



## Área: Ciência de Alimentos

# ESTUDO BIBLIOMÉTRICO DA SACARIFICAÇÃO E FERMENTAÇÃO SIMULTÂNEA PARA OBTENÇÃO DE BIOETANOL

**Rafaela Julyana Barboza Devos\*, Valdimir Silva Devos, Luciane Maria Colla**

*Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS*

*\*E-mail: rafaela.devosb@gmail.com*

**RESUMO** – O bioetanol é um biocombustível que possibilita uma combustão menos agressiva, de forma limpa e sustentável, em comparação aos combustíveis fósseis. Sua conversão pode ocorrer pelos métodos de sacarificação e fermentação simultâneos (SSF) ou em separado. O processo de SSF se apresenta como um potencial operacional e sua principal vantagem se refere à rápida conversão da glicose em etanol no momento em que é formada, reduzindo o tempo de processo, evitando o acúmulo no meio e o efeito inibitório. Ainda, permite a obtenção de elevados rendimentos, concentrações e produtividade volumétrica de etanol, em comparação ao processo separado. A crescente aplicação da metodologia de SSF na obtenção de biocombustíveis resulta na necessidade de explorar as informações associadas à estudos laboratoriais e escala piloto, por meio da análise da literatura disponível, abordando as evidências científicas atuais. Para isso, o método bibliométrico foi aplicado para elucidar o processo de SSF na obtenção de bioetanol, pois reúne os estudos relacionados ao tema e a perspectiva quantitativa permite medir o progresso científico, explorando as características da publicação, países que concentram os estudos, campos de pesquisa, periódicos, autores e palavras-chave. Correspondendo à crescente aplicação da metodologia de SSF para obtenção de bioetanol, a literatura associada disponível também cresceu substancialmente. O presente estudo bibliométrico reuniu e quantificou evidências científicas atuais demonstrando o interesse mundial na metodologia de SSF, concluindo a maior aplicação em estudos laboratoriais e escala piloto, em comparação ao processo separado.

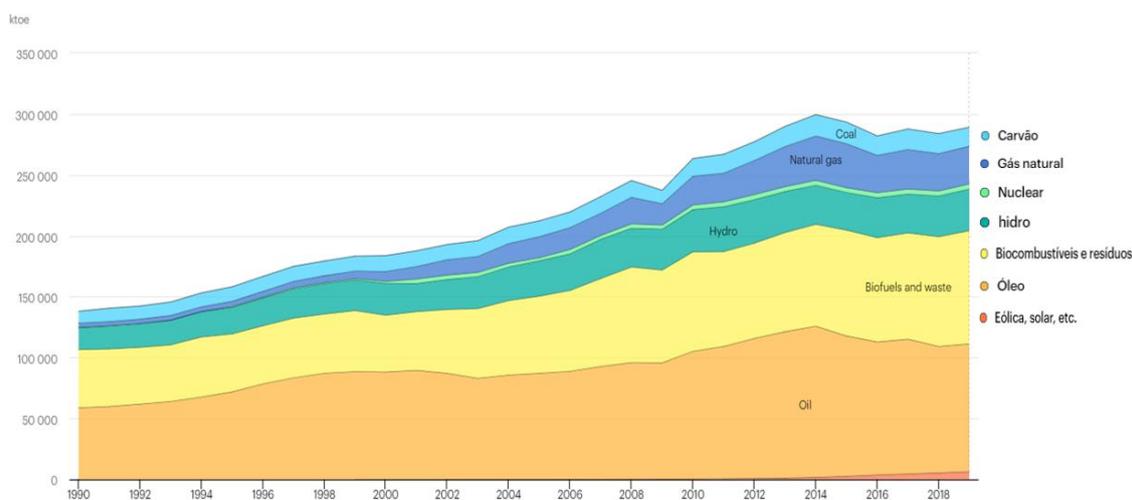
**Palavras-chave:** Bibliometria, biocombustível, palavras-chave, sacarificação e fermentação separadas.

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo energético industrial provém de produtos do refino de petróleo e representa uma problemática econômica e sustentável, pois estão expostos ao esgotamento progressivo e contribuem majoritariamente às mudanças climáticas (CINELLI et al., 2015). Visando alterar o cenário ambiental, o uso de biocombustíveis como o bioetanol possibilita uma combustão menos agressiva, de forma limpa e sustentável, em comparação aos combustíveis fósseis (KOÇAR; CIVAS, 2013). No Brasil, a produção de biocombustíveis é incentivada desde o ano de 1975 com a implantação do Programa Nacional do Alcool (ProAlcool), visando melhorias na política de combustíveis automotivos. Desde o estabelecimento do programa, a produção de bioetanol aumenta gradativamente, assim como a produção agrícola e industrial. Entre os anos de 2010 e 2016, a produção de bioetanol compreendeu cerca de 26 bilhões de litros (MAÇZYŃSKA et al., 2019), entretanto a maior produção do país foi registrada em 2020, com um total de 35,6 bilhões de litros de etanol, provenientes da cana-de-açúcar e milho. (CONAB, 2020). A energia renovável no país é a segunda maior utilizada (atrás apenas da energia fóssil), compreendendo cerca de 45% do consumo total energético, referente a 92.906 tonelada equivalente de petróleo (ktoe) no ano de 2019 (Figura 1) (IEA, 2021). A tecnologia é incentivada através da comercialização de veículos flex-fuel que permitem o uso de gasolina, etanol puro ou a mistura de ambos combustíveis (LOPES et al., 2016), o que contribui para a redução de gases de efeito estufa (GEE). No ano de 2018 o Brasil foi responsável por emitir 406.25 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (IEA, 2021).



Figura 1- Suprimento brasileiro energético por fonte nos anos 1990 a 2019.



Fonte: IEA, 2021.

O bioetanol pode ser produzido a partir de matérias-primas amiláceas, bem como utilizando resíduos de hortifruti como os de frutas e vegetais, visando uma diversificação da matriz energética. Essas produções se baseiam em tecnologias de primeira e segunda geração, respectivamente (NAGULESWARAN et al., 2012, RAMÍREZ; FERRARI; LAREO, 2016, LAREO et al., 2013). Sua conversão pode ocorrer pelos métodos de sacarificação e fermentação simultâneos (SSF) ou em separado, sendo a SSF uma alternativa eficaz, havendo a necessidade de estudo das condições operacionais ótimas para atuação conjunta de enzimas sacarificantes e microrganismos no processo fermentativo (SRICHUWONG et al., 2009).

O processo de SSF se apresenta como um potencial operacional e sua principal vantagem se refere à rápida conversão da glicose em etanol no momento em que é formada, reduzindo o tempo de processo, evitando o acúmulo no meio e o efeito inibitório, pois a hidrólise completa do polissacarídeo em açúcares fermentáveis ocorre paralelamente ao aumento da concentração de etanol no mosto, durante a fermentação (CARRILLO-NIEVES et al., 2019). Além disso, permite a obtenção de elevados rendimentos, concentrações e produtividade volumétrica de etanol, em comparação ao processo de sacarificação e fermentação separadas (SHF) (CARDONA; SÁNCHEZ, 2007).

A principal problemática da SSF se refere às condições de operação, dificultando o controle do processo e necessitando de elevadas concentrações de enzimas exógenas (CARDONA; SÁNCHEZ, 2007). Na produção de etanol amiláceo, a adição simultânea da enzima glucoamilase e da levedura no processo (geralmente *Saccharomyces cerevisiae*) para conversão do amido promove a redução da inibição do produto pelas células de levedura, além de aumento na glicose residual observada durante a fermentação. Entretanto, a eficiência da fermentação pode ser reduzida pela tolerância ao etanol da levedura, quando a mesma apresenta capacidade de suportar altos níveis de etanol sem sofrer efeitos sob sua atividade metabólica (SRICHUWONG et al., 2009).

Dessa forma, a temperatura do processo merece atenção. A temperatura de operação das cepas de *S. cerevisiae* na produção de etanol é de 30 °C, enquanto as glucoamilases apresentam temperatura ótima acima de 50 °C (ZHANG et al., 2010) e as celulasas entre 40 °C a 50 °C (CARDONA; SÁNCHEZ, 2007). Dessa forma, a hidrólise ocorre em temperatura não ideal, influenciando negativamente a eficiência da operação (LIMAYEM; RICKE, 2012). Geralmente a temperatura aplicada no processo está na faixa de 30 °C a 38 °C, respeitando as temperaturas ótimas dos microrganismos (XU; WANG, 2017) mas abaixo da ideal para as enzimas sacarificantes do processo (SRICHUWONG et al., 2009). Assim, a taxa de hidrólise é superior à taxa de consumo de glicose pela levedura, reduzindo a eficiência do processo (ZHANG et al., 2010).

Apesar das dificuldades intrínsecas, a crescente aplicação da metodologia de SSF na obtenção de biocombustíveis resulta na necessidade de explorar as informações associadas à estudos laboratoriais e escala piloto, por meio da análise da literatura disponível, abordando as evidências científicas atuais. Para isso, o método bibliométrico reúne os estudos relacionados ao tema, em tópicos estratégicos, devido a metodologia estatística de contagem de bibliografia que emprega. A perspectiva quantitativa permite avaliar e medir o progresso científico ao longo do tempo explorando as características da publicação, países que concentram os estudos, campos de pesquisa, periódicos, autores, citações e palavras-chave, através de indicadores (DU et al., 2014). Nesse sentido, o presente estudo buscou elucidar o processo de sacarificação e fermentação simultâneo para obtenção de bioetanol através de um estudo bibliográfico referente ao tema.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS



O levantamento bibliográfico relacionado à metodologia de SSF se baseou na busca de termos no Banco de dados Scopus. Delimitou-se ao estudo publicações escritas na língua inglesa e por meio da combinação de operadores binários, o requisito dos termos “(“bioethanol” ou “ethanol”), “starch”, “saccharification”, “fermentation”, “simultaneous” e “SSF”)” foram estabelecidos no título, resumo e palavras-chave, para obter resultados refinados à pesquisa. Além disso, foi determinado que os artigos deveriam ter sido publicados entre os anos de 2010 a 2021.

A investigação dos estudos utilizou a biblioteca Bibliometrix para o software R (R CoreTeam, 2017) para a análise bibliométrica.

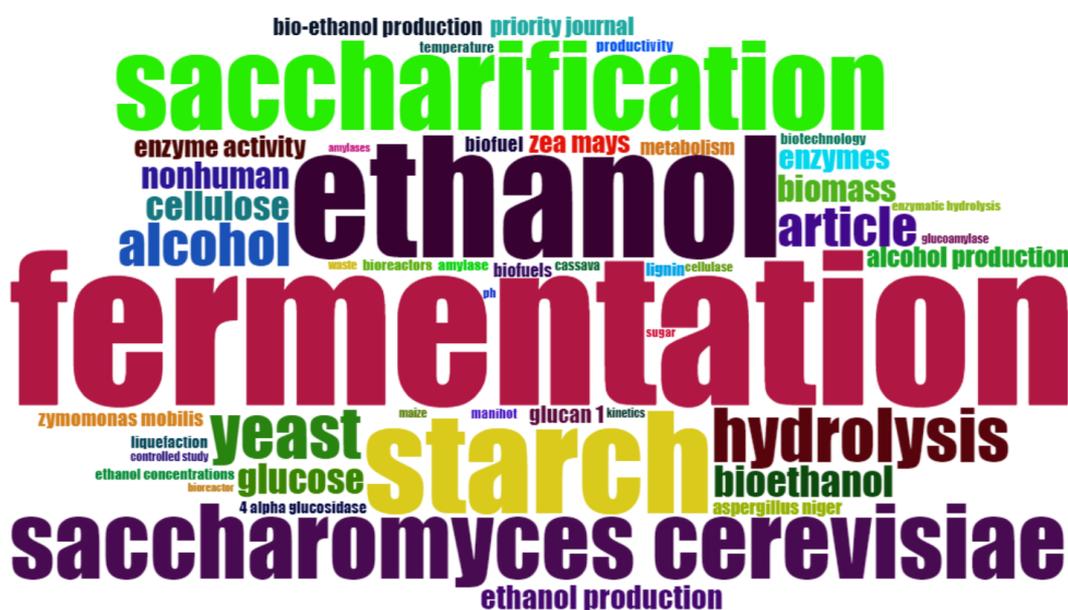
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa bibliométrica retornou um total de 122 documentos, sendo eles 108 artigos de pesquisa, 2 artigos de revisão, 8 resumos de conferências e 4 capítulos de livro. Destes, foram selecionados para análise e leitura os artigos de pesquisa e de revisão, de acordo com um critério de elegibilidade para definir os documentos mais relevantes para o estudo.

Um dos principais direcionamentos da análise bibliométrica se refere à literatura publicada e os autores correspondentes. Os tópicos abordados geralmente descrevem os países de publicação, áreas de estudo, termos e palavras-chave, idiomas, periódicos, centros de pesquisa e o número de artigos publicados por diferentes autores (DU et al., 2014).

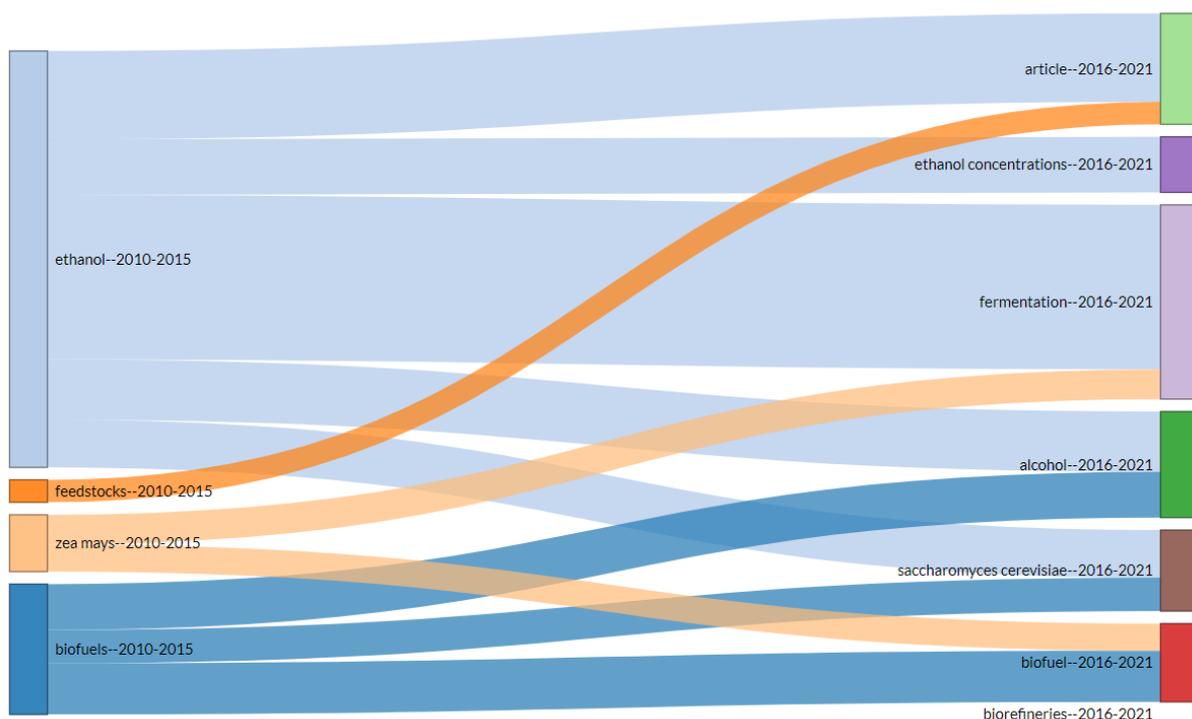
A biblioteca Bibliometrix apontou as principais palavras-chave (Figura 2) e tendências mundiais relacionadas ao tema central. As palavras-chave frequentemente citadas estavam relacionadas aos processos de fermentação (11% das citações) e sacarificação (7%) do etanol (9%), assim como a SSF (5%), amido (7%), hidrólise (4%) e sua produção a partir de *Saccharomyces cerevisiae* (4%), bem como um número considerável relacionadas à levedura (4%), biomassa (2%), atividade enzimática (2%), glicose (2%) e celulose (1%). Principais periódicos para publicação (1%), *Zea mays* (1%), *Aspergillus niger* (1%), temperatura (1%) e produtividade (1%) também foram mencionados. Além disso, os principais termos apresentados nos documentos se relacionam à: Pesquisa tecnológica, Combustíveis, Culturas e produtos industriais, Biotecnologia para biocombustíveis, Microbiologia e biotecnologia aplicada, Engenharia bioquímica e Biomassa e bioenergia.

Figura 2 - Palavras-chave citadas com frequência na produção científica mundial.



As áreas de estudo com maiores números de documentos são Energia, com 47 publicações, seguidas de Engenharia Química, Ciência Ambiental, Bioquímica, Genética e Biologia Molecular, Ciências Agrárias e Engenharia, com 42, 37, 35, 34 e 23 publicações, respectivamente. Na Figura 3 é possível perceber a evolução temática ao longo dos anos, onde as pesquisas antes (2010 a 2015) atribuídas apenas ao termo “etanol”, agora (2016 a 2021) se relacionam com os termos “fermentação”, “artigos”, “concentração de etanol”, “álcool” e “*Saccharomyces cerevisiae*”. Isso mostra a importância da análise bibliométrica do tema central, pois a mesma permite determinar as principais palavras e termos empregados, de acordo com evidências científicas atuais.

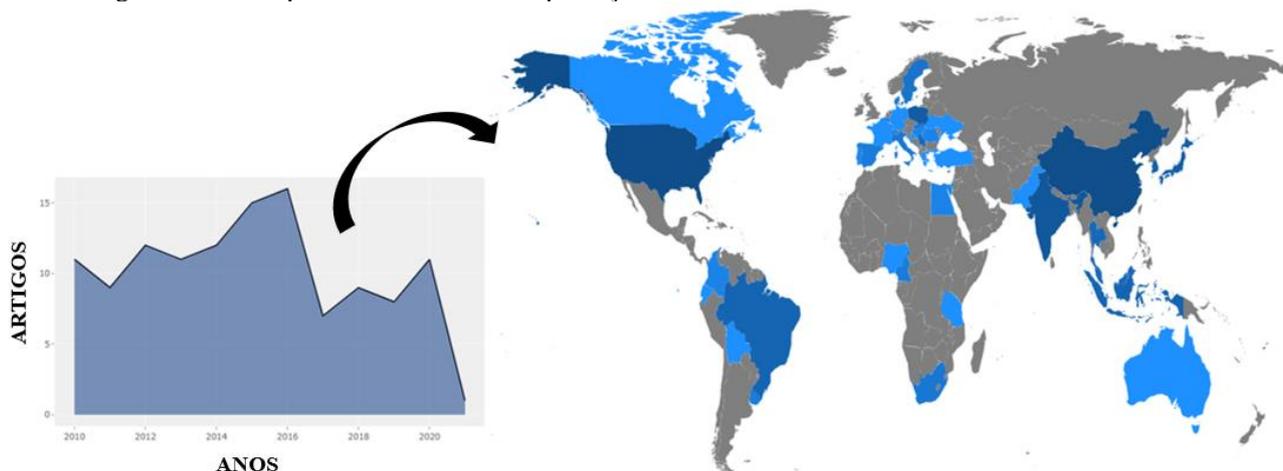
Figura 3 – Evolução temática dos termos de pesquisa ao longo dos anos.



A determinação da frequência de citações de palavras-chave na produção científica mundial é uma forma de medir o progresso do estudo do tema central, pois é um indicativo de objeto de pesquisa. Através desta podem ser avaliadas as tendências de desenvolvimento e mudanças na pesquisa de uma determinada área (DU et al., 2014). As principais palavras-chave e termos citadas no estudo demonstram o crescente interesse do tema, evidenciando o destaque do mesmo em publicações científicas e discussões mundiais. A aplicação destas palavras nos títulos, resumos e palavras-chave de trabalhos permite obter resultados refinados e direcionados à pesquisa.

Observou-se uma taxa de crescimento significativo da produção científica nos anos de 2014 a 2016. Entre os anos de 2010 e 2021, 35 países contribuíram para a publicação de artigos, no entanto, a produção se concentra em sua maioria na China (44 publicações), Estados Unidos (28), Índia (21), Polônia (18), Tailândia (14), Indonésia (12), Brasil (11) e Japão (11). Os países que concentram elevada produção científica estão destacados em azul na Figura 4, onde a intensidade da coloração representa os maiores índices de produção.

Figura 4 - Países que concentram elevada produção científica.



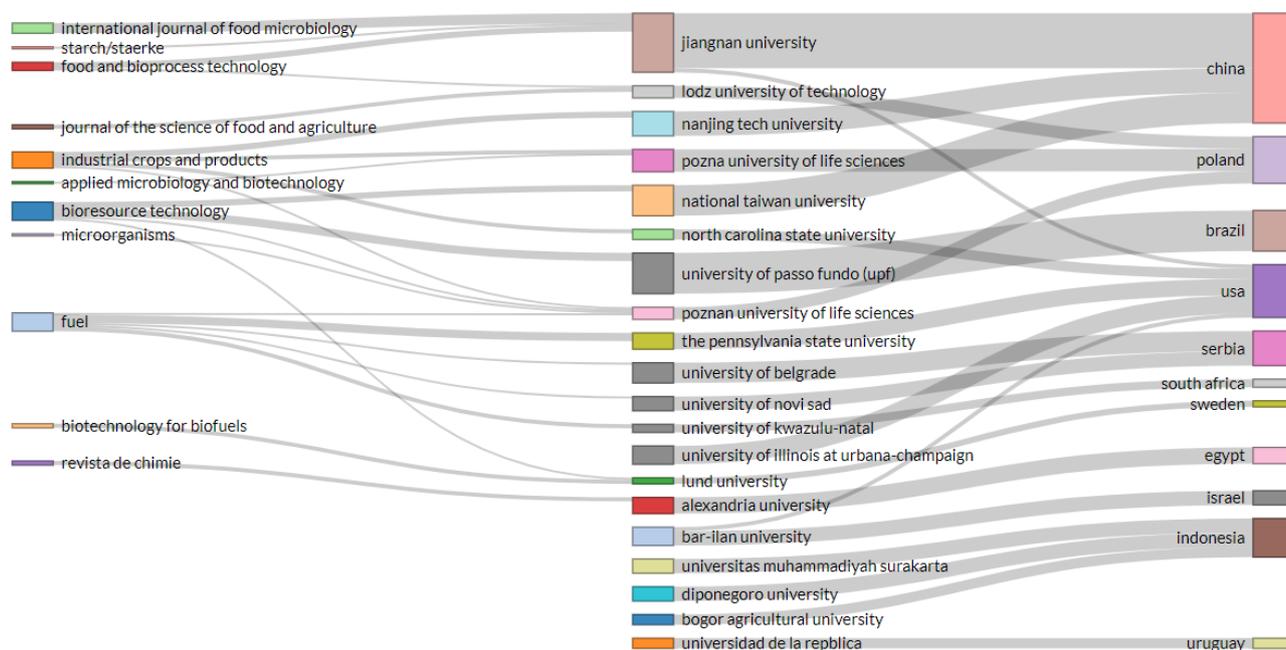
A elevada contribuição científica proveniente da China pode estar relacionada à revolução energética que o país propõe, que enfatiza a eletricidade, o gás natural e as tecnologias digitais mais limpas e eficientes. Nos dias atuais, a eletricidade do país provém da queima de carvão, sendo responsável por cerca de uma em cada quatro toneladas deste, que é usado globalmente. Expectativas futuras (até 2024) compreendem uma expansão da capacidade renovável global, além de liderar o crescimento global na produção de biocombustíveis, devido ao alto investimento na capacidade



produtiva (IEA, 2021). O desafio de fornecer energia sustentável e reduzir o uso de combustíveis fósseis, associado aos elevados investimentos pode retornar na forma de publicações científicas. No entanto, a China é responsável apenas por 3% da produção mundial de etanol (RFA, 2019). O destaque dos Estados Unidos na produção científica pode ser justificado pelo fato de que o país é o líder de produção de etanol no mundo, responsável por 54% desta, obtida principalmente a partir do milho (RFA, 2019). O mercado mundial de bioetanol compreende políticas nacionais que estimulam o aumento da produção e uso da bioenergia. Nos Estados Unidos, o cumprimento da Lei de Independência e Segurança Energética visa a redução de GEE (EPA, 2010) no entanto, o país emitiu cerca de 4921.13 Mt de CO<sub>2</sub> no ano de 2018, sendo a energia renovável responsável por 108.442 ktoe (quinta fonte energética no país) (IEA, 2021).

Ao todo, 468 autores contribuíram para a produção científica, sendo 465 destes autores de documentos de autoria múltipla, o que confere um índice de 3,91% de colaboração. As afiliações dos autores (centros de pesquisa) que se destacaram foram: Pozna University of Life Sciences (Polônia), com 10 publicações, Jiangnan University (China), com 9 publicações, University of Belgrade (Sérvia), com 5 publicações, Lodz University of Technology (Polônia), The Pennsylvania State University (Estados Unidos), University of Illinois at Urbana-Champaign (Estados Unidos) e Universidade de Passo Fundo (Brasil), ambas com 4 publicações cada. Estas afiliações são responsáveis por 48,8% dos documentos. A Figura 5 representa a rede social de relações entre as principais afiliações dos autores (centros de pesquisa), os países de produção e as principais áreas de estudo.

Figura 5 – Rede social de relações entre áreas de estudo, afiliações e países.



\*Campo esquerdo: áreas centrais. Campo do meio: afiliações dos autores. Campo direito: países.

Dentre os periódicos com maiores publicações se destacam: Bioresource Technology (12 artigos) e Fuel (10), seguidos de Industrial Crops and Product (5), Biotechnology for Biofuels (4), Applied Microbiology and Biotechnology, Biochemical Engineering Journal e Biomass and Bioenergy, ambos com 3 publicações cada. Os 11 artigos mais citados, assim como o total de citações (TC), média anual de citações (MAC), referência e nome do periódico estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais artigos citados na produção científica mundial.

Artigo	TC	MAC	Referência	Periódico
Review: Continuous hydrolysis and fermentation for cellulosic ethanol production	262	21,83	Brethauer, Wyman, 2010	Bioresour. Technol.
Ultrasound-assisted production of bioethanol by simultaneous saccharification and fermentation of corn meal	92	7,66	Nikolić et al., 2010	Food Chem
Ethanol production from mixtures of wheat straw and wheat meal	86	7,16	Erdei et al., 2010	Biotechnol Biofuels



A novel lime pretreatment for subsequent bioethanol production from rice straw – Calcium capturing by carbonation (CaCCO) process	79	6,58	Park et al., 2010	Bioresour Technol
Second-generation ethanol production from steam exploded barley straw by <i>Kluyveromyces marxianus</i> CECT 10875	63	5,72	García-Aparicio et al., 2011	Fuel
Fuel ethanol production from granular corn starch using <i>Saccharomyces cerevisiae</i> in a long term repeated SSF process with full stillage recycling	58	4,83	Białas et al., 2010	Bioresour Technol
The promise of a technology revolution in cassava bioethanol: From Thai practice to the world practice	49	4,08	Sriroth et al., 2010	Fuel
Utilisation of wheat bran as a substrate for bioethanol production using recombinant cellulases and amylolytic yeast	42	6,00	Cripwell et al., 2015	Appl Energy
Integrated bioethanol and biomanure production from potato waste	37	6,16	Chintagunta et al., 2016	Waste Manage
Bioethanol production from taro waste using thermo-tolerant yeast <i>Kluyveromyces marxianus</i> K21	35	5,83	Wu et al., 2016	Bioresour Technol
Evaluation of sweet potato for fuel bioethanol production: hydrolysis and fermentation	33	3,66	Lareo et al., 2013	Springerplus

As variações anuais no número de citações e média anual de citações de um artigo podem ser usadas para determinar o impacto da publicação, tornando-o relevante ao tema (DU et al., 2014). Através da conexão entre autores, afiliações e países, bem como o uso de palavras-chave e termos em comum, é possível perceber a importância de uma rede de colaboração acerca do tema central para expandir o alcance dos documentos e a produção científica mundial.

Os resumos dos artigos filtrados foram lidos e aqueles que se enquadraram na proposta do estudo foram selecionados e referenciados. A Tabela 2 reúne estudos que aplicaram o método de SSF para a produção de bioetanol, obtendo rendimentos satisfatórios.

Tabela 2- Produção de etanol por sacarificação e fermentação simultânea.

Levedura	Fonte de carbono	Produção de etanol (g/L)	Rendimento (%)	Produtividade de etanol (g/L.h)	Referência
<i>S. cerevisiae</i>	Bagaço de mandioca	27,4	57,8	0,37	SIRIWONG et al., 2019
<i>S. cerevisiae</i>	Bagaço de sorgo doce	38,0	89,4	1,28	WANG et al., 2013
<i>S. cerevisiae</i>	Casca de batata-doce	28,58	86,48	0,397	MITHRA et al., 2018
<i>S. cerevisiae</i>	Farinha de milho	9,42 ± 0,12	90,32 ± 1,52	1,96 ± 0,03	NIKOLIĆ et al., 2009
<i>S. cerevisiae</i>	Grão de centeio	41,1	84,20	-	STRAK-GRACZYK; BALCEREK, 2020
<i>S. cerevisiae</i>	Raízes de beterraba	36,32	87,01	0,505	MITHRA et al., 2018
<i>S. cerevisiae</i>	Resíduos de banana	31,0	93,0	-	WOBIWO et al., 2019
<i>S. cerevisiae</i>	Resíduo de coco	10,91 ± 0,15	85,31 ± 1,17	0,30 ± 0,15	GONÇALVES et al., 2016
<i>Pichia stipitis</i>	Resíduos de coco	10,96 ± 0,22	87,44 ± 1,79	0,23 ± 0,22	GONÇALVES et al., 2016



<i>Zymomonas mobilis</i>	Resíduo de coco	10,81 ± 0,21	84,56 ± 1,65	0,30 ± 0,21	GONÇALVES et al., 2016
<i>S. cerevisiae</i>	Tubérculos de batata-doce	92,21	91,13	3,78	ZHANG et al., 2010
<i>S. cerevisiae</i>	Tubérculos de mandioca	77,3	78,0	1,6	MOSHI et al., 2014

Vale destacar que a efetividade do método de SSF é influenciada principalmente pela qualidade da matéria-prima, pois a contaminação bacteriana desta remete na redução da produtividade de etanol, enquanto produz metabólitos bacterianos como ácidos láctico e acético, que são indesejáveis. A viscosidade elevada das fontes de substrato causa dificuldades de manuseio no processo podendo levar a hidrólise e fermentação incompleta devido às condições de estresse causadas às leveduras pela alta concentração de sólidos solúveis (WATANABE et al. 2010, BAI; ANDERSON; MOO-YOUNG, 2008). Considerando a produção de etanol de primeira geração, a concentração de amido residual (resistente à hidrólise enzimática devido sua estrutura e distribuição das camadas cristalinas) presente no caldo de fermentação afeta negativamente o resultado da fermentação (SZYMANOWSKA-POWAŁOWSKA et al., 2014).

Além disso, a água adicionada é um fator a ser avaliado para determinar a qualidade do método. Quantidades mínimas acrescentadas conferem maior efetividade à técnica, pois a energia necessária para removê-la no final do processo é reduzida (CAO et al., 2011). Assim, além da economia de água, é possível reduzir a geração de efluentes e os riscos de contaminação bacteriana, pois a água livre está ausente (PANDEY, 2003). A alimentação do biorreator e a agitação do sistema também são importantes para alcançar melhores desempenhos na concentração do produto (MENON; RAO, 2012).

Apesar das dificuldades intrínsecas, o método simultâneo é o mais aplicado em estudos laboratoriais e escala piloto nos dias atuais (XU; WANG, 2017), visto que a metodologia SSF apresentou elevada frequência de citação nos títulos dos artigos ou em um conjunto de palavras que se referem ao tema.

## 4 CONCLUSÃO

Correspondendo à crescente aplicação da metodologia de sacarificação e fermentação simultânea para obtenção de bioetanol, em estudos laboratoriais e escala piloto, a literatura associada disponível também cresceu substancialmente. As técnicas bibliométricas oferecem uma perspectiva quantitativa para avaliar o progresso científico, em tópicos estratégicos. O desenvolvimento da pesquisa é avaliado principalmente por meio da análise da frequência de citação de palavras-chave nos títulos e resumo de artigos, possibilitando investigar de forma refinada as características da literatura sobre o tema central. Além disso, é possível examinar características relevantes da publicação, como país de origem, afiliações e áreas de pesquisa, periódicos e autores.

O presente estudo bibliométrico reuniu e quantificou evidências científicas atuais demonstrando o interesse mundial na metodologia de SSF, concluindo que o método é o mais aplicado em estudos laboratoriais e escala piloto nos dias atuais, em comparação ao processo separado (XU; WANG, 2017), devido a elevada frequência de citação nos títulos dos artigos ou em um conjunto de palavras que se referem ao tema.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - código financeiro 001 pelo apoio financeiro.

## 6 REFERÊNCIAS

- BAI, F. W., ANDERSON, W. A., MOO-YOUNG, M. Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 1, p. 89-105, 2008.
- CAO, Y., TIAN, H., YAO, K., YUAN, Y. Simultaneous saccharification and fermentation of sweet potato powder for the production of ethanol under conditions of very high gravity. **Front. Chem. Sci. Eng.**, v. 5, n. 3, p. 318-324, 2011.
- CARDONA, C. A., SÁNCHEZ, O. J. Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 12, p. 2415-2457, 2007.
- CARRILLO-NIEVES, D., ALANÍS, M. J. R., QUIROZ, R. C., RUIZ, H. A., IQBAL, H. M. N., PARRA-SALDÍVAR, R. Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in Mexico. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 102, p. 63-74, 2019.
- CINELLI, B. A., CASTILHO, L. R., FREIRE, D. M. G., CASTRO, A. M. A brief review on the emerging technology of ethanol production by cold hydrolysis of raw starch. **Fuel**, v. 150, p. 721-729, 2015.



- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Primeiro levantamento, v. 7, n. 1, p. 1-62, safra 2020/21. Brasília, mai. 2020. Online. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>> Acesso em: 03 mar. 2021.
- DU, H., LI, N., BROWN, M. A., PENG, Y., SHUAI, Y. A bibliographic analysis of recent solar energy literatures: The expansion and evolution of a research field. **Renewable Energy**, v. 66, p. 696-706, 2014.
- EPA. EPA Lifecycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable fuels. **Office of Transportation and Air Quality**, Environmental Protection Agency: USA, 2010.
- GONÇALVES, F. A., RUIZ, H. A., dos SANTOS, E. S., TEIXEIRA, J. A., de MACEDO, G. R. Bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia stipitis* and *Zymomonas mobilis* from delignified coconut fibre mature and lignin extraction according to biorefinery concept. **Renewable Energy**, v. 94, p. 353-365, 2016.
- IEA. **World Energy Balances 2021**. Online. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries>> Acesso em: 03 mar. 2021.
- KOÇAR, G., CIVAS, N. An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 900-916, 2013.
- LAREO, C., FERRARI, M. D., GUIGOU, M., FAJARDO, L., LARNAUDIE, V., RAMÍREZ, M. B., MARTÍNEZ-GARREIRO, J. Evaluation of sweet potato for fuel bioethanol production: hydrolysis and fermentation. **SpringerPlus**, v. 2, n. 493, 11 p., 2013.
- LIMAYEM, A., RICKE, S. C. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 38, n. 4, p. 449-467, 2012.
- LOPES, M. L., PAULILLO, S. C. L., GODOY, A., CHERUBIN, R. A., LORENZI, M. S., GIOMETTI, F. H. C., BERNARDINO, C. D., NETO, H. B. A., DE AMORIM, H. V. Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 1, p. 64-76, 2016.
- MAÇZYŃSKA, J., KRZYWONOS, M., KUPCZYK, A., TUCKI, K., SIKORA, M., PIŃKOWSKA, H., BĄCZYK, A., WIELEWSKA, I. Production and use of biofuels for transport in Poland and Brazil – The case of bioethanol. **Fuel**, v. 241, p. 989-996, 2019.
- MENON, V., RAO, M. Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 38, n. 4, p. 522-550, 2012.
- MITHRA, M. G., JEEVA, M. L., SAJEEV, M. S., PADMAJA, G. Comparison of ethanol yield from pretreated lignocellulose-starch biomass under fed-batch SHF or SSF modes. **Heliyon**, v. 4, n. 10, e00885, 2018.
- MOSHI, A. P., CRESPO, C. F., BADSHAH, M., HOSEA, K. M. M., MSHANDETE, A. M., MATTIASSON, B. High bioethanol titre from *Manihot glaziovii* through fed-batch simultaneous saccharification and fermentation in Automatic Gas Potential Test System. **Bioresource Technology**, v. 156, p. 348-356, 2014.
- NAGULESWARAN, S., LI, J., VASANTHAN, T., BRESSLER, D., HOOVER, R. Amylolysis of large and small granules of native triticale, wheat and corn starches using a mixture of  $\alpha$ -amylase and glucoamylase. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 3, p. 864-874, 2012.
- NIKOLIĆ, S., MOJOVIĆ, L., RAKIN, M., PEJIN, D. Bioethanol production from corn meal by simultaneous enzymatic saccharification and fermentation with immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*. **Fuel**, v. 88, n. 9, p. 1602-1607, 2009.
- PANDEY, A. Solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 13, n. 2-3, p. 81-84, 2003.
- RAMÍREZ, M. B., FERRARI, M. F., LAREO, C. Fuel ethanol production from commercial grain sorghum cultivars with different tannin content. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 125-131, 2016.
- RFA. **Annual Fuel Ethanol Production**. RFA analysis of public and private data sources, 2019. Online. Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>> Acesso em: 03 mar. 2021.
- SIRIWONG, T., LAIMEHERIWA, B., AINI, U. N., CAHYANTO, M. N., REUNFSANG, A., SALAKKAM, A. Cold hydrolysis of cassava pulp and its use in simultaneous saccharification and fermentation (SSF) process for ethanol fermentation. **Journal of Biotechnology**, v. 292, p. 57-63, 2019.
- SRICHUWONG, S., FUJIWARA, M., WANG, X., SEYAMA, T., SHIROMA, R., ARAKANE, M., MUKOJIMA, N., TOKUYASU, K. Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of very high gravity (VHG) potato mash for the production of ethanol. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 5, p. 890-898, 2009.
- STRĄK-GRACZYK, E., BALCEREK, M. Effect of Pre-hydrolysis on Simultaneous Saccharification and Fermentation of Native Rye Starch. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, p. 923-936, 2020.
- SZYMANOWSKA-POWAŁOWSKA, D., LEWANDOWICZ, G., KUBIAK, P., BŁASZCZAKB, W. Stability of the process of simultaneous saccharification and fermentation of corn flour. The effect of structural changes of starch by stillage recycling and scaling up of the process. **Fuel**, v. 119, p. 328-334, 2014.
- WANG, L., LUO, Z., SHAHBAZI, A. Optimization of simultaneous saccharification and fermentation for the production of ethanol from sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) bagasse using response surface methodology. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 280-291, 2013.
- WATANABE, T., SRICHUWONG, S., ARAKANE, M., TAMIYA, S., YOSHINAGA, M., WATANABE, I., YAMAMOTO, M., ANDO, A., TOKUYASU, K., NAKAMURA, T. Selection of stress-tolerant yeasts for simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of very high gravity (VHG) potato mash to ethanol. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 24, p. 9710-9714, 2010.



WOBIWO, F. A., CHATURVEDI, T., BODA, M., FOKOU, E., EMAGA, T. H., CYBULSKA, I., DELEU, M., GERIN, P. A., THOMSEN, M. H. Bioethanol potential of raw and hydrothermally pretreated banana bulbs biomass in simultaneous saccharification and fermentation process with *Saccharomyces cerevisiae*. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 9, p. 553-563, 2019.

XU, Y., WANG, D. Integrating starchy substrate into cellulosic ethanol production to boost ethanol titers and yields. **Applied Energy**, v. 195, p. 196-203, 2017.

ZHANG, L., CHEN, Q., JIN, Y., XUE, H., GUAN, J., WANG, Z., ZHAO, H. Energy-saving direct ethanol production from viscosity reduction mash of sweet potato at very high gravity (VHG). **Fuel Processing Technology**, v. 91, n. 12, p. 1845-1850, 2010.