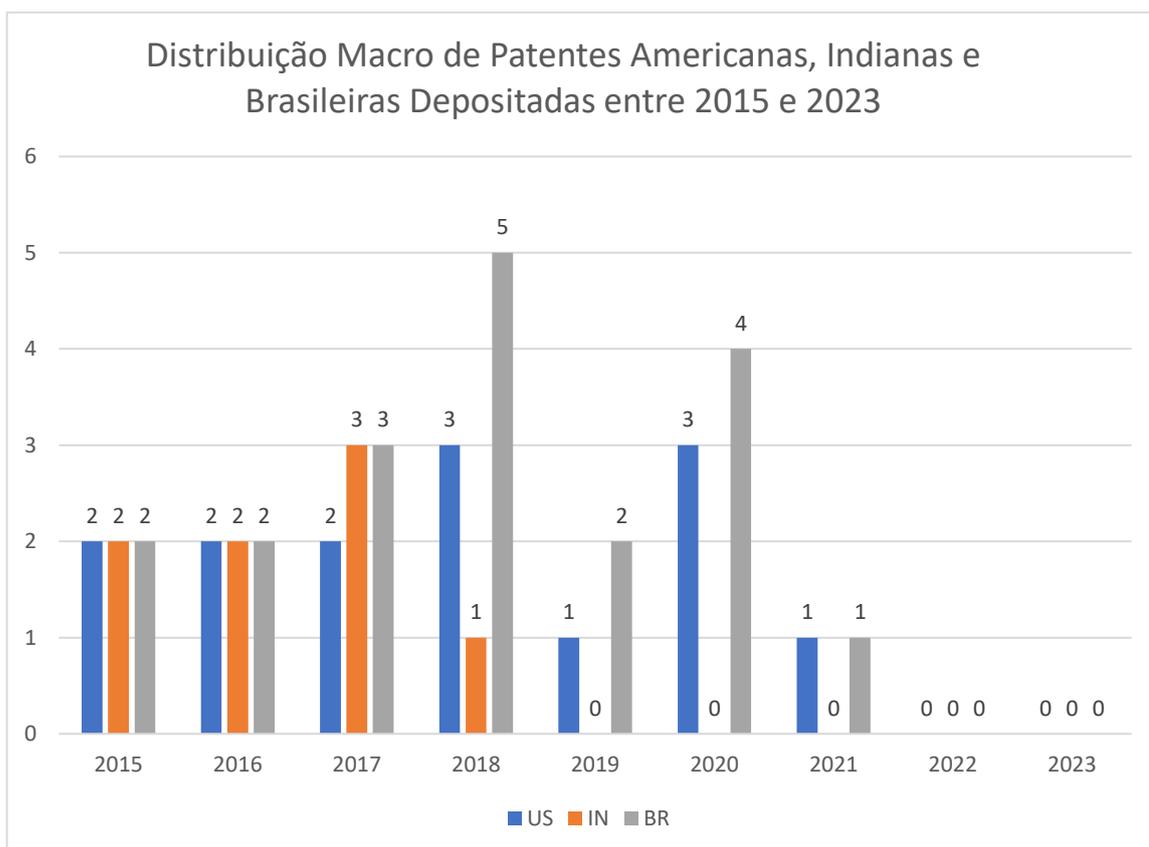
Figura 10 – Distribuição Macro de Patentes Chinesas Depositadas por Ano.



Fonte: Adaptada de Questel Orbit.

Os Estados Unidos, a Índia e o Brasil, citados anteriormente, seguiram a tendência mundial, diminuindo o número de depósito de patentes relacionados à fermentação semissólida durante o período de pandemia, como apresenta a Figura 11.

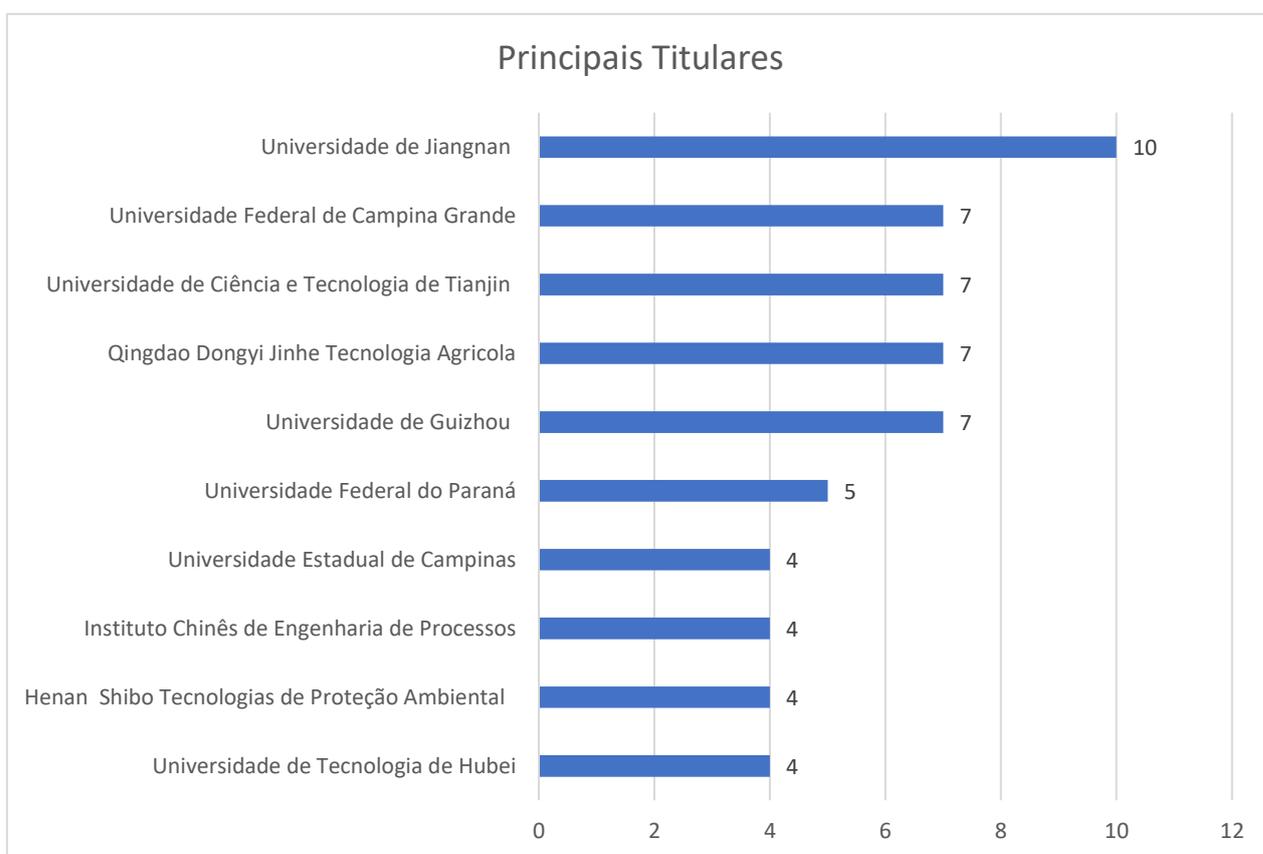
Figura 11 – Distribuição Macro de Patentes Americanas, Indianas e Brasileiras Depositadas entre 2015 e 2023.



Fonte: Adaptado de Questel Orbit.

Em relação aos titulares que depositaram patentes sobre o tema, a Universidade de Jiangnan (China) liderou o ranking com 10 patentes. A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) aparece em seguida com 7 patentes, junto a três universidades chinesas. Entre os 10 titulares que mais depositam patentes no mundo, 7 são chinesas e 3 brasileiras, como apresenta a Figura 12.

Figura 12 – Principais Titulares em Depósitos de Patentes.

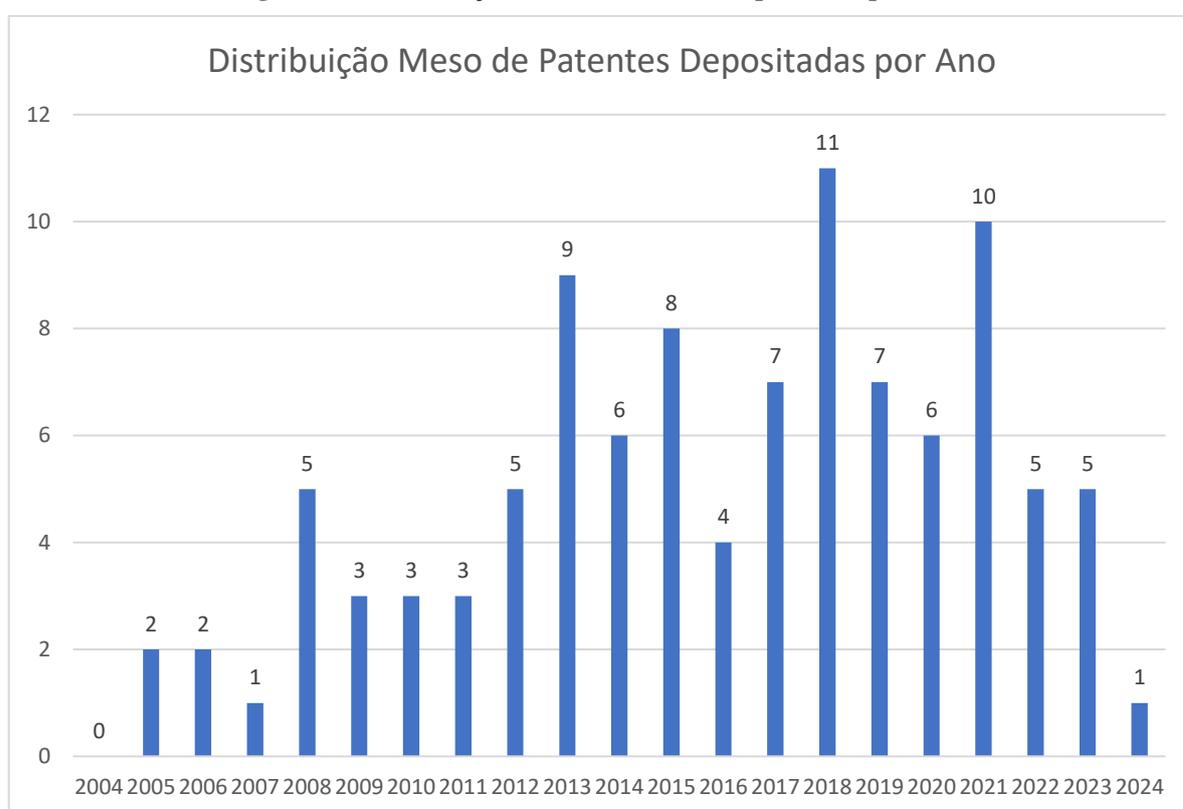


Fonte: Adaptado de Questel Orbit.

6.2.2. Análise Meso

Na análise nível Meso, os documentos foram categorizados de acordo com os aspectos mais relevantes diante do tema, adicionando o termo delimitador +RESIDUE+ obtendo a seguinte *string*: ((SEMI+ AND +SOLID+) AND FERMENT+ AND +RESIDUE+)/TI/AB. Um total de 117 patentes foram identificadas, onde 103 estão no período propostas no período de 2004 à 2024, apresentadas de acordo com a Figura 13 a seguir:

Figura 13 – Distribuição Meso de Patentes Depositadas por Ano.

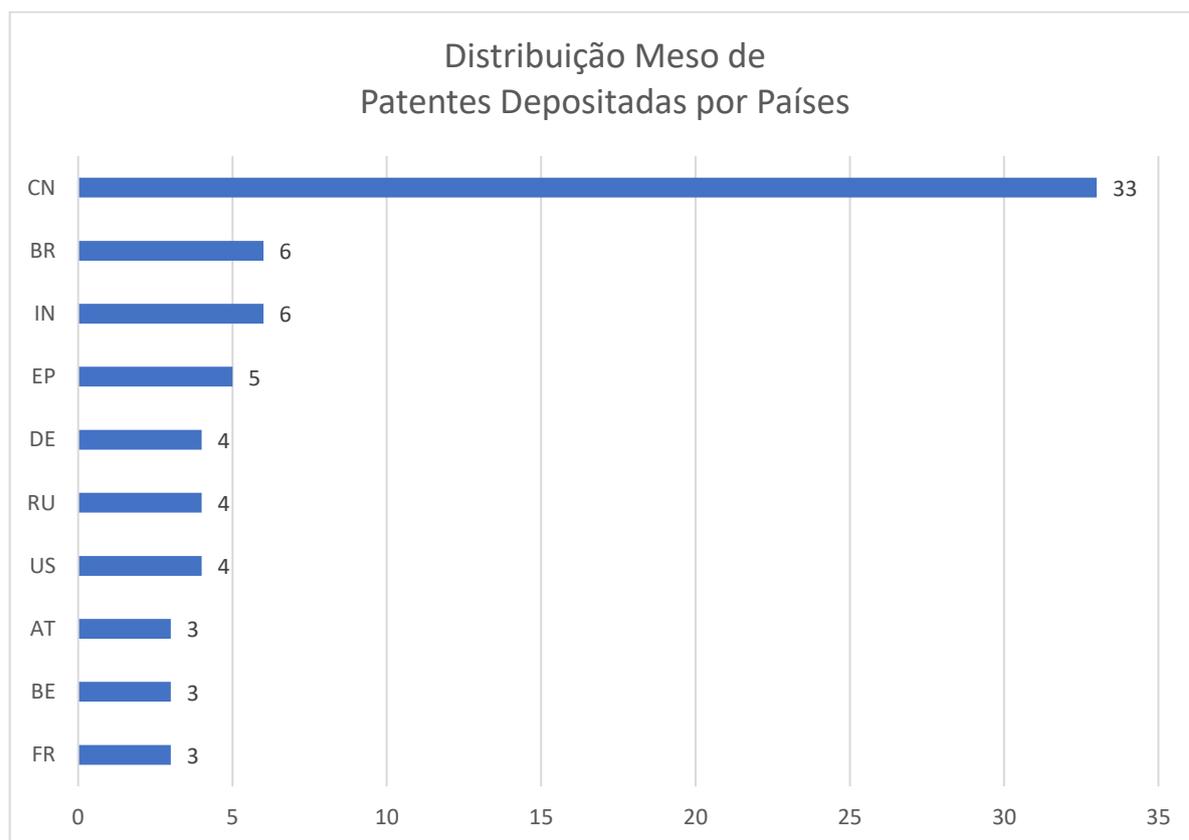


Fonte: Adaptado de Questel Orbit.

Percebe-se um comportamento predominantemente ascendente do número de patentes depositadas até o ano de 2017. Em 2018 houve um pico significativo seguido de uma diminuição a partir de 2019, destacando outro pico significativo em 2021.

Em relação à distribuição meso de patentes depositadas por países, observa-se novamente a liderança da China com 33 patentes depositadas. Empatados como os segundos maiores depositantes, Brasil e a Índia possuem aproximadamente 37% de depósitos quando comparadas à líder China. A Figura 14 a seguir ilustra a distribuição meso de patentes depositadas por países.

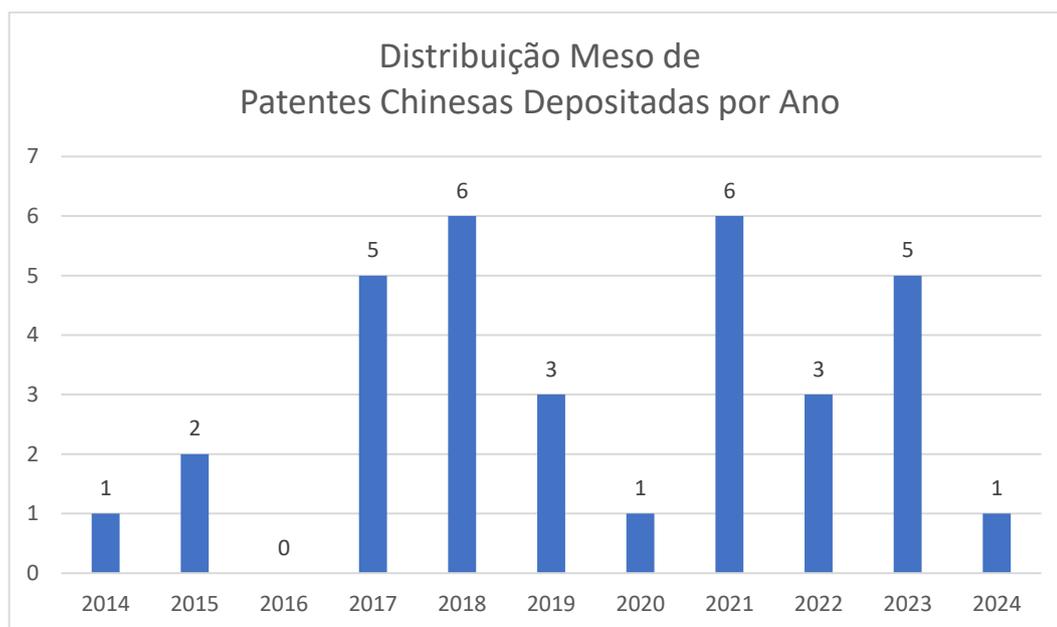
Figura 14 – Distribuição Meso de Patentes Depositadas por Países



Fonte: Adaptado de Questel Orbit.

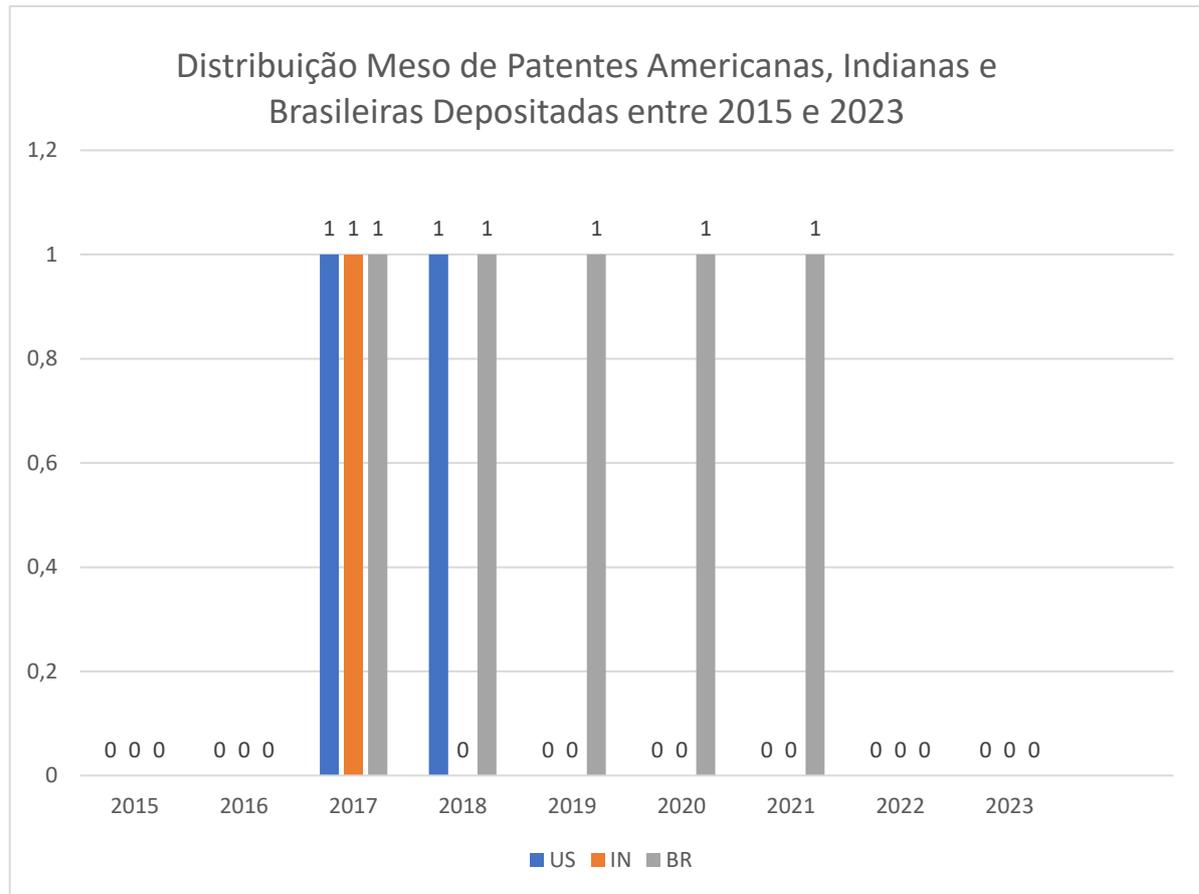
Análogo à distribuição Macro de patentes chinesas por ano, houve uma produção peculiar de patentes relacionadas à fermentação semissólida no período de pandemia também na análise Meso. A China manteve a produção superior quando comparado ao início da pandemia em 2020, como ilustra a figura 15 a seguir.

Figura 15 – Distribuição Meso de Patentes Chinesas Depositadas por Ano.



Fonte: Adaptado de Questel Orbit.

Percebe-se uma diminuição da produção chinesa em 2020, seguido de aumentos significativos em 2021 e 2023. Em contrapartida, países como Estados Unidos, Índia e Brasil já apresentavam uma diminuição gradual dos depósitos de patentes antes mesmo de março de 2020, os quais foram ainda menores após 2020, como mostra a figura 16 a seguir.

Figura 16 – Distribuição meso de patentes americanas, indianas e brasileiras entre 2015 e 2023.

Fonte: adaptado de Questel Orbit.

6.2.3. Análise Micro

Após a delimitação, realizou-se a leitura de todos os títulos e resumos dos documentos de patente para consolidar a etapa de seleção, intitulada análise Micro. Feita a seleção, organizou-se o Quadro 3 a seguir, categorizando os documentos de patente por título, inventores, instituição, domínio tecnológico, classificação internacional de patente e resíduos.

Quadro 3 – Panorama dos principais inventores, instituições, domínios tecnológicos, classificações internacionais de patentes e resíduos abordados documentos de patentes.

Título	Inventores	Instituição	Domínio Tecnológico	IPC	Resíduos
(PI02035960) Produção de fitase por fermentação no estado sólido utilizando produtos, subprodutos e resíduos agroindustriais para a aplicação na alimentação animal	SOCCOL CARLOS RICARDO SILVA ANDREA REGINA ZACARIAS RODRIGUEZ-LEON JOSE ANGEL GERMANO SANDRO	-	Biotecnologia Química dos alimentos	A23K-010/12 A23K-010/37 C12N-009/14	Café (Coffea arabica) Arroz (Oryza sativa) Laranja (Citrus sinensis) Maçã (Malus domestica) Mandioca (Manihot esculenta) Batata (Solanum tuberosum) Cana-de-açúcar (Saccharum officinarum) Milho (Zea mays) Soja (Glycine max) Trigo (Triticum aestivum)

<p>(BR102012029 500) Coagulantes microbiano, processo de produção de coagulante microbiano utilizando resíduo agroindustrial e seu uso na produção de produtos derivados do leite</p>	<p>TEIXEIRA MARIA FRANCISCA SIMAS ALECRIM MIRCELLA MARIALVA PALHETA ROSANA ANTUNES LIMAS HELLEN CRISTINA REZENDE DE SILVA TACIANA DE AMORIM PORTO ANA LÚCIA FIGUEIREDO</p>	<p>UNIVERSIDA DE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM</p>	<p>Biotecnologia Química dos alimentos</p>	<p>A23J-003/20 C12P-001/02 C12R-001/66</p>	<p>Cupuaçu (theobroma grandiflorum schum) Açaí (Euterpe oleracea)</p>
<p>(BR102015025 182) processo biotecnológico para produção de ração peletizada contendo resíduos de caju</p>	<p>EMERSON MOREIRA DE AGUIAR LÚCIA DE FÁTIMA ARAÚJO ROBSON ROGÉRIO PESSOA COELHO</p>	<p>UNIVERSIDA DE FEDERAL RIO GRANDE NORTE</p>	<p>Química dos alimentos</p>	<p>A23K-010/12 A23K-040/20</p>	<p>Cajú (Anacardium occidentale L)</p>
<p>(BR102017018 337) elaboração de</p>	<p>CECÍLIA ELISA DE SOUSA</p>	<p>UNIVERSIDA DE FEDERAL</p>	<p>Química dos alimentos</p>	<p>A23L-007/12 6</p>	<p>Goiaba (Psidium guajava L.)</p>

barras de cereais enriquecidas proteicamente por via microbiana utilizando resíduos agroindustriais	MUNIZ LÍBIA DE SOUSA CONRADO OLIVEIRA ÂNGELA MARIA SANTIAGO	DE CAMPINA GRANDE PB		A23L-033/14	Cajú (Anacardium occidentale L)
(BR102018076453) processo de enriquecimento proteico do resíduo de casca de jaca artocarpus heterophyllum lam	ANA PAULA MOISÉS DE SOUSA ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS JACIARA DANTAS COSTA JOSIVANDA PALMEIRA GOMES RENATO ALEXANDRE COSTA DE SANTANA	UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE PB	Biotecnologia Química dos alimentos	A23L-033/135 C12P-001/02 C12R-001/865	Jaca (artocarpus heterophyllum lam.)
(BR102019028175) enriquecimento proteico dos resíduos de jaca por	ANA PAULA MOISÉS DE SOUSA ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS ANTONIO	UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE PB	Química dos alimentos	A23K-010/12 A23K-050/10	Jaca (artocarpus heterophyllum lam.)

fermentação semissólida	DANIEL BURITI DE MACEDO JACIARA DANTAS COSTA JOSIVANDA PALMEIRA GOMES RENATO ALEXANDRE COSTA DE SANTANA				
(BR102020019 225) Bioconversão proteica do pívide da jaca pela levedura saccharomyce cerevisiae utilizando fermentação em estado semissólido	ALINE PRISCILA DE FRANÇA SILVA ANA PAULA MOISÉS DE SOUSA ANA REGINA NASCIMENT O CAMPOS ANTONIO DANIEL BURITI DE MACEDO JACIARA DANTAS COSTA JOSIVANDA PALMEIRA GOMES	UNIVERSIDA DE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE PB	Biotecono logia	C12N- 001/16 C12N- 001/22 C12P- 021/00 C12R- 001/86 5	Jaca (artocarpus heterophyllu s lam.)

	RENATO ALEXANDRE COSTA DE SANTANA				
(BR102021001386) Enriquecimento nutricional do eixo central de jaca (artocarpus heterophyllus lam.) por fermentação semissólida destinado à alimentação animal	ANA PAULA MOISÉS DE SOUSA ANA REGINA NASCIMENT O CAMPOS ANTONIO DANIEL BURITI DE MACEDO JOSIVANDA PALMEIRA GOMES RENATO ALEXANDRE COSTA DE SANTANA	UNIVERSIDA DE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE PB	Química dos alimentos	A23K- 010/12	Jaca (artocarpus heterophyllu s lam.)
(BR112014019037) Processo para o processamento de resíduos vegetais	LOHMÜLLER TOBIAS	BUEHLER BARTH	Biotecnolo gia Química dos alimentos	A23G- 001/00 A23L- 001/30 A23L- 001/30 8 A23L-	Sementes de nozes (Juglans regia L)

				002/52 A23L- 007/10 A23L- 007/10 4 A23L- 007/15 2 A23L- 025/00 C12M- 001/00 C12M- 001/10 7 C12P- 005/02 C12P- 019/04	
(PI1003792) desenvolvimento de bioprocesso para a produção, extração, separação e formulações de fitases por ganoderma sp	SOCOL CARLOS RICARDO SPIER MICHELE RIGON PORTO DE SOUZA VANDENBER GHE LUCIANA	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA - UFPR	Biotecnologia	C12N- 009/16 C12P- 021/00	vegetais, cascas, farelos, sementes e grãos; matérias-primas e resíduos líquidos de qualquer natureza meios de cultura

					contendo açúcares fontes de fósforo orgânico
(CN101429526) Processo para preparar etanol como fonte de energia e adquirir um subproduto de alta concentração de metilpirrolidina a partir de resíduos ou folhas de tabaco de baixa qualidade.	SUN SHIZHONG GAO TIANRONG	UNIVERSIDADE NORMAL DE YUNNAN	Química básica dos materiais Biotecnologia	C05F-005/00 C12P-007/08 C12P-017/16 C12R-001/64 5	Tabaco (Nicotiana tabacum)
(CN104381607) Aditivo de ração fermentada de complexo de ficomicetos e seu método de preparação.	SUN LIQIN ZUO ZHIPENG LIN JIAN	HUNAN GENGTIANXI A Biotecnologia	Química dos alimentos	A23K-020/10 A23K-020/18 9	Soja (Glycine max)

(CN104694587)	JIANG JIANXIN YU HAILONG WANG YONGMIAO LEI FUHOU LIU ZUGUANG YOU YANZHI SUN DAFENG ZHU LIWEI	UNIVERSIDA DE FLORESTAL DE PEQUIM	Biotecnolo gia	C12P- 007/56 C12P- 039/00 C12R- 001/07 C12R- 001/22 5 C12R- 001/46	Cana-de- açúcar (Saccharum officinarum)
(CN105524863)	HUANG JUNSHENG LIANG CHANGCONG LIU LEI WANG JUN ZHANG JIANHUA WANG WEIWEI YANG LAYING GUO LIJIA WANG GUOFEN DING ZHAOJIAN	INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E PROTEÇÃO DE PLANTAS DA ACADEMIA CHINESA DE CIÊNCIAS AGRÍCOLAS TROPICAIS	Química básica dos materiais Biotecnolo gia	A01P- 003/00 C12N- 001/20 C12R- 001/07	Côco (Cocos nucifera)
(CN106635720)	HU RUOXIAN ZHENG QING	INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE YANCHENG	Química dos alimentos	C12J- 001/04 C12J- 001/08	Lotus (Nelumbo nucifera)

vinagre de frutas a partir de resíduos de raiz de lótus.					
(CN107574136) Método de preparação de uma composição microecológica semissólida para aquicultura.	WU WEI PAN YING ZHENG YAO CHEN SHUQIAO ZHOU GUOQIN	ACADEMIA CHINESA DE CIÊNCIAS DA PESCA DO INSTITUTO DE PESQUISA EM PESCA DE NANJING	Biotecnologia Química dos alimentos	A23K-010/18 C12N-001/16 C12N-001/18 C12N-001/20 C12R-001/02 C12R-001/07 C12R-001/22 5 C12R-001/72 C12R-001/86 5	Trigo (Triticum aestivum) Soja (Glycine max)
(CN109182023) Resíduo fermentado de lycium barbarum e vinho de lycium barbarum com	ZHANG HUILING LI JINPENG ZHAO LU HAO XIANGFENG ZHANG JINHONG	UNIVERSIDADE DE NINGXIA	Química dos alimentos Química orgânica fina	A23K-010/12 A23L-033/00 A61K-008/97 89 A61Q-019/00	Lycium chinense (Lycium barbarum)

aroma aprimorado.				C12G-003/05 5 C12N-001/20 C12R-001/01	
(CN109182043) Método de preparação de resíduos fermentados de lycium barbarum e vinho de lycium barbarum com aroma aprimorado.	ZHANG HUILING HAO XIANGFENG ZHANG JINHONG JI HONGLI LU WENJING	BAIRUIYUAN WOLFBERRY	Biotecnologia Química dos alimentos	C12G-003/06 C12N-001/20 C12R-001/01	Lycium chinense (Lycium barbarum)
(CN113712118) Método de preparação de cultura de levedura a partir de resíduos de gengibre.	JIN YUHONG LIU JUNHAN FAN JINGXIAO XING WENJIAO	UNIVERSIDADE AGRÍCOLA DE SHANDONG	Química dos alimentos	A23K-010/12 A23K-010/37	Gengibre (Zingiber officinale)
(CN116254189) Método para produzir ácido	ZOU WEI KOU HUI YE GUANGBIN	UNIVERSIDADE DE CIENTÍFICA E DE	Biotecnologia	C12N-001/20 C12P-007/52	Colza (Brassica napus)

butírico utilizando Clostridium beijerinckii para realizar fermentação em estado semissólido em palhas de colza.	CHEN XIAOSONG	ENGENHARIA DE SICHUAN		C12R- 001/14 5	
(KR10- 1136832) Fermentados de resíduos de suco de cenoura e seu método de fabricação	LEE SAM PIN JUNG HYE WON JO JAE GON	FUNDAÇÃO E COOPERAÇÃO O ACADÊMICA E INDUSTRIAL DA UNIVERSIDA DE DE KEIMYUNG	Química dos alimentos	A23L- 002/38 A23L- 019/00 A23L- 027/24 A23L- 033/00	Cenoura (Daucus carota L.)
(MX20080115 81) Tratamento biológico com Phanerochaete chrysosporium a partir de resíduos lignocelulósicos agroindustriais resultantes da indústria	CORTINA CLEMENTINA RITA RAMIREZ GUTIERREZ MARIA DE LA SOLEDAD ALONSO	UNIVERSIDA DE AUTONOMA METROPOLIT ANA	Tecnologi a Ambiental	C02F- 003/00	Agave azul (Agave tequilana Weber) e outras variedades de Agave

<p>de tequila e mezcal (folhas de agave e bagaço), para aumentar a digestibilidade desses resíduos como suplemento alimentar para ruminantes.</p>					
<p>(WO2016/095482) Substrato de mudas de arroz contendo bactérias fotossintéticas e ácido salicílico orgânico, e método de preparação.</p>	<p>WANG MENG</p>	<p>TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DE SUZHOU KEDAWELONG</p>	<p>Química básica dos materiais</p>	<p>C05G-003/00</p>	<p>Ramos de Salgueiro (Salix babylonica) Colza (Brassica napus) Folhas de Tomate (Solanum lycopersicum L.) Arroz (Oryza sativa))</p>
<p>(WO2020/078181) Condicionador de solo multifuncional, método de</p>	<p>DU ZHIYONG ZHU QINGDAI GUO SHUQIONG</p>	<p>QINGDAO ZETIAN CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGRÍCOLA</p>	<p>Química básica dos materiais</p>	<p>C09K-017/40 C09K-101/00</p>	<p>Resíduos agrícolas</p>

preparação e aplicação.					
--------------------------------	--	--	--	--	--

Fonte: Elaboração do autor.

6.2.3.1. Principais tecnologias

Para a análise das principais tecnologias relacionadas à análise micro utilizou-se as classificações internacionais de Patentes (CIP ou IPC) presentes no quadro 3. Para melhor entendimento das principais tecnologias, o quadro 4 a seguir exhibe as principais classificações.

Quadro 4 – Classificação Internacional de Patentes.

Classificação Internacional de Patentes	Subclasse
A23K	Produtos alimentícios especialmente adaptados para animais; Métodos especialmente adaptados para a produção dos mesmos
A23L	Alimentos, produtos alimentícios ou bebidas não alcoólicas, não abrangidos pelas subclasses A21D ou A23B-A23J; Seu preparo ou tratamento; Conservação de alimentos ou produtos alimentícios, em geral
C12N	Microrganismos ou enzimas; suas composições; propagação, conservação, ou manutenção de microrganismos; engenharia genética ou de mutações; meios de cultura
C12P	Processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado ou para separar isômeros ópticos de uma mistura racêmica
C12R	Esquema de indexação associado com subclasses C12C-C12Q, referente a microrganismos

Fonte: International Patent Classification - IPC (*World Intellectual Property Organization*).

Com relação à subclasse A23K, os campos relacionados são alimentos, composição de alimentos e ração animal focados no enriquecimento nutricional de resíduos, mais especificamente de jaca e de caju, utilizando processos fermentativos para enriquecimento proteico e de outros nutrientes, tornando-os adequados para a alimentação animal, além da

elaboração de barras de cereais enriquecidas partindo de resíduos agroindustriais, como caju e goiaba, utilizando processos de fermentação semissólida.

Para a subclasse A23L, os campos relacionados são os mesmos da subclasse A23K, com ênfase no processamento de resíduos vegetais, como cascas de jaca, para a produção de ração animal, promovendo a sustentabilidade e a redução de desperdícios, além dos alimentos funcionais com a utilização de ingredientes de origem vegetal, como jaca e caju, para criar produtos com propriedades funcionais e nutricionais.

Com relação à subclasse C12N, os campos relacionados são microbiologia e tecnologia de enzimas com ênfase na bioconversão de resíduos envolvendo a utilização de leveduras, como *Saccharomyces cerevisiae*, para a bioconversão de resíduos vegetais, como o pívide da jaca, visando a produção de proteínas e outros compostos de valor agregado, bem como a Fermentação em Estado Semissólido para o enriquecimento resíduos vegetais, como o eixo central da jaca.

Na subclasse C12P, o campo relacionado é o de processos de produção de compostos químicos com ênfase na produção de etanol e subprodutos a partir de resíduos vegetais, bem como a produção de fitases a partir de resíduos agroindustriais, que podem ser utilizados na alimentação animal para melhorar a digestibilidade de fósforo.

Por fim, a subclasse C12R, relacionada à composição de culturas microbianas, envolve a utilização de culturas microbianas específicas para a fermentação de resíduos vegetais, visando a produção de compostos benéficos para a saúde animal e humana.

6.2.3.2. Panorâma institucional

As patentes depositadas pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) refletem várias tendências globais em pesquisa, especialmente nas áreas de biotecnologia e química dos alimentos, observadas no quadro 3 em domínio tecnológico. Muitas destas patentes focam na bioconversão de resíduos agroindustriais como a jaca e o caju, para a produção de alimentos e ração animal, com enfoque no enriquecimento nutricional. Essa tendência está alinhada à crescente demanda global por práticas sustentáveis que buscam minimizar desperdícios e maximizar o uso de recursos. Essas patentes não apenas contribuem para o avanço do conhecimento científico, mas também têm potencial de impactar positivamente a indústria alimentícia e de ração, alinhando-se com as necessidades e tendências globais em sustentabilidade.

Do ponto de vista patentário, A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) ocupa a segunda colocação em depósito de patentes relacionadas à fermentação semissólida de resíduos, possuindo patente concedida. A concessão de uma patente traz segurança jurídica para a instituição, seu grupo de pesquisa e seus inventores, garantindo a exclusividade para produção, utilização e comercialização da propriedade industrial.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização do estudo, da revisão sistemática da literatura e da prospecção tecnológica, o conjunto apresentou resultados satisfatórios, possibilitando um panorama abrangente da fermentação semissólida de resíduos agroindustriais. Dentre as principais contribuições podemos destacar:

A análise combinada entre revisão sistemática da literatura e prospecção tecnológica em três níveis (Macro, Meso e Micro), permitiu uma visualização detalhada das tendências da fermentação semissólida de resíduos agroindustriais. Dessa forma, destacou-se o interesse pelo uso da fermentação semissólida e os principais resíduos utilizados tanto na produção científica quanto na produção inventiva a partir das tendências observadas na revisão sistemática e na prospecção tecnológica.

As análises Macro e Meso na revisão sistemática da literatura conseguiram identificar uma tendência predominantemente ascendente com relação à produção de artigos, comprovando o crescente interesse com relação ao tema no ambiente acadêmico. Por sua vez, a análise Micro proporcionou uma visão abrangente das principais tecnologias ao destacar os autores, contribuições, micro-organismos e principais resíduos agroindustriais.

A importância da prospecção tecnológica para a análise de tendências mundiais de mercado. A distribuição de patentes por ano mostrou tendências significativas com relação à produção de patentes e ajudou a identificar informações relevantes relacionadas aos principais depositantes. Podemos citar a comparação entre o depósito de patentes chinesas e os demais depositantes com relação ao período de pandemia, onde um resultado contraintuitivo foi evidenciado. Apesar da queda no número de depósitos de patentes, a China manteve uma produção crescente, provando que a prospecção tecnológica dispõe de ferramentas para entender o comportamento tecnológico mundial. Tal conclusão só foi possível a partir da análise da prospecção tecnológica.

A prospecção tecnológica evidenciou, do ponto de vista institucional, destaque à bioconversão de resíduos agroindustriais. Este tema está alinhado às tendências globais de prospecção, como por exemplo a crescente demanda global por práticas sustentáveis.

Essas conclusões enfatizam a importância do estudo para o progresso da tecnologia e suas aplicações, ratificando sua relevância para melhor entendimento da fermentação semissólida de resíduos agroindustriais. Este entendimento auxilia a garantir que as pesquisas e desenvolvimentos estejam alinhados com as necessidades e tendências do mercado.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, E. M.; ARAÚJO, L. F.; COELHO, R. R. P. **Processo biotecnológico para produção de ração peletizada contendo resíduos de caju**. Depositante: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. BR n. 102015025182.

ALMANAA, T. N. *et al.* Solid state fermentation of amylase production from *Bacillus subtilis* D19 using agro-residues. **Journal of King Saud University - Science**, v. 32, n. 2, p. 1555–1561, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.12.011>. Acesso em: 22 jan. 2025.

AN, Q. *et al.* Laccase activity from *Pleurotus ostreatus* and *Flammulina velutipes* strains grown on agro- and forestry residues by solid-state fermentation. **BioResources**, v. 16, n. 4, p. 7337-7354, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15376/biores.16.4.7337-7354>. Acesso em: 22 jan. 2025.

AZZOUZ, Z. *et al.* Biotechnological production and statistical optimization of fungal xylanase by bioconversion of the lignocellulosic biomass residues in solid-state fermentation. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 12, n. 12, p. 5923-5935, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01018-z>. Acesso em: 22 jan. 2025.

BANGORIA, P.; DIVECHA, J.; SHAH, A. R. Production of mannoooligosaccharides producing β -mannanase by newly isolated *Penicillium aculeatum* APS1 using oil seed residues under solid state fermentation. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 34, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102023>. Acesso em: 22 jan. 2025.

BHATTACHARYA, R.; ARORA, S.; GHOSH, S. Utilization of waste pine needles for the production of cellulolytic enzymes in a solid state fermentation bioreactor and high calorific value fuel pellets from fermented residue: Towards a biorefinery approach. **Renewable Energy**, v. 195, p. 1064-1076, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.067>. Acesso em: 22 jan. 2025.

CAROCA, E. *et al.* Lignocellulosic residue valorization in a sequential process of solid-state fermentation and solid substrate anaerobic digestion. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 97, p. 1575-1584, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jctb.6967>. Acesso em: 22 jan. 2025.

CHEN, G. *et al.* Alkaline hydrothermal treatment of gentamycin mycelial residues: characteristics of disintegration, solid-state fermentation, and antibiotic resistance genes reduction. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05568-4>. Acesso em: 22 jan. 2025.

CORONADO-CONTRERAS, A. *et al.* Valorization of prickly pear peel residues (*Opuntia ficus-indica*) using solid-state fermentation. **Foods**, v. 12, n. 23, p. 4213, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12234213>. Acesso em: 22 jan. 2025.

DING, X. *et al.* Optimization of culture conditions during the solid-state fermentation of tea residue using mixed strains. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 12, p. 6667-6675, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00930-4>. Acesso em: 22 jan. 2025.

ELIOPOULOS, C. *et al.* Preliminary research concerning the enrichment of industrial hemp extract residues via solid state fermentation with *Pleurotus ostreatus*. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, n. 5, p. 2376, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app12052376>. Acesso em: 22 jan. 2025.

FALCÃO, L. S. *et al.* Improvement of endoglucanase production by *Aspergillus brasiliensis* in solid-state fermentation using cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) residue as substrate. **Journal of Applied Microbiology**, v. 132, n. 4, p. 2859-2869, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jam.15412>. Acesso em: 22 jan. 2025.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>. Acesso em: 22 jan. 2025.

HAN, M. L. *et al.* A comparative study on the laccase activity of four basidiomycete fungi with different lignocellulosic residues via solid-state fermentation. **BioResources**, v. 16, n. 2, p. 3017-3031, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15376/biores.16.2.3017-3031>. Acesso em: 22 jan. 2025.

HUILING, Z. *et al.* **Método de preparação de resíduos fermentados de lycium barbarum e vinho de lycium barbarum com aroma aprimorado**. Depositante: Bairuiyuan Wolfberry. CN. n. 109182043.

HUILING, Z. *et al.* **Resíduo fermentado de lycium barbarum e vinho de lycium barbarum com aroma aprimorado**. Depositante: Ningxia University. CN. n. 109182023.

JATUWONG, K. *et al.* Bioprocessing of agricultural residues as substrates and optimal conditions for phytase production of chestnut mushroom, *Pholiota adiposa*, in solid state fermentation. **Journal of Fungi**, v. 6, n. 4, p. 1–21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jof6040384>. Acesso em: 22 jan. 2025.

JIANXIN, J. *et al.* **Método para produção de ácido lático a partir do bagaço**. Depositante: Beijing Forestry University. CN. n. 104694587.

JUNSHENG, H. *et al.* **Método para produção em alta densidade de Bacillus amyloliquefaciens pela combinação de tecnologias de fermentação líquida e semissólida**. Depositante: Environment & Plant Protection Institute Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. CN. n. 105524863.

KWANGA, S. N. *et al.* Effect of solid-state fermentation on the essential oil yield of *Curcuma longa* residues. **Waste and Biomass Valorization**, v. 13, n. 11, p. 4565–4573, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01817-7>. Acesso em: 22 jan. 2025.

LI, W.; ZHAO, L.; HE, X. Degradation potential of different lignocellulosic residues by *Trichoderma longibrachiatum* and *Trichoderma afroharzianum* under solid state fermentation. **Process Biochemistry**, v. 112, p. 6-17, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.11.011>. Acesso em: 22 jan. 2025.

LIN, Y. E. *et al.* Q. Biotransformation of okara (soybean residue) through solid-state fermentation using probiotic *Bacillus subtilis* and *Bacillus coagulans*. **Food Bioscience**, v.

55, p. 103056, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103056>. Acesso em: 22 jan. 2025.

LIQIN, S.; ZHIPENG, Z.; JIAN, L. **Aditivo de ração fermentada de complexo de ficomicetos e seu método de preparação**. Depositante: Hunan Gengtianxia Biotechnology. CN. n. 104381607.

LIU, D. *et al.* Production of value-added peptides from agro-industrial residues by solid-state fermentation with a new thermophilic protease-producing strain. **Food Bioscience**, v. 53, p. 102534, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102534>. Acesso em: 22 jan. 2025.

LIU, H. J. *et al.* Spore production in the solid-state fermentation of stevia residue by *Trichoderma guizhouense* and its effects on corn growth. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 5, p. 1147-1156, 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63478-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63478-5). Acesso em: 22 jan. 2025.

LU, X. *et al.* Biomass, lignocellulolytic enzyme production and lignocellulose degradation patterns by *Auricularia auricula* during solid state fermentation of corn stalk residues under different pretreatments. **Food Chemistry**, v. 384, p. 132622, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132622>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MARTÍNEZ-AVILA, O.; LLIMÓS, J.; PONSÁ, S. Integrated solid-state enzymatic hydrolysis and solid-state fermentation for producing sustainable polyhydroxyalkanoates from low-cost agro-industrial residues. **Food and Bioproducts Processing**, v. 126, p. 334-344, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.01.015>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MELANOURI, E. M.; DEDOUSI, M.; DIAMANTOPOULOU, P. Cultivating *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part I: Screening for growth, endoglucanase, laccase and biomass production in the colonization phase. **Carbon Resources Conversion**, v. 5, n. 1, p. 61-70, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.12.004>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MELANOURI, E. M.; DEDOUSI, M.; DIAMANTOPOULOU, P. Cultivating *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part II: Effect on productivity and quality of carposomes. **Carbon Resources Conversion**, v. 5, n. 1, p. 52-60, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.12.005>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MENG, W. **Substrato de mudas de arroz contendo bactérias fotossintéticas e ácido salicílico orgânico, e método de preparação**. Depositante: Suzhou Kedaweilong Information Technology. WO. n. 2016/095482.

MENG, Z. *et al.* Turning waste into wealth: utilizing *Trichoderma*'s solid-state fermentation to recycle tea residue for tea cutting production. **Agronomy**, v. 14, n. 3, p. 526, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy14030526>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MICHAEL, R. A. Z. Production of chitinase from *Chromobacterium violaceum* using agro industrial residues under solid state fermentation. **Indian Journal of Pharmaceutical**

Sciences, v. 83, n. 1, p. 39-44, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36468/pharmaceutical-sciences.747>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MOREIRA, V. A. **Elaboração de um roadmap tecnológico: estudo de caso de elastômeros manufaturados a partir de matérias-primas renováveis**. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

MUNIZ, C. E. S.; OLIVEIRA, L. S. C.; SANTIAGO, A. M. **Elaboração de barras de cereais enriquecidas proteicamente por via microbiana utilizando resíduos agroindustriais**. Depositante: Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. BR. n. 102017018337.

NÚÑEZ PÉREZ, J. *et al.* Multi-objective statistical optimization of pectinolytic enzymes production by an *Aspergillus* sp. on dehydrated coffee residues in solid-state fermentation. *Fermentation*, v. 8, n. 4, p. 170, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fermentation8040170>. Acesso em: 22 jan. 2025.

OLIVEIRA JÚNIOR, S. D. *et al.* Production of lignocellulolytic enzymes and phenolic compounds by *Lentinus strigosus* from the Amazon using solid-state fermentation (SSF) of guarana (*Paullinia cupana*) residue. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 194, p. 2882–2900, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03851-6>. Acesso em: 22 jan. 2025.

OLIVEIRA, F.; MELO, M. R.; BUZATO, J. B. Effect of agro-industrial residues mixtures on the production of endoglucanase by *Aspergillus niger* in solid state fermentation. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 42, n. 1, e41358, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v42i1.41358>. Acesso em: 22 jan. 2025.

PEÑA-LUCIO, E. M. *et al.* Solid-state fermentation of green tea residues as substrates for tannase production by *Aspergillus niger* TBG 28A: Optimization of the culture conditions. *Fermentation*, v. 9, n. 9, p. 781, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fermentation9090781>. Acesso em: 22 jan. 2025.

PIN, L. S.; WON, J. H.; GON, J. J. **Fermentados de resíduos de suco de cenoura e seu método de fabricação**. Depositante: Keimyung University Industry Academic Cooperation Foundation. KR. n. 10-1136832.

RAMIREZ, C. C. R.; ALONSO, G. M. S. **Tratamento biológico com *Phanerochaete chrysosporium* a partir de resíduos lignocelulósicos agroindustriais resultantes da indústria de tequila e mezcal (folhas de agave e bagaço), para aumentar a digestibilidade desses resíduos como suplemento alimentar para ruminantes**. Depositante: University Autonoma Metropolitana. MX. n. 2008011581.

RETHLEFSEN, M. L. *et al.* PRISMA-S: an extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews. *Systematic Reviews*, v. 10, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01542-z>. Acesso em: 22 jan. 2025.

ROCHA, F. T. B. *et al.* Purification and characterization of a protease from *Aspergillus sydowii* URM5774: Coffee ground residue for protease production by solid state fermentation.

Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 93, n. suppl 3, p. e20200867, 2021.
Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120200867>. Acesso em: 22 jan. 2025.

RUOXIAN, H.; QING, Z. **Processo de produção para preparar vinagre de frutas a partir de resíduos de raiz de lótus**. Depositante: Yancheng Institute of Technology. CN. n. 106635720.

SADH, P. K.; DUHAN, S.; DUHAN, J. S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. **Bioresour, Bioprocess**, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2018.
Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SHIZHONG, S.; TIANRONG, G. **Processo para preparar etanol como fonte de energia e adquirir um subproduto de alta concentração de metilpirrolidina a partir de resíduos ou folhas de tabaco de baixa qualidade**. Depositante: Yunnan Normal University. CN. n. 101429526.

SHRADDHA, S.; MURTY, D. S. Production of lignolytic and cellulolytic enzymes by using basidiomycetes fungi in the solid state fermentation of different agro-residues. **Research Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 9, p. 10-17, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/344015010>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SILVA, A. P. F. *et al.* **Bioconversão proteica do pívide da jaca pela levedura *saccharomyce cerevisiae* utilizando fermentação em estado semissólido**. Depositante: Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. BR. n. 102020019225.

SINGH, R. *et al.* Biochemical changes during solid state fermentation of wheat crop residues by *Aspergillus flavus* Link and *Aspergillus niger* van Tieghem. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 13, n. 3, p. 1-14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.33263/BRIAC133.231>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SOCCOL, C. R. *et al.* **Desenvolvimento de bioprocesso para a produção, extração, separação e formulações de fitases por ganoderma sp.** Depositante: Universidade Federal do Paraná - UFPR. PI. n. 1003792.

SOCCOL, C. R. *et al.* **Produção de fitase por fermentação no estado sólido utilizando produtos, subprodutos e resíduos agroindustriais para a aplicação na alimentação animal**. PI. n. 02035960.

SOSA-MARTÍNEZ, J. D. *et al.* Agroindustrial and food processing residues valorization for solid-state fermentation processes: A case for optimizing the co-production of hydrolytic enzymes. **Journal of Environmental Management**, v. 347, p. 119067, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119067>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SOSA-MARTÍNEZ, J. D. *et al.* Sustainable co-production of xylanase, cellulase, and pectinase through agroindustrial residue valorization using solid-state fermentation: A techno-economic assessment. **Sustainability (Switzerland)**, v. 16, n. 4, p. 1564, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16041564>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SOUZA, A. P. M. *et al.* **Enriquecimento nutricional do eixo central de jaca (*artocarpus heterophyllus lam.*) por fermentação semissólida destinado à alimentação animal.** Depositante: Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. BR. n. 102021001386.

SOUZA, A. P. M. *et al.* **Enriquecimento proteico dos resíduos de jaca por fermentação semissólida.** Depositante: Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. BR. n. 102019028175.

SOUZA, A. P. M. *et al.* **Processo de enriquecimento proteico do resíduo de casca de jaca *artocarpus heterophyllus lam.*** Depositante: Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. BR. n. 102018076453.

TECHNOLOGY FUTURES ANALYSIS METHODS WORKING GROUP. Technology futures analysis: towards integration of the field and new methods. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 71, n. 3, p. 287-303, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2003.11.004>. Acesso em: 22 jan. 2025.

TEIXEIRA, M. F. S. *et al.* **Coagulantes microbiano, processo de produção de coagulante microbiano utilizando resíduo agroindustrial e seu uso na produção de produtos derivados do leite.** Depositante: Universidade Federal do Amazonas – UFAM. BR. n. 102012029500. Depósito: 8 nov. 2012.

TIPPANAVAR, N. *et al.* Bio-utilization of agricultural residue banana plant shoot through solid state fermentation for production of inulinase using newly isolated *Nothophoma anigozanthi* JAM. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 14, n. 13, p. 14755–14769, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03835-4>. Acesso em: 22 jan. 2025.

TOBIAS, L. **Processo para o processamento de resíduos vegetais.** Depositante: Buehler Barth. BR. n. 112014019037.

WANG, X. Y.; ZHANG, G. L.; DANG, Y. Y. Enhanced extraction of flavonoids from licorice residues by solid-state mixed fermentation. **Waste and Biomass Valorization**, v. 13, p. 4481-4493, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-022-01803-z>. Acesso em: 22 jan. 2025.

WEI, W. *et al.* **Método de preparação de uma composição microecológica semissólida para aquicultura.** Depositante: Freshwater Fisheries Research Center. CN. n. 107574136.

WEI, Z. *et al.* **Método para produzir ácido butírico utilizando *Clostridium beijerinckii* para realizar fermentação em estado semissólido em palhas de colza.** Depositante: University Sichuan Scientific & Engineering. CN. n. 116254189.

XU, L. *et al.* Laccase production by *Trametes versicolor* in solid-state fermentation using tea residues as substrate and its application in dye decolorization. **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 110904, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110904>. Acesso em: 22 jan. 2025.

YUHONG, J. *et al.* **Método de preparação de cultura de levedura a partir de resíduos de gengibre.** Depositante: Shandong Agricultural University. CN. n. 113712118.

ZHIYONG, D.; QINGDAI, Z.; SHUQIONG, G. **Condicionador de solo multifuncional, método de preparação e aplicação.** Depositante: Qingdao Zetian Agricultural Science & Technology. WO. n. 2020/078181.