

doi 10.46943/VII.CONAPESC.2022.01.041

# UTILIZAÇÃO DE BIOPROCESSO PARA O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: UM ESTUDO SISTEMÁTICO

## GRACIMÁRIO BEZERRA DA SILVA

Doutorando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; eng.gracimario@hotmail.com;

## AYANNE BASILIO MALAQUIAS

Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; ayanne\_bm@gmail.com;

## ANTONIO DANIEL BURITI DE MACEDO

Doutorando do Curso de Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; daniel\_buritt@hotmail.com;

## ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS – ORIENTADORA

Professora Orientadora: Doutora, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; ana.regina@professor.ufcg.edu.br;

## RESUMO

A fermentação semissólida, caracterizada como um bioprocesso, permite o desenvolvimento de microrganismos em diversos substratos sólidos sem a presença de água livre, o que possibilita o enriquecimento proteico de resíduos agroindustriais que, porventura, seriam descartados e, assim, desperdiçados. Nessa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo analisar sistematicamente artigos científicos em que utilizem o processo de fermentação semissólida para um maior aproveitamento dos resíduos originados da agroindústria. Essa pesquisa de cunho bibliográfico foi realizada por meio da Base de Dados da plataforma digital *Web of Science*, cujo acesso foi realizado a partir da plataforma de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Foram adotadas as seguintes palavras-chave na pesquisa: *solid state fermentation*, *saccharomyces cerevisiae* e *residue*. A

ideia foi refinar a pesquisa para que os trabalhos desenvolvidos pudessem contemplar a aplicação da fermentação semissólida em substratos sólidos como os resíduos provenientes de processos agroindustriais, utilizando como levedura a *saccharomyces cerevisiae*. Foram apresentados 55 resultados dos quais 45 são artigos científicos publicados em diferentes países, a destacar: China, Brasil, Índia e Espanha. A maioria dos estudos utilizaram o processo de fermentação semissólida para a produção de biocombustíveis, além de sua grande aplicabilidade na produção de alimentos e de bebidas. Os substratos variam, sendo utilizados resíduos como: palha de milho, bagaço de cana de açúcar, polpa de mandioca, okara e resíduos de arroz, além de outros. Boa parte dos artigos que foram publicados referentes a fermentação semissólida, *saccharomyces cerevisiae* e resíduos, ocorreram em 2020, cerca de 20%. Contudo, é notório o quanto de resíduos provenientes de processos agroindustriais podem ter um melhor aproveitamento e maior valor agregado, podendo retornar, seja na forma de biocombustível ou como um novo produto alimentício, onde a fermentação semissólida garante, em condições adequadas, o enriquecimento proteico necessário para aproveitamento completo dos resíduos.

**Palavras-chave:** Fermentação semissólida, Enriquecimento proteico, Levedura, Resíduo.

## INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas e industriais de alimentos, conforme apontam Rigo *et al.* (2021), geram uma quantidade exorbitante de resíduos por ano, a destacar os setores atrelados a pesca, agricultura e silvicultura, onde produziram aproximadamente 21 milhões de toneladas de resíduos na União Europeia no ano de 2018. Estudos mostram que essa produção de resíduos tende a aumentar ao passar das décadas por conta do crescimento da população mundial que impacta diretamente no aumento da produção de alimentos. Outro fator importante diz respeito ao descarte desses materiais que quando realizado de forma inadequada tende a gerar uma série de impactos ambientais. Dessa forma, o estudo de bioprocessos associado a tecnologia de Fermentação Semissólida (FSS) permite a transformação e o reaproveitamento dos resíduos e subprodutos da agroindústria em matérias-primas para a produção de produtos que apresentam um maior valor agregado (RIGO *et al.*, 2021; LEITE *et al.*, 2020).

O processo de transformação proteica por meio de microrganismos é influenciado pela presença de alguns elementos como, por exemplo, a disponibilidade de nutrientes e de oxigênio, além de condições favoráveis de temperatura. Alguns estudos desenvolvidos por Campos (2005) e por Oliveira (2007), e também por outros autores como Araújo (2008) e Araújo (2009), analisam o enriquecimento proteico em resíduos agroindustriais a partir da levedura *Saccharomyces cerevisiae* associada a fermentação semissólida. Tal método investigativo permite o crescimento de microrganismos sobre partículas em matriz sólida, em que se mantém a atividade de água do meio favorável para o desenvolvimento do procedimento (SILVA *et al.*, 2016; ALCÂNTARA *et al.*, 2007).

De acordo com Silva *et al.* (2021), o cultivo semissólido representa qualquer processo de fermentação em que os microrganismos crescem em materiais de suporte sólidos quando da ausência de água corrente. Para Lima *et al.* (2022), o cultivo semissólido merece destaque, sendo definido como um procedimento que envolve partículas em matriz sólida e ausência de água livre, ao mesmo tempo, em que deve possuir a umidade necessária para possibilitar o crescimento e metabolismo de microrganismos. Apontam ainda, que a levedura *Saccharomyces cerevisiae* é bastante utilizada nos processos de fermentação semissólida, visto sua elevada eficiência de metabolização de carboidratos complexos em biomassa rica em teor proteico.

Nessa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo analisar sistematicamente artigos científicos em que utilizem o processo de

fermentação semissólida para um maior aproveitamento dos resíduos originados da agroindústria.

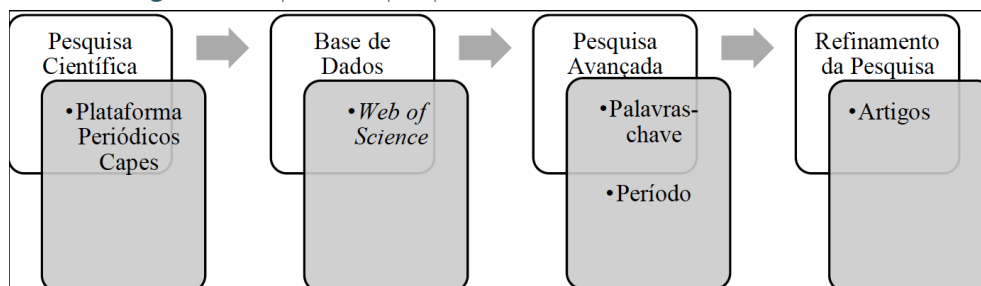
## METODOLOGIA

De acordo com Vergara (2007), uma determinada pesquisa pode ser descrita seguindo dois critérios, quanto aos fins e aos meios. No que diz respeito aos fins, uma pesquisa pode ser exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada e intervencionista. Já quanto aos meios de investigação a pesquisa pode ser de campo, de laboratório, documental, bibliográfica e experimental. A pesquisa descritiva tem como principal objetivo descrever características de determinada população ou fenômeno ou estabelecimento de relações entre as variáveis, utilizando principalmente técnicas padronizadas de coleta de dados. No intuito de descrever de forma clara e objetiva o assunto em questão a ser pesquisado e o seu público alvo, será utilizada neste trabalho a forma descritiva de pesquisa.

O presente estudo se caracteriza por ser do tipo qualitativo com viés descritivo. Essa pesquisa de cunho bibliográfico foi realizada por meio da Base de Dados da plataforma digital *Web of Science*, cujo acesso foi realizado a partir da plataforma de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) através de *login* cedido por acesso à Universidade Federal de Campina (UFCG) a qual está aderida a esse serviço provido pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa – RNP.

A pesquisa foi desenvolvida a partir do esquema de busca apresentado na Figura 1.

**Figura 1** – Esquema de pesquisa na base de dados da *Web of Science*



**Fonte:** Elaborada pelos autores, 2022.

Na aba de busca, foram adotadas as seguintes palavras-chave: *solid state fermentation*, *Saccharomyces cerevisiae* e *residue*. A ideia foi de refinar a pesquisa para que os trabalhos desenvolvidos pudessem contemplar a aplicação da fermentação semissólida em substratos como os resíduos provenientes de processos agroindustriais, utilizando como levedura a *saccharomyces cerevisiae*.

No tocante a metodologia utilizada, a estratégia apresentada permitiu a obtenção de uma quantificação de estudos desenvolvidos na área de uma forma mais avançada e seletiva, visto que o período das publicações científicas também foi estabelecido, garantindo um melhor refinamento dos dados, sendo aplicado um intervalo de tempo de 2010 a 2022.

Após uma aguçada prospecção científica e com obtenção dos resultados, foi possível realizar uma análise e estudo das situações apresentadas, de forma a contribuir cientificamente nas discussões relacionadas aos processos fermentativos que ocorrem em estado semissólido com uso da levedura *saccharomyces cerevisiae* e que utilizam como substrato resíduos agroindustriais que podem ser reaproveitados, seja para a finalidade alimentícia ou para a produção de biocombustíveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram apresentados um total de 55 resultados dos quais 45 trata-se de artigos científicos publicados desde 2010 até 2022, conforme dados apresentados na Tabela 1.

Os artigos científicos obtidos na pesquisa foram publicados em diferentes países, a destacar: China, Brasil, Índia e Espanha, com maiores números de publicações.

**Tabela 1** – Artigos científicos publicados em periódicos associados a fermentação semissólida, *Saccharomyces cerevisiae* e resíduo de acordo com a *Web of Science*

Autores	Título do Artigo	Periódicos	Ano de Publicação
Chu, QL; Li, X; Ma, B; Xu, Y; Ouyang, J; Zhu, JJ; Yu, SY; Yong, Q	Bioethanol production: an integrated process of low substrate loading hydrolysis-high sugars liquid fermentation and solid state fermentation of enzymatic hydrolysis residue	Bioresource Technology	2012
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	Waste And Biomass Valorization	2020

<b>Autores</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Periódicos</b>	<b>Ano de Publicação</b>
Chu, QL; Yang, DL; Li, X; Ma, B; Yu, SY; Yong, Q	An integrated process to enhance ethanol production from steam-exploded corn stover	Fuel	2013
Salakkam, A; Kingpho, Y; Najunhom, S; Aiamsonthi, K; Kaewlao, S; Reungsang, A	Bioconversion of soybean residue for use as alternative nutrient source for ethanol fermentation	Biochemical Engineering Journal	2017
Kaewwongsa, W; Traiyakun, S; Yuangklang, C; Wachirapakorn, C; Paengkoum, P	Protein enrichment of cassava pulp fermentation by <i>saccharomyces cerevisiae</i>	Journal Of Animal And Veterinary Advances	2011
Vong, WC; Liu, SQ	Changes in volatile profile of soybean residue (okara) upon solid-state fermentation by yeasts	Journal Of The Science Of Food And Agriculture	2017
Shi, H; Zhang, M; Wang, WQ; Devahastin, S	Solid-state fermentation with probiotics and mixed yeast on properties of okara	Food Bioscience	2020
Ranke, FFD; Shinya, TY; de Figueiredo, FC; Nunez, EGF; Cabral, H; Neto, PD	Ethanol from rice byproduct using amylases secreted by <i>rhizopus microsporus</i> var. <i>Oligosporus</i> . Enzyme partial purification and characterization	Journal Of Environmental Management	2020
Estrada-Martinez, R; Favela-Torres, E; Soto-Cruz, NO; Escalona-Buendia, HB; Saucedo-Castaneda, G	A mild thermal pre-treatment of the organic fraction of municipal wastes allows high ethanol production by direct solid-state fermentation	Biotechnology And Bioprocess Engineering	2019
Zhang, DQ; Tan, B; Zhang, YH; Ye, YJ; Gao, K	Improved nutritional and antioxidant properties of hullless barley following solid-state fermentation with <i>saccharomyces cerevisiae</i> and <i>lactobacillus plantarum</i>	Journal Of Food Processing And Preservation	2022
Rodríguez, LA; Toro, ME; Vazquez, F; Correa-Daneri, ML; Gouiric, SC; Vallejo, MD	Bioethanol production from grape and sugar beet pomaces by solid-state fermentation	International Journal Of Hydrogen Energy	2010
Lincoln, L; More, SS	Comparative evaluation of extracellular -d-fructofuranosidase in submerged and solid-state fermentation produced by newly identified <i>bacillus subtilis</i> strain	Journal Of Applied Microbiology	2018
Peinemann, JC; Pleissner, D	Material utilization of organic residues	Applied Biochemistry And Biotechnology	2018

<b>Autores</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>Periódicos</b>	<b>Ano de Publicação</b>
Mantzouridou, F; Paraskevopoulou, A	Volatile bio-ester production from orange pulp-containing medium using <i>saccharomyces cerevisiae</i>	Food And Bioprocess Technology	2013
Hu, YL; Pan, LN; Dun, YH; Peng, N; Liang, YX; Zhao, SM	Conversion of yellow wine lees into high-protein yeast culture by solid-state fermentation	Biotechnology & Biotechnological Equipment	2014
Scarpa, JDP; Marques, NP; Monteiro, DA; Martins, GM; de Paula, AV; Boscolo, M; da Silva, R; Gomes, E; Bocchini, DA	Saccharification of pretreated sugarcane bagasse using enzymes solution from <i>pycnoporus sanguineus</i> mca 16 and cellulosic ethanol production	Industrial Crops And Products	2019
Barbosa, PMG; de Moraes, TP; Silva, CAD; Santos, FRD; Garcia, NFL; Fonseca, GG; Leite, RSR; da Paz, MF	Biochemical characterization and evaluation of invertases produced from <i>saccharomyces cerevisiae</i> cat-1 and <i>rhodotorula mucilaginosa</i> for the production of fructooligosaccharides	Preparative Biochemistry & Biotechnology	2018
Nutongkaew, T; Prasertsan, P; Leamdum, C; Sattayasamitsathit, S; Noparat, P	Bioconversion of oil palm trunk residues hydrolyzed by enzymes from newly isolated fungi and use for ethanol and acetic acid production under two-stage and simultaneous fermentation	Waste And Biomass Valorization	2020
Arifin, AA; Setyabudi, FMCS; Sardjono	Local strains <i>aspergillus oryzae</i> kkb4 and <i>rhizopus oryzae</i> kp1r1 as a reducing and detoxifying agents for deoxynivalenol	Malaysian Journal Of Microbiology	2019
Bovo, B; Nadai, C; Lemos, WJF; Carlot, M; Giacomini, A; Corich, V	The different physical and chemical composition of grape juice and marc influence <i>saccharomyces cerevisiae</i> strains distribution during fermentation	Journal Of Food Science	2018
Dong, WW; Dong, SQ; Li, YX; Lei, YT; Peng, N; Liang, YX; Zhao, SM; Ge, XY	Comprehensive utilization of palm kernel cake for producing mannose and manno-oligosaccharide mixture and yeast culture	Applied Microbiology And Biotechnology	2022
El-Bondkly, AMA; El-Gendy, MMA	Cellulase production from agricultural residues by recombinant fusant strain of a fungal endophyte of the marine sponge <i>latrunculia corticata</i> for production of ethanol	Antonie Van Leeuwenhoek	2012
Velasquez, A; Arias, R; Toneatti, M	Effect of the type of substrate on the chemical composition and productivity of a protein concentrate of yeast origin	Ciencia e Investigacion Agraria	2012
Escaramboni, B; Nunez, EGF; Carvalho, AFA; Neto, PD	Ethanol biosynthesis by fast hydrolysis of cassava bagasse using fungal amylases produced in optimized conditions	Industrial Crops And Products	2018

Autores	Título do Artigo	Periódicos	Ano de Publicação
Martinez, O; Sanchez, A; Font, X; Barrena, R	Bioproduction of 2-phenylethanol and 2-phenethyl acetate by <i>kluveromyces marxianus</i> through the solid-state fermentation of sugarcane bagasse	Applied Microbiology And Biotechnology	2018
Martinez-Avila, O; Sanchez, A; Font, X; Barrena, R	Fed-batch and sequential-batch approaches to enhance the bioproduction of 2-phenylethanol and 2-phenethyl acetate in solid-state fermentation residue-based systems	Journal Of Agricultural And Food Chemistry	2019
Bastos, R; Coelho, E; Coimbra, MA	Modifications of <i>saccharomyces pastorianus</i> cell wall polysaccharides with brewing process	Carbohydrate Polymers	2015
Salgado, JM; Max, B; Rodriguez-Solana, R; Dominguez, JM	Purification of ferulic acid solubilized from agroindustrial wastes and further conversion into 4-vinyl guaiacol by <i>streptomyces setonii</i> using solid state fermentation	Industrial Crops And Products	2012
Casas-Godoy, L; Gonzalez-Escobar, JL; Mathis, AG; Barrera-Martinez, I	Revalorization of untreated brewer's spent grain: novel and versatile feedstock to produce cellulases, lipases, and yeast biomass in a biorefinery approach	Biomass Conversion And Biorefinery	
Radhakumari, M; Taha, M; Shahsavari, E; Bhargava, SK; Satyavathi, B; Ball, AS	<i>Pongamia pinnata</i> seed residue - a low cost inedible resource for on-site/in-house lignocellulases and sustainable ethanol production	Renewable Energy	2017
Thakur, S; Shrivastava, B; Ingale, S; Kuhad, RC; Gupte, A	Degradation and selective ligninolysis of wheat straw and banana stem for an efficient bioethanol production using fungal and chemical pretreatment	Biotech	2013
Yoon, LW; Ngoh, GC; Chua, ASM	Simultaneous production of cellulase and reducing sugar from alkali-pretreated sugarcane bagasse via solid state fermentation	Bioresources	2012
Chintagunta, AD; Jacob, S; Banerjee, R	Integrated bioethanol and biomanure production from potato waste	Waste Management	2016
Vong, WC; Au Yang, KLC; Liu, SQ	Okara (soybean residue) biotransformation by yeast <i>yarrowia lipolytica</i>	International Journal Of Food Microbiology	2016
Alvarez-Cao, ME; Cerdan, ME; Gonzalez-Siso, MI; Becerra, M	Optimization of <i>saccharomyces cerevisiae</i> alpha-galactosidase production and application in the degradation of raffinose family oligosaccharides	Microbial Cell Factories	2019
Kancelista, A; Chmielewska, J; Korzeniowski, P; Laba, W	Bioconversion of sweet sorghum residues by <i>trichoderma citrinoviride</i> c1 enzymes cocktail for effective bioethanol production	Catalysts	2020



Autores	Título do Artigo	Periódicos	Ano de Publicação
Prasoulas, G; Gentikis, A; Konti, A; Kalantzi, S; Kekos, D; Mamma, D	Bioethanol production from food waste applying the multienzyme system produced on-site by fusarium oxysporum f3 and mixed microbial cultures	Fermentation- Basel	2020
Gupta, R; Mehta, G; Khasa, YP; Kuhad, RC	Fungal delignification of lignocellulosic biomass improves the saccharification of cellulose	Biodegradation	2011
Galicia-Medina, CM; Barrios-Estrada, C; Esquivel-Hernandez, DA; Rostro-Alanis, MD; Torres, JA; Parra- Saldivar, R	Current state of bioethanol fuel blends in Mexico	Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofr	2018
Oyediji, O; Bakare, MK; Adewale, IO; Olutiola, PO; Omoboye, OO	Optimized production and characterization of thermostable invertase from <i>Aspergillus niger</i> ibk1, using pineapple peel as alternate substrate	Biocatalysis And Agricultural Biotechnology	2017
Abdeshahian, P; Ascencio, JJ; Philippini, RR; Antunes, FAF; de Carvalho, AS; Abdeshahian, M; dos Santos, JC; da Silva, SS	Valorization of lignocellulosic biomass and agri-food processing wastes for production of glucan polymer	Waste And Biomass Valorization	2021
Abada, E; Al-Fifi, Z; Osman, M	Bioethanol production with carboxymethylcellulase of <i>Pseudomonas poae</i> using castor bean ( <i>Ricinus communis</i> L.) cake	Saudi Journal Of Biological Sciences	2019
Amore, A; Amoresano, A; Birolo, L; Henrissat, B; Leo, G; Palmese, A; Faraco, V	A family GH51 alpha-L-arabinofuranosidase from <i>Pleurotus ostreatus</i> : identification, recombinant expression and characterization	Applied Microbiology And Biotechnology	2012
Panahi, HKS; Dehghani, M; Aghbashlo, M; Karimi, K; Tabatabaei, M	Conversion of residues from agro-food industry into bioethanol in Iran: an under-valued biofuel additive to phase out MTBE in gasoline	Renewable Energy	2020
Li, PF; Sun, HB; Chen, Z; Li, Y; Zhu, TC	Construction of efficient xylose utilizing <i>Pichia pastoris</i> for industrial enzyme production	Microbial Cell Factories	2015

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

É possível observar a grande aplicabilidade de processos associados à bioconversão para produção tanto de etanol quanto para o aproveitamento de resíduos agroindustriais voltados para a alimentação. A maioria dos artigos que foram publicados referentes à fermentação semissólida, *Saccharomyces cerevisiae* e resíduos, ocorreram em 2020, cerca de 20%. O quantitativo de artigos científicos encontrados é mostrado na Tabela 2, uma tratativa realizada por ano de publicação expressa em porcentagem.

**Tabela 2** – Quantificação de artigos científicos publicados envolvendo fermentação semissólida, *Saccharomyces cerevisiae* e resíduo de acordo com a *Web of Science*

Ano de Publicação	Quantidade de Artigos	Porcentagem (%)
2022	1	2,22
2021	1	2,22
2020	9	20,00
2019	6	13,33
2018	7	15,56
2017	4	8,89
2016	2	4,44
2015	2	4,44
2014	1	2,22
2013	3	6,67
2012	6	13,33
2011	2	4,44
2010	1	2,22

**Fonte:** Elaborada pelos autores, 2022.

A maioria dos artigos aplica o processo de fermentação semissólida para a produção de biocombustíveis, além de sua grande utilidade para a produção de alimentos e de bebidas.

Em relação aos resíduos utilizados como substratos, os estudos variam entre os resíduos de palha de milho, bagaço de cana de açúcar, polpa de mandioca, okara e resíduos de arroz, além de outros.

Rigo *et al.* (2021) explicam que a fermentação em estado sólido (FES) é definida através do processo de crescimento microbiano em substrato sólido sem água livre aparente, sendo bastante utilizado para a produção de enzimas microbianas, visto a variedade de vantagens econômicas e biotecnológicas quando comparada a fermentação submersa convencional. Os autores relatam

que dentre as principais vantagens da fermentação semissólida está a possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais sólidos, como por exemplo, o farelo de arroz, o farelo de soja e o bagaço da cana-de-açúcar, os quais servem como fonte de carbono e energia para o potencial crescimento de microrganismos, além de contribuir para uma destinação ambientalmente adequada de resíduos que são produzidos em todo mundo (RIGO *et al.*, 2021; AITA *et al.*, 2019).

Observa-se que a maioria dos estudos realizados de 2010 até então, os quais utilizam a fermentação semissólida em substratos de resíduos com *Saccharomyces cerevisiae* visam a produção de enzimas, biocombustíveis e o reaproveitamento para elaboração de um subproduto para fins alimentícios. Shi *et al.* (2020), por exemplo, investigam a fermentação em estado sólido com probióticos e levedura mista nas propriedades do okara, um resíduo obtido durante o preparo do leite de soja, em que busca o aprimoramento das propriedades físico-químicas, antioxidantes, funcionais e sensoriais (sabor e sabor) do okara. Alguns estudos mostram que os resíduos gerados na indústria alimentícia podem ser reaproveitados para o processamento de novos produtos, onde tendem a agregar valor após aplicação de novas tecnologias (SILVA, *et al.*, 2016; LAUFENBERG *et al.*, 2003; KOBORI; JORGE, 2005; PELIZER *et al.*, 2007; ALEXANDRE, 2013).

Em contrapartida, autores como Kancelista *et al.* (2020) buscam produzir bioetanol a partir dos resíduos provenientes do sistema agrícola, onde realizam uma análise da bioconversão de resíduos de sorgo para produção de biocombustíveis. Já Prasoulas *et al.* (2020) buscam a produção de bioetanol utilizando resíduos da agroindústria através da aplicação de um sistema multienzimático com cultura mista de microrganismos. É importante frisar que grande parte dos resíduos de alimentos podem ser empregados como matéria-prima para a produção de biocombustíveis devido à sua composição, o qual é rica em substâncias a base de celulose, hemicelulose e amido (PRASOULAS *et al.*, 2020).

A produção de etanol vem ganhando destaque nos processos de fermentação semissólida, estudos como é caso da pesquisa desenvolvida por Ranke *et al.* (2020), permite a utilização do subproduto de arroz como substrato associado a purificação e caracterização parcial de enzimas para obtenção de etanol.

Muitas são aplicações da fermentação semissólida em processos de bioconversão para produção de biocombustíveis (CHU *et al.*, 2012; CHU *et al.*, 2013; SALAKKAM *et al.*, 2017; RANKE *et al.*, 2020; ESTRADA-MARTINEZ *et al.*, 2019; RODRIGUEZ *et al.*, 2010; NUTONGKAEW *et al.*, 2020) e para o enriquecimento proteico por bioprocessos (KAEWWONGSA *et al.*, 2011).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quantidade de resíduos provenientes de processos agroindustriais é significativamente elevada, contudo, o processo de bioconversão por fermentação semissólida em condições adequadas tem se tornado bastante promissor, garantindo um melhor aproveitamento para esses resíduos, podendo retornar, seja na forma de biocombustível ou como um novo produto alimentício associado ao enriquecimento proteico.

A Fermentação Semissólida (FSS) é um processo de otimização tecnológica em expansão com grande aplicabilidade voltada para o aprimoramento e reaproveitamento dos mais diversos tipos de resíduos produzidos no mundo atrelado ao baixo custo e a valorização de mercado.

## REFERÊNCIAS

AITA, B. C.; SPANNEMBERG, S. S.; SCHMALTZ, S.; ZABOT, G. L.; TRES, M. V.; Kuhn A, R. C.; Mazutti, M. A. (2019). Production of cell-wall degrading enzymes by solid-state fermentation using agro industrial residues as substrates. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, 103193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103193>.

ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H. Emprego do Bagaço Seco do pedúnculo do caju para posterior utilização em um processo de fermentação semissólida. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.2, p.137-142, 2007.

ALEXANDRE, H. V.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; SILVA, O. S.; CARVALHO, J. P. D.; LIMA, E. E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.6, p.640-646, 2013.

ARAÚJO L. F.; DIAS M. V. C.; BRITO E. A.; OLIVEIRA JÚNIOR S. Enriquecimento proteico de alimentos por levedura em fermentação semissólida: alternativa na alimentação animal. **Revista Tecnol. e Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.3, n.3, p.47-53, set. 2009.

ARAÚJO L. F.; SILVA F. L. H.; BRITO E. A.; OLIVEIRA JÚNIOR S.; SANTOS E. S. Enriquecimento protéico da palma forrageira com *Saccharomyces cerevisiae* para alimentação de ruminantes. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, Belo Horizonte, v.60, n.2 Apr. 2008.

CAMPOS, A. R. N.; SANTANA, R. A. C.; DANTAS, J. P.; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H. Enriquecimento proteico do bagaço do pedúnculo de caju por cultivo semissólido. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 72-82, 2005.

CHU, Q.; LI, X.; MA, B.; XU, Y.; OUYANG, J.; ZHU, J.; YU, S.; YONG, Q.; Bioethanol production: An integrated process of low substrate loading hydrolysis-high sugars liquid fermentation and solid state fermentation of enzymatic hydrolysis residue. **Bioresource technology**, v. 123, p. 699-702, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.07.118>.

CHU, Q.; YANG, D.; LI, X.; MA, B.; YU, S.; YONG, Q.; An integrated process to enhance ethanol production from steam-exploded corn stover. **Fuel**, v. 107, p. 823–827, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.02.002>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236113000902>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

ESTRADA-MARTÍNEZ, R.; FAVELA-TORRES, E.; SOTO-CRUZ, N. O.; ESCALONA-BUENDÍA, H. B.; SAUCEDO-CASTAÑEDA, G.; A Mild Thermal Pre-treatment of the Organic Fraction of Municipal Wastes Allows High Ethanol Production by Direct Solid-state Fermentation. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 24, p. 401–412, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12257-019-0032-7>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12257-019-0032-7>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

KAEEWONGSA, W.; TRAIYAKUN, S.; YUANGKLANG, C.; WACHIRAPAKORN, C.; PAENGKOU, P.; Protein enrichment of cassava pulp fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, v. 10, p. 2434-2440, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3923/javaa.2011.2434.2440>. Disponível em: <<https://medwelljournals.com/abstract/?doi=javaa.2011.2434.2440>>. Acesso em: 15 de jun. 2022.

KANCELISTA, A.; CHMIELEWSKA, J.; KORZENIOWSKI, P.; ŁABA, W.; Bioconversion of sweet sorghum residues by *Trichoderma citrinoviride* c1 enzymes cocktail for effective bioethanol production. **Catalysts**, v. 10, p. 1292. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal10111292>.

KOBORI, C. N.; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 1008-1014, 2005.

LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource. Technology*, v. 87, n. 2, p. 167-198, 2003.

LEITE, P.; SOUSA, D.; FERNANDES, H.; FERREIRA, M.; COSTA, A. R.; FILIPE, D.; GONÇALVES, M.; PERES, H.; BELO, I.; SALGADO, J. M.; Recent advances in production of lignocellulolytic enzymes by solid-state fermentation of agro-industrial wastes. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 20, p. 2452-2236, 30104-8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100407>.

LIMA, J. M.; SILVA, O. S.; PORTO, L. D.; OLIVEIRA, L. F. B.; FIGUEIREDO, C. F. V.; SOUSA, S. Protein enrichment of tropical fruit residues by semi-solid cultivation. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. e5311527791, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.27791.

NUTONGKAEW, T.; PRASERTSAN, P.; LEAMDUM, C.; SATTAYASAMITSATHIT, S.; NOPARAT, P.; Bioconversion of oil palm trunk residues hydrolyzed by enzymes from newly isolated fungi and use for ethanol and acetic acid production under two-stage and simultaneous fermentation. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00678-x>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-019-00678-x>>. Acesso em: 15 de jun. 2022.

OLIVEIRA, M. M.; **Enriquecimento nutricional por bioconversão de resíduos agroindustriais para utilização na alimentação animal**. 2007. 185p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba. 2007.

PELIZER, L. H.; PONTIRRI, M. H., MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management e Innovation**, v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007.

PRASOULAS, G.; GENTIKIS, A.; KONTI, A.; KALANTZI, S.; KEKOS, D.; MAMMA, D. Bioethanol Production from Food Waste Applying the Multienzyme System Produced On-Site by *Fusarium oxysporum* F3 and Mixed Microbial Cultures. **Fermentation**, v. 6, n. 2, p. 39, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation6020039>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/journal/fermentation>>. Acesso em: 15 de jun. 2022.

RANKE, F. F. B.; SHINYA, T. Y.; FIGUEIREDO, F. C.; NÚÑEZ, E. G. F.; CABRAL, H.; NETO, P. O.; Ethanol from rice byproduct using amylases secreted by *Rhizopus microsporus* var. *oligosporus*. Enzyme partial purification and characterization. **Journal of Environmental Management**, v. 266, 2020. ISSN 0301-4797. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110591>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720305247>>. Acesso em: 16 de jun. 2022.

RODRÍGUEZ, LAURA & TORO, MARIA & VAZQUEZ, FABIO & CORREA-DANERI, M.L. & GOUIRIC, S.C. & VALLEJO, MARTHA.; Bioethanol production from grape and sugar beet pomaces by solid-state fermentation. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, p. 5914-5917, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.12.112>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319909020400>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

RIGO, D.; GAYESKI, L.; TRES, G. A.; CAMARA, F. D.; ZENI, J.; VALDUGA, E.; CANSIAN, R. L.; BACKES, G. T.; Produção microbιolόgica de enzimas: uma revisāo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.1, p.9232-9254 jan. 2021. ISSN: 2525-8761.

SALAKKAM, A.; KINGPHO, Y.; NAJUNHOM, S.; AIAMSONTHI, K.; KAEWLAO, S.; REUNGSANG, A.; Bioconversion of soybean residue for use as alternative nutrient source for ethanol fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 125, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2017.05.020>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X17301456>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

SHI, H.; ZHANG, M.; WANG, W.; DEVAHASTIN, S.; Solid-state fermentation with probiotics and mixed yeast on properties of okara. **Food Bioscience**, v. 36, 2020. ISSN 2212-4292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100610>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221242921930687X>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

SILVA, G. M. S.; COSTA, J. S.; CABRAL FILHA, M. C. S.; LIMA, A. B. S.; SILVA, O. S.; Enriquecimento proteico do resıduo de abacaxi mediante fermentaēāo semissólida. **Revista Verde**, v.11, n.5, p.39-44, 2016.

SILVA, J.; MEDEIROS, M. L. S.; PEREIRA, V. S.; SILVA, A. F. V.; BARBOZA, J. B.; SÁ, J. M.; ALMEIDA, A. K. C.; ARAÚJO, A. S. Enriquecimento proteico da palma forrageira

com *Saccharomyces Cerevisiae* por cultivo semissólido. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 8, p. 84268-84280, 2021. DOI:10.34117/bjdv7n8-576.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 9<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2007.