



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

CLÁUDIA ELISA CÉSAR GUIMARÃES

**UMA VISÃO GERAL DAS OPORTUNIDADES DE INTEGRAÇÃO PARA A
PRODUÇÃO DE BIOETANOL SUSTENTÁVEL A PARTIR DAS MATÉRIAS-
PRIMAS À BASE DE AÇÚCAR DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO:
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA AVANÇADA**

REDENÇÃO-CE

2023

CLÁUDIA ELISA CÉSAR GUIMARÃES

**UMA VISÃO GERAL DAS OPORTUNIDADES DE INTEGRAÇÃO PARA A
PRODUÇÃO DE BIOETANOL SUSTENTÁVEL A PARTIR DAS MATÉRIAS-
PRIMAS À BASE DE AÇÚCAR DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO:
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA AVANÇADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Engenharia de Energias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS) como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

Orientador: Dr. José Cleiton Sousa dos Santos.

REDENÇÃO - CE

2023

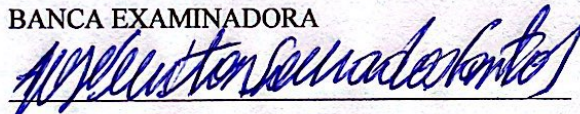
CLÁUDIA ELISA CÉSAR GUIMARÃES

**UMA VISÃO GERAL DAS OPORTUNIDADES DE INTEGRAÇÃO PARA A
PRODUÇÃO DE BIOETANOL SUSTENTÁVEL A PARTIR DAS MATÉRIAS-
PRIMAS À BASE DE AÇÚCAR DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO:
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA AVANÇADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Engenharia de Energias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS) como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

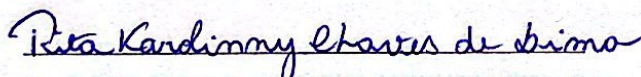
Aprovado em: 01/02/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. DR. JOSÉ CLEITON SOUSA DOS SANTOS

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. DRª. RITA KAROLINNY CHAVES DE LIMA

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. DRª. JULIANA FRANÇA SERPA

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Guimarães, Claudia Elisa Cesar.

G963v

Uma visão geral das oportunidades de integração para a produção de bioetanol sustentável a partir das matérias-primas à base de açúcar de primeira e segunda geração: análise bibliométrica avançada / Claudia Elisa Cesar Guimarães. - Redenção, 2023.
68fl: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientador: Prof. Dr. José Cleiton Sousa dos Santos.

1. Análise bibliométrica. 2. Biocombustíveis. 3. Integração.
4. Matérias-primas. 5. Produção de bioetanol. I. Santos, Prof. Dr. José Cleiton Sousa dos. II. Título.

CE/UF/BSCA

CDD 333.953

*À Deus, que com sua infinita sabedoria foi
um verdadeiro guia nessa minha jornada.
Aos meus pais, Diamantino e Madalena.
Aos meus irmãos.*

AGRADECIMENTOS

Á Deus, que fez com que um dos meus objetivos fosse alcançado, durante todos os meus anos de estudo. O Teu grande poder está trabalhando em mim, me transformando, me tornado cada vez melhor renovando a minha mente. A Ti pertence as minhas graças eternas.

Aos meus pais, Diamantino Manuel Francisco Guimarães e Madalena Galula César Guimarães, por me ensinarem a caminhar com sabedoria, inteligência e discernimento, a ser uma pessoa resiliente e esperançosa. Obrigada pela educação e por estarem sempre ao meu lado, tanto na alegria como em momentos delicados.

Aos meus queridos e amados irmãos, Filomena Benchimol, Rosa Guimarães Sapalalo, Mauro Guimarães, Gelson Guimarães e Dilma Guimarães, obrigada minha tropa, por cada frase de motivação, cada ligação, cada apoio e cada demonstração de amor. Vocês são meus parceiros, obrigada por serem a minha rocha sempre que preciso.

Ao meu namorado, Raydel D'Assunção Carvalho, obrigado pelo carinho, amor, companheirismo, paciência e incentivo. Obrigada por estar sempre ao meu lado.

À minha companheira de batalha, Carla de Pina, agradeço pela tua amizade, cada sorriso, abraço partilhado e pelo teu apoio incondicional. Muito obrigada minha irmã de alma.

Agradeço a todos os colegas da UNILAB, especialmente aos meus companheiros de entrada (2017.2) e batalha, Pedro Borges, Lana Carla, Amélia Mendes, Claudino Mendes, João Ambrósio e Virginia Mendes, e à todas pessoas com as quais tive o prazer de conviver durante o tempo de formação.

À Wilma Cassambe, obrigada por tudo, amiga, deixaste em mim boas lembranças, eu só tenho que agradecer por ter tido o privilégio de conviver contigo.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. José Cleiton Sousa dos Santos, pela disponibilidade e incentivo para realizar o trabalho. Obrigada pela confiança, os ensinamentos e pela compreensão. O senhor sempre foi e será uma inspiração para mim. Amigos, família, a vocês eu deixo uma palavra gigante de agradecimento. Hoje sou uma pessoa realizada e feliz porque não estive só nesta longa caminhada. Vocês foram meu apoio.

À UNILAB, eu agradeço pelo ambiente propício à evolução e crescimento, bem como a todos os seus professores que sempre proporcionaram um ensino de alta qualidade.

Por fim, mas não menos importante, deixo uma palavra de gratidão a todas as pessoas que de alguma forma tocaram meu coração e transmitiram força e confiança em mim.

Muito obrigada!

“Você não pode esperar construir um mundo melhor sem melhorar os indivíduos. Para esse fim, cada um de nós deve trabalhar para o seu próprio aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, compartilhar uma responsabilidade geral por toda a humanidade.”

- Maria Curie

RESUMO

As energias limpas têm ganhado cada vez mais espaço nos debates ambientais por tratarem de questões menos danosas ao meio ambiente, possibilitando ainda, uma conscientização global em relação ao uso de biocombustíveis. Embora elas não substituam os combustíveis fósseis na sua totalidade, podem contribuir para a redução do seu consumo. O bioetanol é o biocombustível líquido que pode ser produzido pelo processo de fermentação de matérias-primas com fontes de carboidratos a partir de diferentes tecnologias de conversão. Ele apresenta controvérsias envolvendo aspectos muitas vezes influenciados por ações governamentais. Neste sentido, o presente trabalho apresenta uma revisão bibliométrica avançada realizada no período de 2012 a 2021 sobre as oportunidades de integração para produção do bioetanol sustentável. A análise proposta trata de duas fontes de matérias-primas (a base de açúcar de primeira e segunda geração) comparando os processos autônomos e integrados. Como objetivo, o trabalho visa apresentar uma visão geral das publicações com abordagens atualizadas da temática, os grandes desafios da sua produção, as viabilidades (comparando as duas gerações em causa), os benefícios ambientais e as vantagens do processo de integração. Para realização da análise, os softwares Vosviewer, citespace, arcmap e o excell foram utilizados para explorar as 1647 publicações fornecidas com base nos critérios adicionados na Web of Science core collection. Consequentemente, os países asiáticos foram os que colaboraram com 63,6% de publicações científicas e a Índia foi o mais promissor em número de publicações. A área de pesquisa mais desenvolvida foi a energy fuels, em virtude disso, a revista Bioresource technology apresentou mais quantidade de artigos. A Universiti Tenaga Nasional, foi a instituição com maiores interações. Além disso, foram apresentadas as quatro tendências emergentes, em menção: hidrólise enzimática, configuração de processo diferente, *Zymomonas mobilis* e características estruturais. Por fim, a pesquisa foi definida como uma tendência positiva, apesar que ainda existem dificuldades que podem ser vencidas através de melhorias no processo.

Palavras-chaves: Análise bibliométrica. Biocombustíveis. Integração. Matérias-primas. Produção de bioetanol.

ABSTRACT

Clean energies have gained more and more space in environmental debates because they address issues that are less harmful to the environment, also enabling a global awareness regarding the use of biofuels. Although they do not replace fossil fuels in their entirety, they contribute to reducing their consumption. Bioethanol is the liquid biofuel that can be produced by the fermentation process of raw materials with carbohydrate sources from different conversion technologies. It presents controversies involving aspects often influenced by government actions. In this sense, the present work presents an advanced bibliometric review carried out in the period from 2012 to 2021 on integration opportunities for the production of sustainable bioethanol. The proposed analysis deals with two sources of raw materials (first and second generation sugar base) comparing autonomous and integrated processes. As an objective, the work aims to present an overview of publications with updated approaches to the subject, the great challenges of their production, the viability (comparing the two generations in question), the environmental benefits and the advantages of the integration process. To carry out the analysis, Vosviewer, citespace, arcmap and excell software were used to explore the 1647 publications provided based on the criteria added in the Web of Science core collection. Consequently, Asian countries were the ones that collaborated with 63.6% of scientific publications and India was the most promising. The most developed area of research was energy fuels, as a result, the journal Bioresource technology presented a greater number of articles. Universiti Tenaga Nasional was the institution with the greatest interaction. In addition, the four emerging trends mentioned above were presented: enzymatic hydrolysis, different process configuration, *Zymomonas mobilis*, and structural features. Finally, the results showed that, in general, the studies have more advantages than disadvantages, one of which is the fact that integration opportunities offer several benefits. Thus, the research was defined as a positive trend, although there are still difficulties that can be overcome through improvements in the process.

Keywords: Bibliometric analysis. Biofuels. Integration. Raw material. Bioethanol production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da metodologia em estrutura PRISMA.....	20
Figura 2 - Evolução do número de publicações sobre produção de bioetanol na WoS de 2012 a 2021.....	22
Figura 3 - Mapa de visualização da rede mostrando a cooperação entre países com um mínimo de 5 artigos publicados.....	25
Figura 4 - Representação da distribuição de publicações por países a nível continental.	26
Figura 5 - Mapa de visualização da rede mostrando a cooperação entre organizações com pelo menos 300 citações.	27
Figura 6 - Geocodificação das organizações responsáveis pela publicação dos artigos analisados.....	28
Figura 7 - Mapa de visualização da rede mostrando a cooperação entre autores.	29
Figura 8 - Total de artigos publicados por área de pesquisa.	33
Figura 9 - Distribuição porcentual das áreas de pesquisa relacionadas à produção sustentável de bioetanol.....	34
Figura 10 - Lista de várias matérias-primas utilizadas para a produção de bioetanol. A figura encontra-se dividida em três partes: primeira geração, segunda geração e terceira geração.	35
Figura 11 - Fluxograma do processo de produção de bioetanol a partir de fontes sacarinas e amiláceas.....	37
Figura 12 - Mapa de densidade das palavras-chave relacionadas à produção sustentável de bioetanol a partir de matérias-primas de segunda geração.	39
Figura 13 - Biomassas lignocelulósicas para produção de bioetanol.	39
Figura 14 - Fluxograma do processo de produção de bioetanol a partir de fontes lignocelulósicas.....	40
Figura 15 - Evolução das pesquisas sobre fontes aquáticas utilizadas para a produção do bioetanol de terceira geração.	41
Figura 16 - Rede de visualização de palavras-chave (janeiro de 2012 a dezembro de 2021).	47
Figura 17 - Mapa de visualização da rede de co-citação de palavras-chave na pesquisa integração para a produção de bioetanol.	50

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Top 10 das principais revistas científicas com publicações na área de produção de bioetanol.....	23
Tabela 2 - Os 10 países mais prolíficos na área de produção de bioetanol.	24
Tabela 3 - 10 artigos originais mais citados dentre os 1647 artigos selecionados.....	30
Tabela 4 - Diferença entre o bioetanol de primeira e segunda geração.	42
Tabela 5 - Classificação das 24 palavras-chave de maior destaque citadas nos artigos analisados.....	48
Tabela 6 - Os seis principais clusters de pesquisa de cocitação sobre oportunidades de integração para a produção de bioetanol.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
CID	Cluster
CM	Citação média
FI	Fator de Impacto
FTL	Força Total do Link
GEE	Gases De Efeito Estufa
LLR	Teste De Razão De Verossimilhança Logarítmica
LSI	Indexação Semântica Latente
MI	Teste De Informação Mútua
N	Quantidade de artigos
NC	Número de citações
NP	Número de publicações
P	Países
P (%)	Percentual de participação
TN	Tamanho do nó
WOS	Web of Science
VOS	Vosviewer
1G	Primeira geração
2G	Segunda geração

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo geral	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. Biocombustíveis.....	17
3.2. Biomassa	17
3.3. Classificação das matérias-primas	17
3.4. Clusterização	18
4. METODOLOGIA.....	19
4.1. Fontes de dados.....	19
4.2. Fonte de análise.....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5.1. Análise bibliométrica	21
5.1.1. Análise quantitativa das tendências de publicações	21
5.1.2. Distribuição de revistas científicas	22
5.1.3. Distribuição por país e instituição	23
5.1.4. Análise quantitativa dos artigos citados	29
5.1.5. Áreas de Pesquisa	32
5.2. Matérias-primas para produção de bioetanol.....	34
5.2.1. Fontes sacarinas e amiláceas	35
5.2.2. Fontes lignocelulósicas	37
5.2.3. Fontes aquáticas.....	40
6. PRINCIPAIS DIFERENÇAS NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL 1G E 2G	42
7. INTEGRAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BIOETANOL 1G E 2G.....	44
8. TÓPICOS DE PESQUISAS QUENTES.....	46
8.1. Análise quantitativa de palavras-chave.....	46
8.2. Áreas de pesquisa.....	50
8.2.1. Campos relacionados	51
8.2.2. Tendências emergentes	53
9. CONCLUSÕES.....	56
10. REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

A economia mundial atual é dependente de várias fontes de energia fóssil, como o petróleo, carvão, gás natural, que são matérias-primas utilizadas principalmente para a produção de eletricidade (SARKAR et al., 2012). Esses combustíveis são aproveitados porque apresentam formas favoráveis de armazenamento, transporte e imensa energia química (SATHRE, 2014). Apesar de oferecerem benefícios ao longo dos anos, proporcionando energia elétrica para o desenvolvimento de uma sociedade, os combustíveis fósseis (RIBEIRO, 2014), não deixam de ser fontes energéticas com consequências ambientais que são alvos de discussões mundiais (SANTANA et al., 2020). Além do mais, o crescimento do setor de transportes (OSMAN et al., 2021) também tem contribuído significativamente com o aumento do uso de energia fóssil e consequentemente com os fatores que comprometem o meio ambiente. Para solucionar parcialmente esses problemas, buscou-se implementar na matriz energética as energias limpas, uma vez que elas possuem inúmeros contributos para o meio ambiente, como a baixa emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e redução do ritmo do aquecimento global. Neste contexto, as energias limpas (DE LA PEÑA et al., 2018) têm ganhado cada vez mais espaço nos debates ambientais por tratarem de questões menos danosas ao meio ambiente, possibilitando ainda, uma conscientização global como resultado de um desenvolvimento sustentável. Assim sendo, existem diversas fontes alternativas de energia (DRESSELHAUS; THOMAS, 2001) que, embora que não substituam o uso de combustíveis fósseis na sua totalidade, porém contribuem para a redução do seu consumo (SOUZA et al., 2012), sendo uma delas a energia gerada a partir da biomassa (KUMAR et al., 2015), que pode ser convertida em biocombustíveis no estado sólido, líquido e gasoso para a geração de bioenergia, assim como alguns produtos químicos (VASSILEV; VASSILEVA, 2016). Para que os biocombustíveis sejam amplamente utilizados no mundo, não basta apresentarem características ambientalmente sustentáveis, também devem ser competitivos com os combustíveis de origem fóssil (VIDAL, 2021a). No entanto, a substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis é vista como uma estratégia capaz de atender não só o futuro da energia mundial demanda, mas também a exigência de redução de gases de efeito estufa (GEE) (ULLAH et al., 2015). O bioetanol, biodiesel (KNOTHE; RAZON, 2017; RAMOS et al., 2011) e o biogás (KOUGIAS; ANGELIDAKI, 2018), são os biocombustíveis mais conhecidos a nível mundial, e a utilização deles tem crescido exorbitantemente, por serem produtos biodegradáveis e com

diversos impactos positivos ao meio ambiente. Dentre eles, o bioetanol ($\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$ ou ETOH) é o combustível que apresenta controvérsias envolvendo aspectos muitas vezes influenciados por ações governamentais, como balanço energético, produtividade/competitividade da produção e o modelo econômico em que a sociedade está inserida (GOUVEIA, 2013). Ele é classificado como biocombustível líquido que pode ser produzido pelo processo de fermentação de matérias-primas com fontes de carboidratos a partir de diferentes tecnologias de conversão. Essas matérias-primas podem ser classificadas em quatro grupos: i) sacarinas (contendo açúcar), ii) amiláceas (contendo amido), iii) lignocelulósicas, composta basicamente, por 40 a 60% de celulose, 20 a 40% de hemicelulose e 15 a 25% de lignina (BALAT, 2011; SOUZA et al., 2012) e iv) algas (contendo amido e celulose). Quanto as rotas de obtenção dessas fontes, as matérias-primas com açúcar e amido fazem parte da primeira rota (primeira geração) utilizando biomassas comestíveis (BUŠIĆ et al., 2018). Enquanto que as biomassas lignocelulósicas (segunda geração) representam as culturas abundantes e renováveis, que são as matérias-primas não comestíveis. Já as algas marinhas estão a receber atenção global como a terceira rota (terceira geração) para a obtenção de bioetanol (OFFEI et al., 2018). Dentro da pesquisa, as algas foram abordadas de forma breve, tendo em conta que o principal foco está voltado na primeira e na segunda geração.

O bioetanol de primeira e segunda geração procriaram diversas discussões sobre qual dos dois seria mais sustentável, econômico e com melhor rendimento. Muitos pesquisadores chegaram à conclusão que, devido as preocupações ambientais a produção de bioetanol de segunda Geração (2G) pode ser vista como uma inovação ambiental e tecnológica, porque permite melhorar o aproveitamento dos resíduos gerados na primeira geração, os resíduos sólidos urbanos e da biomassa florestal proporcionando menor impacto ambiental (SENNA, 2016), mas também apontaram que existem outros fatores, (como o custo e o rendimento) que inibem esta produção. Esses fatores serão abordados no decorrer da revisão, assim como as possíveis soluções e as diferenças pertinentes entre as duas gerações.

Nesse contexto, o presente trabalho caracteriza-se como uma revisão bibliométrica avançada sobre *“as oportunidades de integração para a produção de bioetanol sustentável”*. Para revisão, realizou-se uma ampla busca de artigos científicos na base de dados da Web of Science (WoS), utilizando as palavras-chave “produção de bioetanol”, “fermentação”, e “impacto ambiental” no período de 2012 a 2021. O objetivo deste trabalho é verificar como está caracterizada a produção científica sobre a temática

produção de bioetanol e apresentar uma visão geral das publicações com abordagens atualizadas.

Desta feita, o estudo foi organizado em 9 seções, incluindo esta introdução. A segunda seção apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos. Na terceira seção, trata da metodologia proposta no trabalho. A quarta seção refere-se aos resultados obtidos juntamente com as suas respectivas discussões. A quinta seção apresenta as principais diferenças entre as duas gerações de bioetanol (1G e 2G). A sexta seção relata de modo geral as formas de integração do bioetanol de 1G e 2G. Na sétima seção, são discutidos os principais tópicos de pesquisa. Na oitava seção, conclui-se as observações do trabalho e na nona seção apresenta-se as referências utilizadas durante a escritura.

Esta revisão também aponta as seguintes questões:

Q1: Como tem se desenvolvido a produção científica na pesquisa de produção de bioetanol sustentável?

Q2: Quais são as principais matérias-primas destacadas dentro da pesquisa?

Q3: Quais são os principais pontos de acesso de pesquisas (palavras-chave) dentro da produção de bioetanol sustentável na literatura?

Q4: Quais são os principais grupos de pesquisa de cocitação na revisão?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar e quantificar a produção científica publicada pelos pesquisadores durante os anos de 2012 a 2021.

2.2. Objetivos específicos

O trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- ✚ Analisar o total de artigos publicados;
- ✚ Identificar as revistas, países, instituições e autores dos trabalhos;
- ✚ Identificar os trabalhos mais citados e as áreas de pesquisa mais participativas;
- ✚ Analisar as matérias-primas utilizadas para a produção do bioetanol de primeira e segunda geração.;
- ✚ Verificar as oportunidades de integração da produção de 1G-2G.
- ✚ Analisar e identificar tendências sobre a temática.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Biocombustíveis

Os biocombustíveis são conhecidos como combustíveis obtidos por meio de matérias-primas renováveis, e são caracterizados por equilibrarem a quantidade de dióxido de carbono produzido pela queima com a quantidade absorvida no plantio da matéria-prima (OLIVEIRA, 2019)

3.2. Biomassa

A biomassa é uma fonte alternativa atraente e viável para contribuição da redução do uso de combustíveis fósseis e também é percebida como uma fonte de energia neutra em carbono (ABBASI; ABBASI, 2010).

3.3. Classificação das matérias-primas

A 1ª geração corresponde às tecnologias comerciais. As usinas de etanol utilizam os açúcares e amido para obtenção do bioetanol de primeira geração (LENNARTSSON; ERLANDSSON; TAHERZADEH, 2014). Esta geração mostra que, etanol gerado à base de açúcar e amido domina os estudos de integração pelos fortes componentes tecnoeconômicos, bem como de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (FERREIRA et al., 2018). No entanto, a principal desvantagem desta produção é a disputa existente entre os alimentos e o combustível (BHATIA et al., 2017), pois a limitação da oferta de alimentos pode afetar a população mundial (JAMBO et al., 2016). Os processos de 2ª geração são tecnologias emergentes. O bioetanol de segunda geração surgiu para resolver os problemas existentes na primeira geração, pois ele consiste na fermentação da biomassa lignocelulósica. Essa produção tem interessando muitos pesquisadores e cientistas, como melhor caminho para a sustentabilidade (ADITIYA et al., 2016b). Os processos de 3ª geração são tecnologias que estão em desenvolvimento (LUZ JR et al., 2009). Nesta geração o bioetanol é obtido pelas algas, porque elas apresentam bom potencial e podem ser convertidas diretamente em energia, ademais, a utilização das algas para produção de bioetanol depende de fatores como tecnologia e ambiente marinho (JAMBO et al., 2016). Assim sendo, a variedade de matérias-primas torna a produção do bioetanol mais ampla por serem inesgotáveis e econômicas. Quanto a escolha das matérias-primas, alguns critérios como, o teor de açúcar, o preço da produção e da transformação, a quantidade, a facilidade de adquirir (disponibilidade), transportar e o seu balanço energético, são

avaliados para garantir a eficácia do bioetanol. A disponibilidade depende do espaço geográfico, por exemplo: os Estados Unidos da América em comparação com o Brasil, possui impasses de encontrar as matérias-primas sacarinas, fato que leva a produzir bioetanol a partir de matérias-primas amiláceas.

3.4.Clusterização

A clusterização é outra técnica de enriquecimento da análise bibliométrica cujo objetivo principal é a criação de clusters temáticos ou sociais (dependendo do tipo de análise que está sendo realizada) (DONTU et al., 2021), uma vez que a análise de cluster visa a detecção de particionamento natural de objetos, em outras palavras, agrupa observações semelhantes em subconjuntos homogêneos (BOCCARD; RUDAZ, 2013).

3.5.Gases de Efeito Estufa

Durante a conversão da energia química em energia térmica (KATO, 2007) pelo processo de combustão dos combustíveis fósseis, o calor resultante pode proporcionar energia elétrica, porém no decorrer da queima do combustível vários gases poluentes são gerados, como o dióxido de carbono CO_2 , o monóxido de carbono CO e outros gases com óxidos de enxofre e nitrogênio. Esses gases são conhecidos como Gases de Efeito Estufa (GEE) e têm grande influência na deterioração ambiental (ALIK, ABDUL; GROHMANN, ELISABETH; AKHTAR, 2014), mudança climática global (ZIDANŠEK et al., 2009) e no aumento de problemas de saúde, que são situações que trazem preocupações na humanidade

4. METODOLOGIA

4.1. Fontes de dados

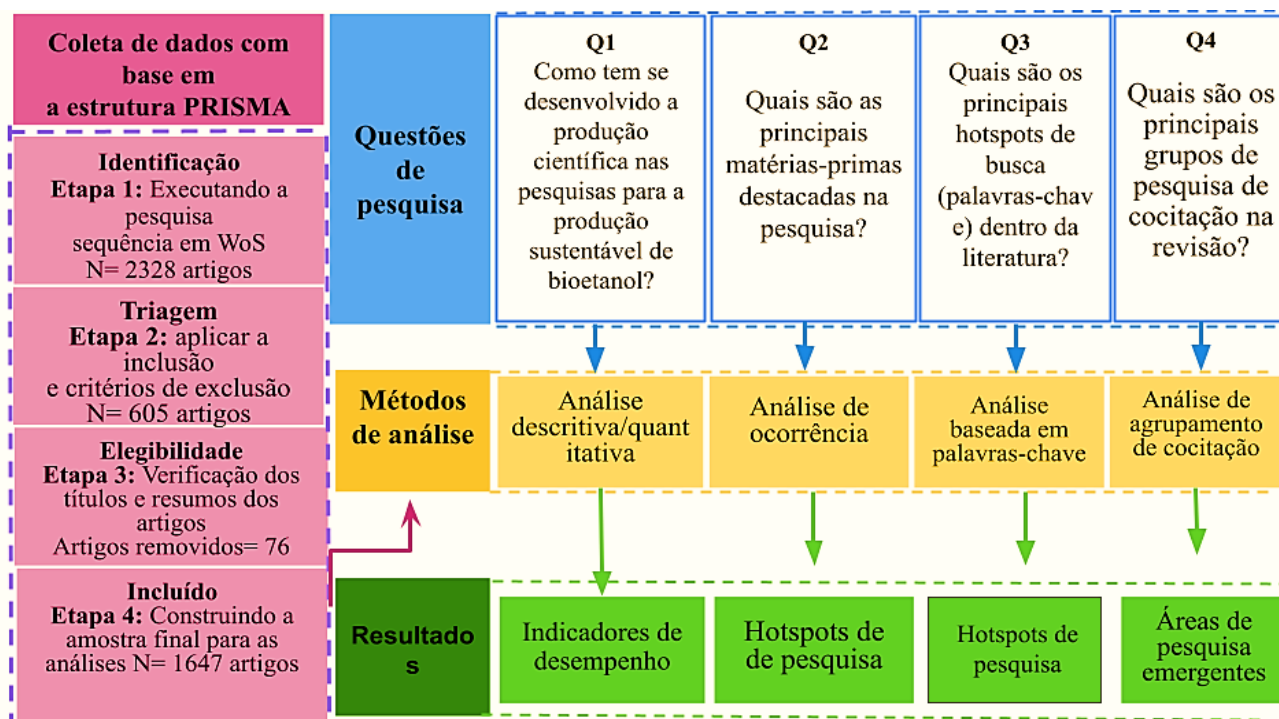
A análise bibliométrica é uma ferramenta bastante popular e detalhista para contagem de grandes quantidades de dados científicos (YOSHIDA, 2010). De acordo com (DONTHU et al., 2021), a análise tem o propósito de desvendar as nuances evolutivas de um campo de pesquisa específico, mostrando indicadores importantes como, os países, autores, revistas, instituições, ao mesmo tempo fornecendo as áreas emergentes desse campo.

Para realização da presente análise bibliométrica, primeiramente fez-se uma pesquisa sobre o tema na base de dados da *Web of Science – Clarivate Analytics* (<https://www-webofscience.ez373.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/basic-search>) que é uma base multidisciplinar desenvolvida pela Thomson Scientific – Institute for Science Information (ISI) (SOARES et al., 2016), e foi utilizada com o propósito de obter o maior e/ou melhor número de publicações relacionada ao tema, ressaltando que para realização da pesquisa utilizou-se a proxy da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) para o melhor acesso dos documentos.

As palavras-chave selecionadas para obter a amostra deste estudo foram: no primeiro campo “*Bioethanol production*” (título) OR “*Fermentation*” (Título) AND “*Environmental impact*” (tópico) AND 2012 – 2021 (anos de publicações). Decidiu-se excluir o ano de 2022 para não existir interferências (aumento de artigos) durante a pesquisa, porque se tratava do ano que estava sendo elaborada a revisão. Em seguida fez-se os refinamentos das publicações permitindo apenas artigos no idioma inglês e nos seguintes tipos de documentos: artigos (n=1381), artigos de revisão (n=107) e conferências (n=193), realizando essas operações obteve-se um total de 1647 documentos.

Esta análise bibliométrica evoluiu nas seguintes etapas: i) análise bibliométrica do desenvolvimento das publicações, apresentando a análise quantitativa das tendências de publicações, distribuição de revistas, países, instituições, autores, artigos citados e áreas de pesquisa (RANJBARI et al., 2022); ii) análise das matérias-primas; iii) análise baseada nas palavras-chave e dos principais clusters. A Figura 1 ilustra representação geral da metodologia empregada para elaboração do trabalho em uma estrutura prisma.

Figura 1 - Representação da metodologia em estrutura PRISMA.



Fonte: Adaptado de (RANJBARI et al., 2022).

4.2. Fonte de análise

Para mensurar, interpretar e avaliar a quantidade de documentos obtidos, utilizou-se os seguintes programas: *VOSViewer*, *Citespace (v.6.1. R3)*, *Arcmap* (WAMPLER; REDISKE; MOLLA, 2013), *Excel* e o *Google planilha*. O *VOSViewer* foi a ferramenta utilizada para visualizar e construir mapas bibliométricos a partir de dados de rede, usando técnicas de mapeamento e agrupamento VOS (SANTOS et al., 2018). Assim como o *VOSViewer*, o *Citespace* foi aplicado para adquirir conjunto de registros bibliográficos de publicações relevantes. O *excel* e *google planilhas* foram utilizados para realizar tabelas e algumas figuras mais detalhadas e o *Arcmap* foi utilizado para realizar a geocodificação, que é o processo que consiste em transformar os dados de localização em dados espaciais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise bibliométrica

Nesta seção será respondida a primeira questão:

- **Q1:** Como tem se desenvolvido a produção científica na pesquisa de produção de bioetanol sustentável?

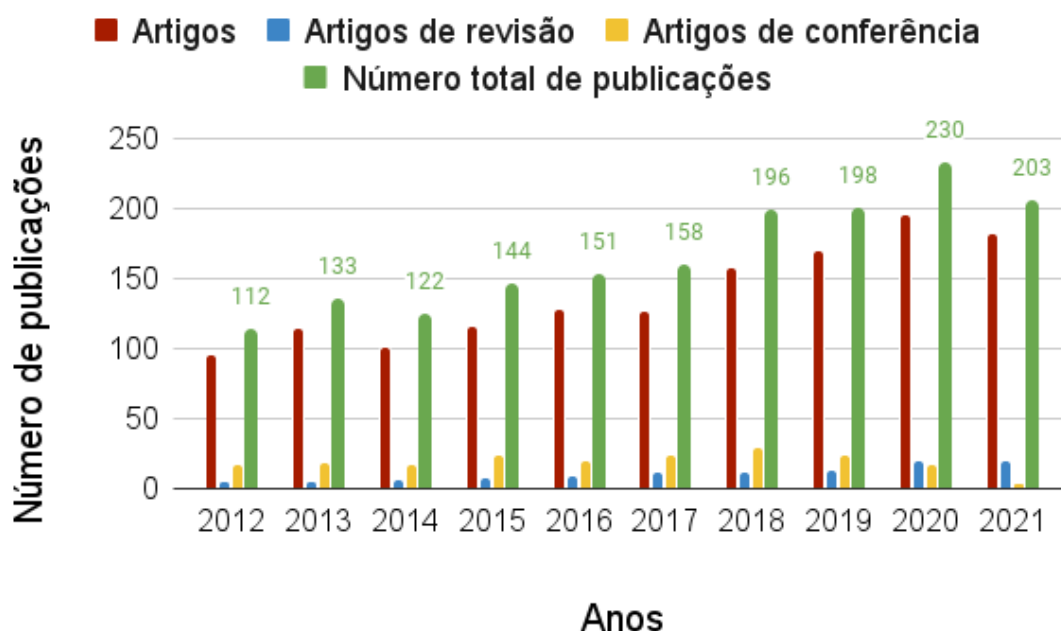
5.1.1. Análise quantitativa das tendências de publicações

A evolução dos números de publicações é um dos aspectos mais relevantes de uma análise bibliométrica. Durante 2012 a 2021, as publicações sobre a produção do bioetanol aumentaram significativamente.

A figura 2 ilustra uma comparação evolutiva referente ao número total de publicações e ao número de publicações referentes aos artigos, artigos de revisão e artigos de conferência. Do total de 1647 publicações, 107 são artigos de revisão, que representam 6,50% de contribuições sobre a temática estudada. Constata-se que os artigos de revisão estão em minoria em relação aos outros dois grupos, uma vez que, no ano de 2012 apenas 4 artigos de revisão foram publicados, mas essa quantidade quintuplicou (n=20) no período de 2020 tornando-se o ano com maior produtividade para esta categoria. Quanto aos artigos de conferência, eles representam 11,72% (n=193) do total de contribuições. O ano de maior produção para os artigos de conferência foi em 2018 com 29 publicações, estranhamente de 2019 a 2020, a quantidade de documentos foi diminuindo e chegou a ter apenas três documentos divulgados em 2021. O comportamento é dito como anormal porque, geralmente a baixa quantidade de documentos é mais frequente nos anos mais antigos. Os 83,85% (n=1381) do total de documentos foram destinados aos artigos. Evidentemente, esse desenvolvimento manifesta o interesse positivo sobre a temática em estudo, em razão da necessidade de substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis.

Apesar do ano de 2020 ter sido afetado pela pandemia do COVID-19, de um modo geral, o ano foi considerado de maior rendimento científico em relação ao número total de publicações (QUEIROZ; ALBUQUERQUE; SOUSA, 2021) e estima-se que os números de pesquisas possam aumentar.

Figura 2 - Evolução do número de publicações sobre produção de bioetanol na WoS de 2012 a 2021.



Fonte: Autora (2022).

5.1.2. Distribuição de revistas científicas

Na análise feita foram verificados 1057 documentos publicados em 70 revistas diferentes. O crescimento dos documentos deve-se ao fato de que nos últimos anos as temáticas sobre a produção do bioetanol e de sustentabilidade geraram grande atração na busca por práticas ambientais sustentáveis e inovadoras para a independência dos combustíveis fósseis.

A tabela 1, mostra as 10 primeiras revistas que possuem o maior número de publicações no período analisado. Entre as revistas identificou-se que, a *Bioresource technology* apresentou maior número de publicações (n=155) e citações (n=5840), seguida pela *Renewable energy* com 57 publicações e 2358 citações, a revista *Fuel* com 42 publicações e 1354 citações e a *Industrial crops and products* com 41 publicações e 1244 citações. As quatro revistas possuem maior destaque em relação as demais. Um outro fato discutível na tabela é o Fator de Impacto (FI) que é uma simples medida de qualidade das revistas, que ao longo do tempo passou a ser utilizado como uma ferramenta acadêmica de avaliação de produtividade e também para obtenção de fundos (RUIZ; GRECO; BRAILE, 2009). Segundo (MARZIALE; MENDES, 2002), este fator é obtido dividindo-se o número total de citações dos artigos acumulados nos últimos dois anos, pelo total acumulado de artigos publicados pela revista no referido período.

De acordo com a tabela 1, as duas revistas mais conhecidas são a *Bioresource technology* e *Journal of cleaner production* porque possuem maior Factor de Impacto, ao contrário da *Bioresources* com menor Factor de Impacto, logo pode-se afirmar que, quanto maior o fator de impacto, melhor colocada é a revista (em termos de classificação).

Segundo o prefácio da *Bioresource technology*, a revista tem o objetivo de divulgar conhecimentos nas áreas de bioenergia, biomassa, tratamento biológico de resíduos, biotransformações e análise de sistemas de biorrecursos e tecnologias associadas à conversão ou produção. Já no prefácio da “*Journal of Cleaner Production*” diz que, a revista foca nas pesquisas e práticas de Produção Mais Limpa, Ambiental e Sustentabilidade.

Tabela 1 - Top 10 das principais revistas científicas com publicações na área de produção de bioetanol.

Classificação	Revista	P	FI	NP	NC	CM	P (%)
1	Bioresource technology	NL	11.889	155	5840	37.68	15.09%
2	Renewable energy	UK	8.634	57	2348	41.19	5.55%
3	Fuel	UK	8.035	42	1354	32.24	4.09%
4	Industrial crops and products	NL	6.449	41	1244	30.34	3.99%
5	Waste and biomass valorization	NL	3.449	33	354	10.73	3.21%
6	Biomass & bioenergy	UK	5.774	32	528	16.5	3.12%
7	Biotechnology for biofuels	UK	7.670	30	1268	42.27	2.92%
8	Bioresources	USA	1.747	28	325	11.61	2.73%
9	Journal of cleaner production	USA	11.072	28	591	21.11	2.73%
10	Bioenergy research	USA	3.852	26	361	13.88	2.53%

Fonte: Autora (2022).

Nota-se também que, as revistas mais conhecidas no período de análise são na sua maioria europeias, três são holandesas e quatro inglesas. As demais revistas são norte-americanas.

5.1.3. Distribuição por país e instituição

No software Vosviewer tornou-se possível verificar os países e as instituições que contribuíram para a evolução da produção científica (ALBAGLI, 1996; MEDEIROS, 2016) da área em estudo. Para distribuição dos países foi preciso estabelecer critérios de refinamento no VOS, considerando pelo menos 5 documentos e 5 citações e o retorno foi de 20 países participantes. Os mais produtivos na temática sobre produção de bioetanol, podem ser verificados na tabela 2. A tabela apresenta os seguintes parâmetros: classificação, país, a quantidade de publicações, citações, a razão entre elas (número de

citações/número de publicações), a Força Total do Link e por último, o percentual de participação.

Tabela 2 - Os 10 países mais prolíficos na área de produção de bioetanol.

Classificação	País	NP	NC	CM	Força total do link	P (%)
1	Índia	214	5707	26.67	40	14.35%
2	China	194	3936	20.29	58	13.01%
3	Brasil	113	2359	20.88	36	7.58%
4	EUA	109	3490	32.02	50	7.31%
5	Coreia do Sul	108	2774	25.69	44	7.24%
6	Indonésia	107	1368	12.79	38	7.18%
7	Malásia	84	2226	26.50	54	5.63%
8	Espanha	79	2007	25.41	27	5.30%
9	Japão	74	1470	19.86	23	4.96%
10	Tailândia	63	872	13.84	29	4.23%

Fonte: Autora (2022).

Como observado, a Índia foi o país que mais apresentou artigos publicados, contribuindo com cerca de 14,35% (n=214) do total de publicações (n=1491). Em segundo lugar a China com 13.01% (n=194), seguida do Brasil com 7.58% (n=113) e os Estados Unidos da América contribuindo com 7.31% (n=109). Esses quatro países foram responsáveis por 42,25% das contribuições e, é válido destacar que eles são atualmente os maiores produtores de biocombustíveis. Os demais países do ranking foram responsáveis por 34.54%.

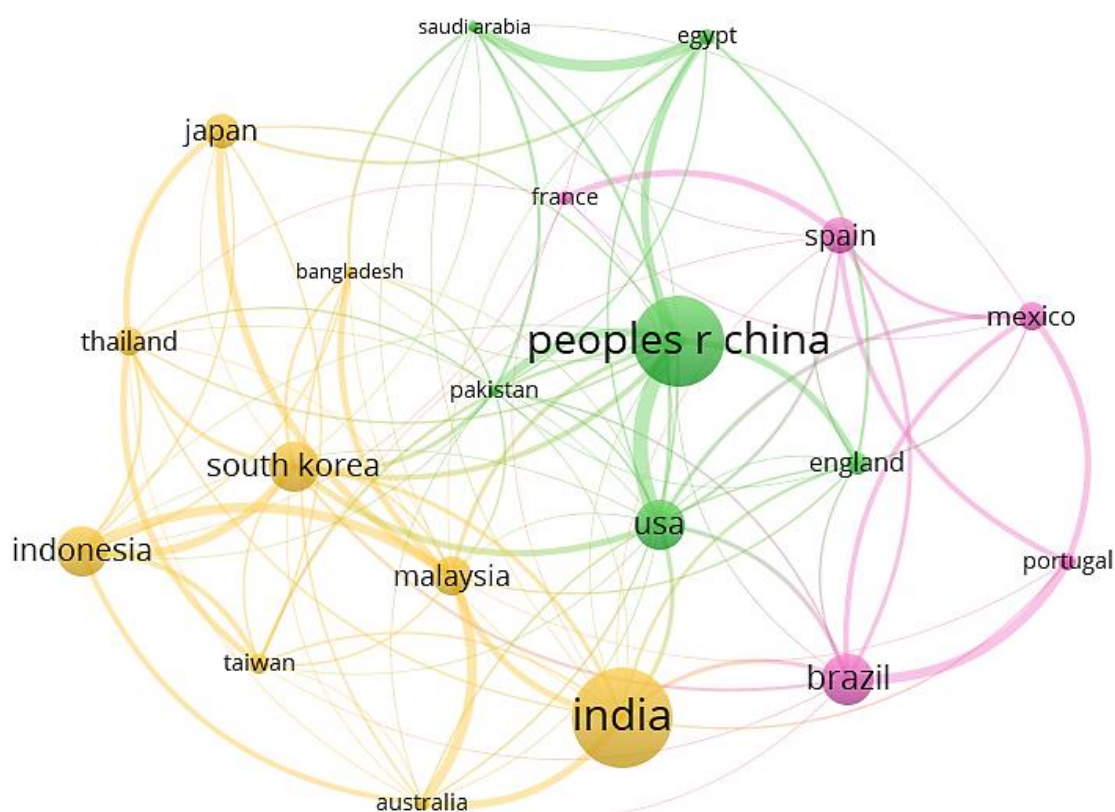
Para além do número de publicações, a Índia apresenta número de citação mais altos em relação aos outros países.

A Índia é considerada como maior consumidor mundial de açúcar e de outros adoçantes provenientes da cana, e o seu consumo per capita está próximo da média mundial, mostrando a importância da cana-de-açúcar dentro da sua dieta (DOUTORADO, 2007). Por estas e outras razões, cana-de-açúcar é uma das matérias-primas mais produzidas lá, e pode ser considerada como a mais utilizada para a produção de bioetanol. Os pesquisadores descrevem que o interesse da Índia na tecnologia do bioetanol se deve ao seu grande potencial como combustível para transporte (GHOSH; GHOSE, 2003) e com aumento das tecnologias e diferentes matérias-primas, a Índia pode ser tornar o terceiro mercado mundial de bioetanol, ficando atrás apenas dos dois maiores produtores, Estados Unidos da América e do Brasil.

A figura 3 explica a relação de publicações entre os 20 países selecionados no

período de análise. De acordo com a mesma, os 20 países encontram-se divididos em 3 clusters. A primeira e a maior cluster é representada pela cor amarela, contém 9 países que são: Austrália, Bangladesh, Índia, Indonésia, Japão, Malásia, Coréia do Sul, Taiwan e Tailândia, a segunda maior cluster é simbolizada pela cor verde e contém 6 países que são: Egito, Inglaterra, Paquistão, China, Arábia Saudita e os Estados Unidos da América. Por último, a terceira cluster caracterizada pela cor roxa com 5 países, em menção: Brasil, França, México, Portugal e Espanha.

Figura 3 - Mapa de visualização da rede mostrando a cooperação entre países com um mínimo de 5 artigos publicados.



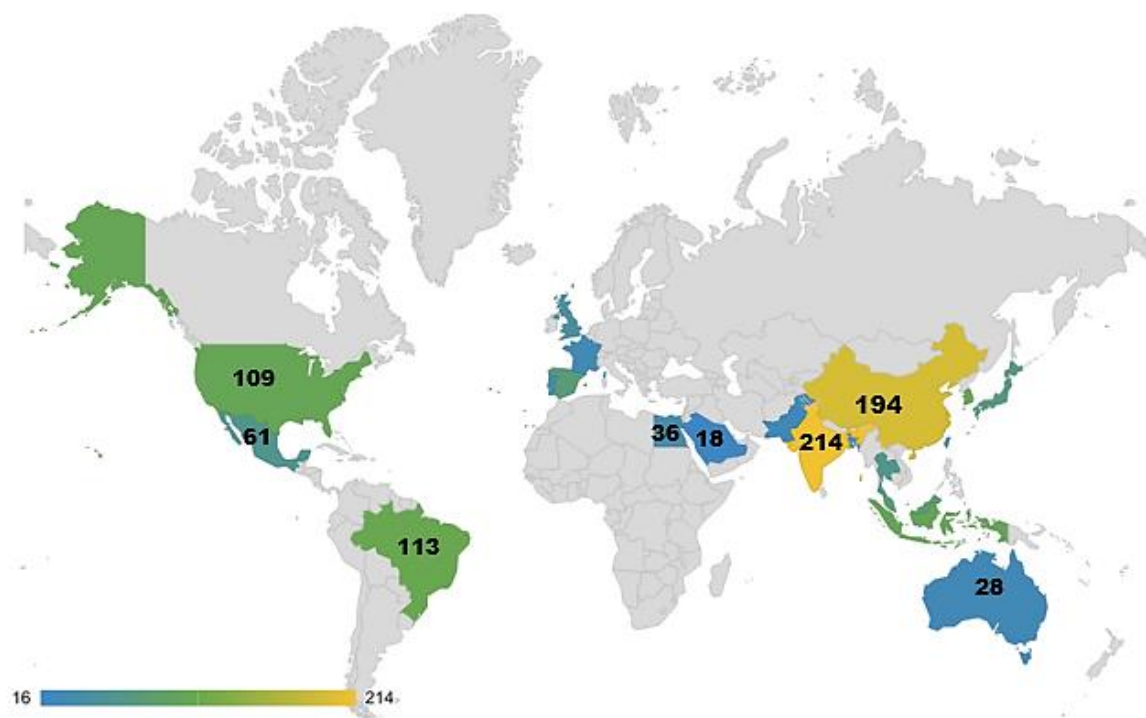
Fonte: Autora (2022).

As linhas que conectam dois países são mais densas e indicam grande concentração de artigos, como é o caso dos Estados Unidos da América e a China. Ambos são países gigantes da economia global e procuram a independência das fontes não renováveis, este fato tornou os Estados Unidos da América o maior produtor, consumidor e exportador do biocombustível no mundo (VIDAL, 2021b), sendo a China um dos seus ex-importadores de bioetanol. A cooperação entre esses dois países estimulou o

crescimento das produções científicas. A colaboração entre o Brasil e Portugal também está em destaque, visto que tem ocasionando enormes avanços científicos e tecnológicos, isto se deve ao fato de o Brasil possuir maior experiência na área de bioenergia e biocombustíveis e Portugal espera contribuições do mesmo para o seu desenvolvimento nesta área.

Uma outra maneira de visualizar a distribuição de publicações por país a nível continental está representada na figura 4. Os países em azul possuem quantidade mínima de publicações 16-79, em verde, os com quantidade intermédia de 84-113 e em amarelo apresentam maior número de publicações de 194 – 214.

Figura 4 - Representação da distribuição de publicações por países a nível continental.

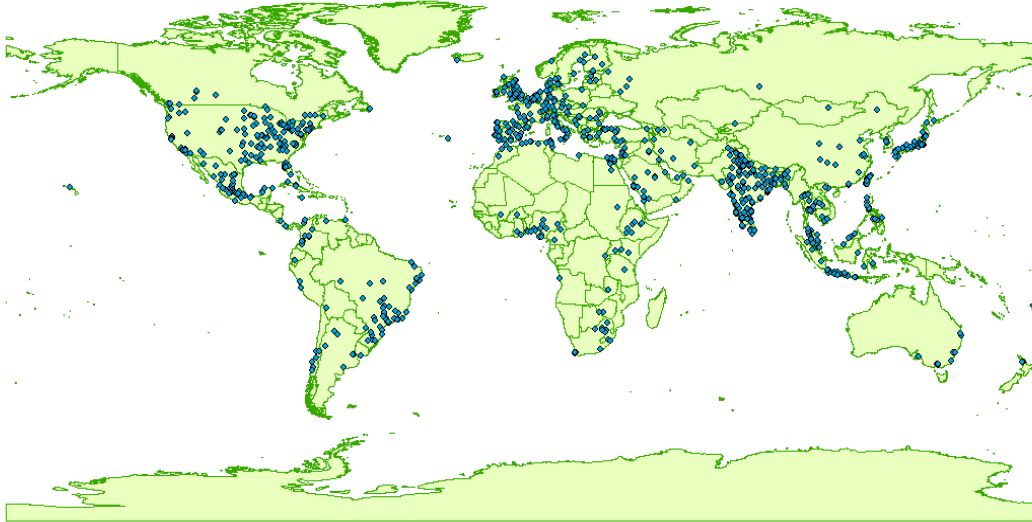


Fonte: Autora (2022).

A concentração das maiores produções científicas no período de análise está no continente asiático. Dos 20 países, mais do que a metade são asiáticos, totalizando 949 (63,6%) do número publicações na temática estudada. Segundo (QUEIROZ; ALBUQUERQUE; SOUSA, 2021), esta concentração de produções pode estar associada ao crescimento da demanda de eletricidade do mundo. Já o continente americano

Fonte: Autora (2022).

Figura 6 - Geocodificação das organizações responsáveis pela publicação dos artigos analisados.



Fonte: Autora (2022).

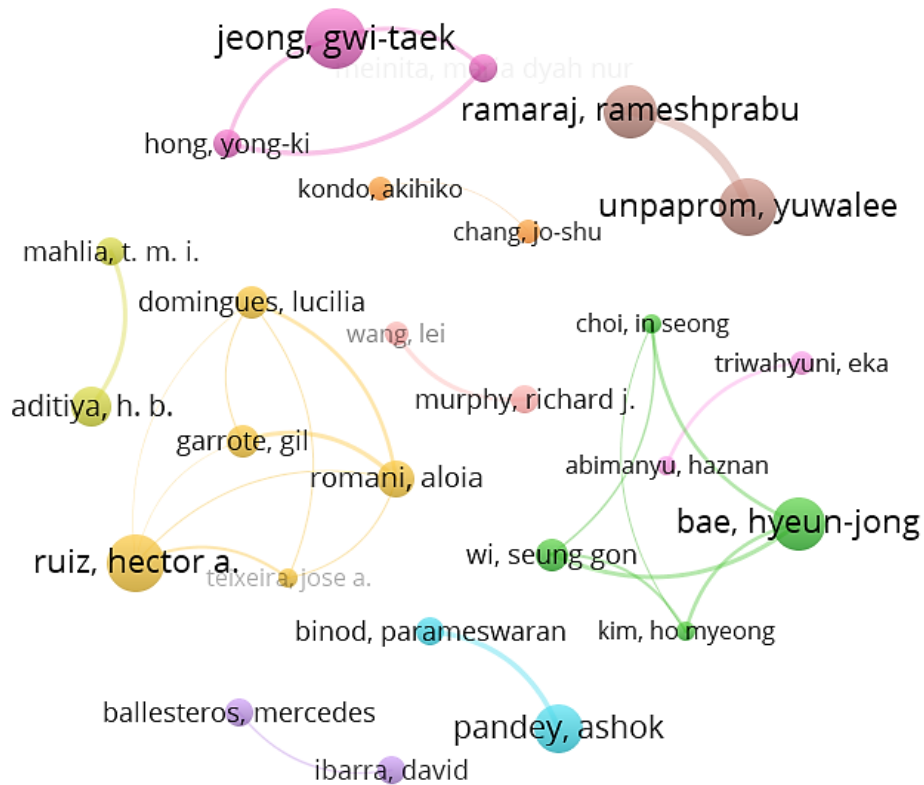
Relativamente aos autores dos documentos relacionados a produção de bioetanol, a pesquisa foi limitada em 26 autores porque são indiscutivelmente os que mais desenvolveram na área em estudo, e a seleção dependeu dos seguintes critérios: pelo menos 5 documentos e no mínimo 200 citações.

A análise dos dados originou um total de 217 documentos e 9430 citações. Dentre os 26 autores identificados no estudo, 7 possuem a maior quantidade de publicações, isso mostra a relevância no contexto da temática e o impacto positivo da participação de pesquisadores. Ao observar a figura 7, constata-se que o Coreano, Gwi-Taek Jeong foi o autor mais produtivo, no que concerne a estudos em análise, com 15 artigos publicados. Em seguida, destaca-se Ph.D em Engenharia Química e Biológica Héctor A. Ruiz, com 14 publicações, logo após a professora Assistente do Programa de Biotecnologia em Chiang Mai, Tailândia, Yuwalee Unpaprom, com 14 documentos publicados.

O coreano Hyeun-Jong Bae, possui o maior número de citações, 740, e colaborou com 13 documentos. As suas contribuições sobre a produção de bioetanol se tornaram bastante relevantes, como é o caso do artigo sobre a “Produção de bioetanol a partir de palha de arroz por estalando pré-tratamento” (WI et al., 2013), publicado em 2013 e com 155 citações.

Diante disso, 10 clusters foram identificadas sendo 3 com maior quantidade de colaborações.

Figura 7 - Mapa de visualização da rede mostrando a cooperação entre autores.



Fonte: Autora (2022).

5.1.4. Análise quantitativa dos artigos citados

As citações são extremamente importantes, porque servem como indicador de impacto (como foi descrito no tópico 3.1.2), indicador de influência ou desempenho de um pesquisador, instituição ou país, e é a principal proposta prática da junção entre os cientistas da informação (USP, 2010). Com base nisso, foram selecionados os artigos mais citados ou mais importantes a serem utilizados na análise do caso. Os 10 artigos mais citados dentre o banco de artigos extenso, são encontrados na tabela 3 em ordem decrescente de citações e apresentam o total de 4073 citações.

Tabela 3 - 10 artigos originais mais citados dentre os 1647 artigos selecionados.

Classificação	Título dos artigos	Autores	Ano de publicação	Citações
1	Bioethanol production from agricultural wastes: An overview(SARKAR et al., 2012). Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects(LIMAYEM; RICKE, 2012).	Sarkar, Nibedita; Ghosh, Sumanta Kumar; Bannerjee, Satarupa; Aikat, Kaustav	2012	943
2	Bioethanol production, Sing carbohydrate-rich microalgae biomass as feedstock (HO et al., 2013).	Limayem, Alya; Ricke, Steven C.	2012	770
3	Role and significance of beta-glucosidases in the hydrolysis of cellulose for bioethanol production (SINGHANIA et al., 2013). Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments (SAINI; SAINI; TEWARI, 2015)	Ho, Shih-Hsin; Huang, Shu-Wen; Chen, Chun-Yen; Hasunuma, Tomohisa; Kondo, Akihiko; Chang, Jo-Shu	2013	372
4	Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress (ZABED et al., 2017). Second generation bioethanol production: A critical review (ADITIYA et al., 2016a). Optimization of Hydrothermal Pretreatment of Lignocellulosic Biomass in the Bioethanol Production Process (NITSOS; MATIS; TRIANTAFYLLIDIS, 2013).	Singhanian, Reeta Rani; Patel, Anil Kumar; Sukumaran, Rajeev K.; Larroche, Christian; Pandey, Ashok	2013	364
5	Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress (ZABED et al., 2017).	Saini, Jitendra Kumar; Saini, Reetu; Tewari, Lakshmi	2015	356
6	Second generation bioethanol production: A critical review (ADITIYA et al., 2016a).	Zabed, H.; Sahu, J. N.; Suely, A.; Boyce, A. N.; Faruq, G.	2017	333
7	Optimization of Hydrothermal Pretreatment of Lignocellulosic Biomass in the Bioethanol Production Process (NITSOS; MATIS; TRIANTAFYLLIDIS, 2013).	Aditiya, H. B.; Mahlia, T. M. I.; Chong, W. T.; Nur, Hadi; Sebayang, A. H.	2016	306
8		Nitsos, Christos K.; Matis, Konstantinos A.; Triantafyllidis, Kostas S.	2013	223

	Recent advances in second generation bioethanol production:			
9	An insight to pretreatment, saccharification and fermentation processes (RASTOGI; SHRIVASTAVA, 2017).	Rastogi, Meenal; Shrivastava, Smriti	2017	211
10	Review of Second Generation Bioethanol Production from Residual Biomass (ROBAK; BALCEREK, 2018)	Robak, Katarzyna; Balcerek, Maria	2018	195

Fonte: Autora (2022).

Após visualizar os artigos mais citados, realizou-se a leitura dos resumos deles, que permitiu entender as ideias dos autores ao tema de pesquisa, onde:

Bioethanol production from agricultural wastes: An overview, publicado em 2012, estuda sobre a produção de bioetanol a partir de resíduos agrícolas como uma tecnologia promissora, apresentando métodos para aumentar as concentrações de açúcares fermentáveis após a sacarificação enzimática para tornar o processo mais eficiente (SARKAR et al., 2012).

Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospect, publicado em 2012, caracteriza a bioconservação de biocombustíveis derivados de lignocelulósicos, incluindo as principais etapas no processo de obtenção do bioetanol à base de celulose e os possíveis problemas e soluções do processo (LIMAYEM; RICKE, 2012).

Bioethanol production, using carbohydrate-rich microalgae biomass as feedstock, publicado em 2013, explana sobre a avaliação do potencial do uso de uma microalga rica em carboidratos *Chlorella vulgaris* FSP-E como matéria-prima para a produção de bioetanol por meio de várias estratégias de hidrólise e processos de fermentação (HO et al., 2013).

Role and significance of beta-glucosidases in the hydrolysis of cellulose for bioethanol production, publicado em 2013, aborda sobre um dos maiores desafios na bioconversão de biomassa lignocelulósica em biocombustíveis líquidos e destaca a busca de beta-glucosidase tolerante à glicose como o principal componente enzimático presente na celulase (SINGHANIA et al., 2013).

Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments, publicado em 2015, discute sobre as etapas envolvidas na produção do bioetanol de segunda geração (SAINI; SAINI; TEWARI, 2015).

Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress, publicado em 2017. O artigo explana sobre a produção de bioetanol de primeira e segunda geração tendo em vista o potencial de várias fontes de biomassa, abordagens tecnológicas, papel dos microrganismos e fatores que afetam o processo (ZABED et al., 2017).

Second generation bioethanol production: A critical review, publicado em 2016. O artigo expõe a viabilidade da produção de bioetanol de segunda geração a partir das plantas (ADITIYA et al., 2016a).

Optimization of Hydrothermal Pretreatment of Lignocellulosic Biomass in the Bioethanol Production Process, publicado em 2013, apresenta o estudo sistemático para otimizar o tratamento hidrotérmico da biomassa lignocelulósica (madeira de faia) (NITSOS; MATIS; TRIANTAFYLLIDIS, 2013).

Recent advances in second generation bioethanol production: An insight to pretreatment, saccharification and fermentation processes, publicado em 2017, trata da utilização e das técnicas eficientes de celuloses e hemiceluloses para a produção de etanol (RASTOGI; SHRIVASTAVA, 2017).

Review of Second Generation Bioethanol Production from Residual Biomass, publicado em 2018. Retrata sobre a visão geral da produção de bioetanol de segunda geração, e apresenta as características do bioetanol de primeira geração e das gerações subsequentes de biocombustíveis pelo uso de biomassa lignocelulósica como matéria-prima (ROBAK; BALCEREK, 2018).

5.1.5. Áreas de Pesquisa

Os artigos selecionados foram agrupados em 9 áreas de conhecimento. Dentre elas, enfatiza-se as áreas de combustíveis energéticos, engenharia e microbiologia aplicada à biotecnologia com mais de 500 artigos. No geral todas as áreas compõem mais de 100 artigos publicados, levando em conta que existem publicações que pertencem a mais de uma área. A Figura 8 apresenta as nove áreas que concentraram o maior número de publicações relacionadas a temática estudada.

Figura 8 - Total de artigos publicados por área de pesquisa .

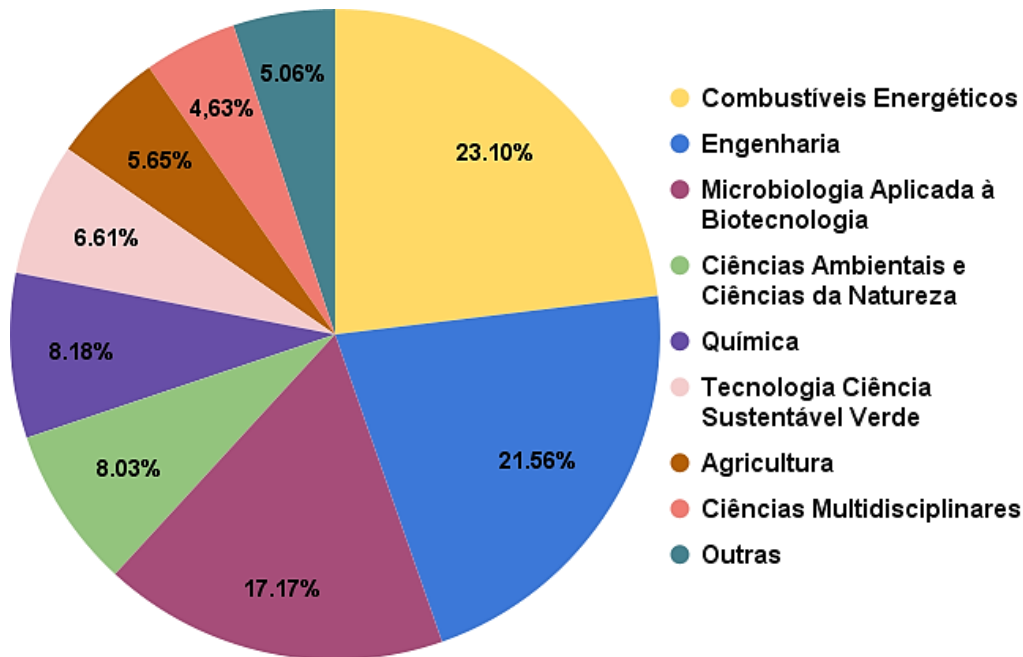


Fonte: Autora (2022).

Na figura 9 pode-se visualizar em termos porcentuais o número de pesquisa. Os dados demonstram que a grande área de conhecimento “combustíveis energéticos” se destaca com 748 (23,10%) artigos, deste modo, pode-se afirmar que a área apresenta maior interesse na temática, que é um fato discutível, tendo em vista as preocupações ambientais concernentes a utilização de combustíveis energéticos vem aumentando. A área “engenharia” está composta por várias engenharias que contribuíram significativamente para o crescimento do tema e se destaca como a segunda com maior número de publicações com 688 (21,56%) artigos, em terceiro a área de “microbiologia aplicada à biotecnologia” com 556 (17,17%) artigos. Somadas, as três áreas apresentam mais que a metade das produções relacionados à temática escolhida.

Julga-se que a grande demanda de publicações nestas áreas de conhecimento deve-se ao grande interesse mundial pelo uso das fontes alternativas de energia que está se demonstrando devido aos aumentos no preço do petróleo e também pela preocupação quanto ao impacto ambiental(MOTA et al., 2009).

Figura 9 - Distribuição porcentual das áreas de pesquisa relacionadas à produção sustentável de bioetanol.



Fonte: Autora (2022).

5.2. Matérias-primas para produção de bioetanol

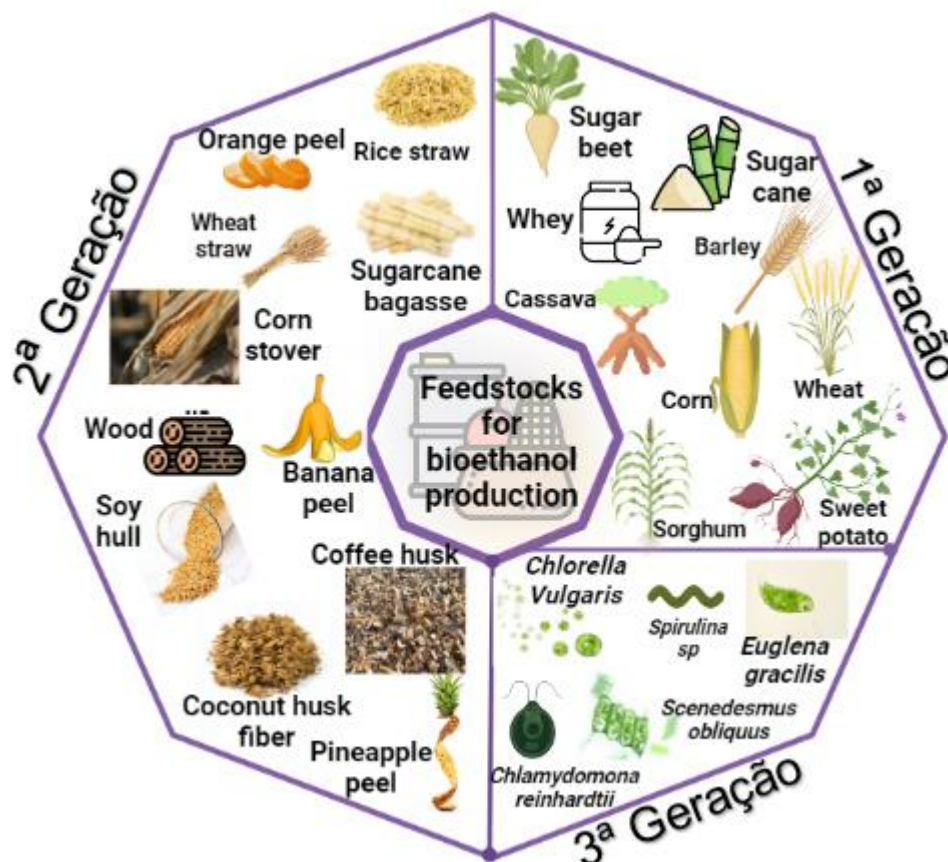
Com base na frequência de ocorrência das palavras-chave, nesta seção será vista assuntos que respondem a seguinte pergunta:

- **P2:** Quais são os principais matérias-primas na pesquisa?

Como mencionado na introdução, com a evolução das matérias-primas e dos métodos de produção (OSMAN et al., 2021) é possível obter bioetanol por três formas de gerações (JAMBO et al., 2016).

Na figura 10 é possível observar algumas matérias-primas pertencentes em cada geração. As matérias-primas para primeira geração são aquelas normalmente utilizadas para a alimentação, uma vez que são resíduos agrícolas comuns (ALVIM et al., 2014), como o milho (KUMAR; SINGH, 2019), cana-de-açúcar (ANDRADE; CARVALHO; SOUZA, 2010), cevada (JEONG, 2017), trigo (PATNI; PILLAI; DWIVEDI, 2013), beterraba sacarina (MARTINS, 2015) e sorgo sacarino (ALMODARES; HADI, 2009)(AYODELE; ALSAFFAR; MUSTAPA, 2020). Já as matérias-primas não alimentares são enquadradas na segunda e terceira geração, são oriundos dos resíduos agrícolas das matérias-primas de primeira geração, resíduos florestais e algumas algas.

Figura 10 - Lista de várias matérias-primas utilizadas para a produção de bioetanol. A figura encontra-se dividida em três partes: primeira geração, segunda geração e terceira geração.



Fonte: Autora (2022).

Dentre as 1647 publicações da base de dados, 281 publicações apresentam os termos “First generation” OR “Second generation” OR “Third generation” em seus títulos ou tópicos, essas palavras-chave representam 17,06 % dos documentos. Os critérios utilizados para os levantamentos dos dados foram os mesmos da busca inicial, mas adicionou-se um novo campo de pesquisa, tópico com os termos “First generation” OR “Second generation” OR “Third Generation” e o operador lógico “AND”. O artigo “*Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second generation bioethanol production: concepts and recente developments*” anunciado no tópico 3.1.4, foi o mais citado dentro da pesquisa.

5.2.1. Fontes sacarinas e amiláceas

A fermentação das matérias-primas consiste na transformação anaeróbica dos açúcares, principalmente glicose e frutose, em etanol e dióxido de carbono (ZAMORA, 2009). Esse processo é realizado há muito tempo e é um dos métodos mais utilizados para a produção de bioetanol de primeira geração. Algumas leveduras podem ser utilizadas no

processo de fermentação do etanol, em razão do baixo custo durante o processo de destilação e a alta produtividade, como é o caso da *Saccharomyces cerevisiae*, uma levedura utilizada a milhares de anos para a produção de alimentos e bebidas (MOHD AZHAR et al., 2017) e atualmente está sendo bastante empregada para produção de biocombustíveis. Assim como a *S.cerevisiae* outras leveduras têm a capacidade de fermentar várias matérias-primas como a *Kloeckra*, *Hanseniaspora*, *Candida*, *Pichia* e *Metschnikowia*.

A busca pela palavra-chave “yeasts”, 157 publicações foram localizadas. Dentro desse grupo de publicações as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e a *Pichia stipitis* foram as mais empregadas para a produção de bioetanol.

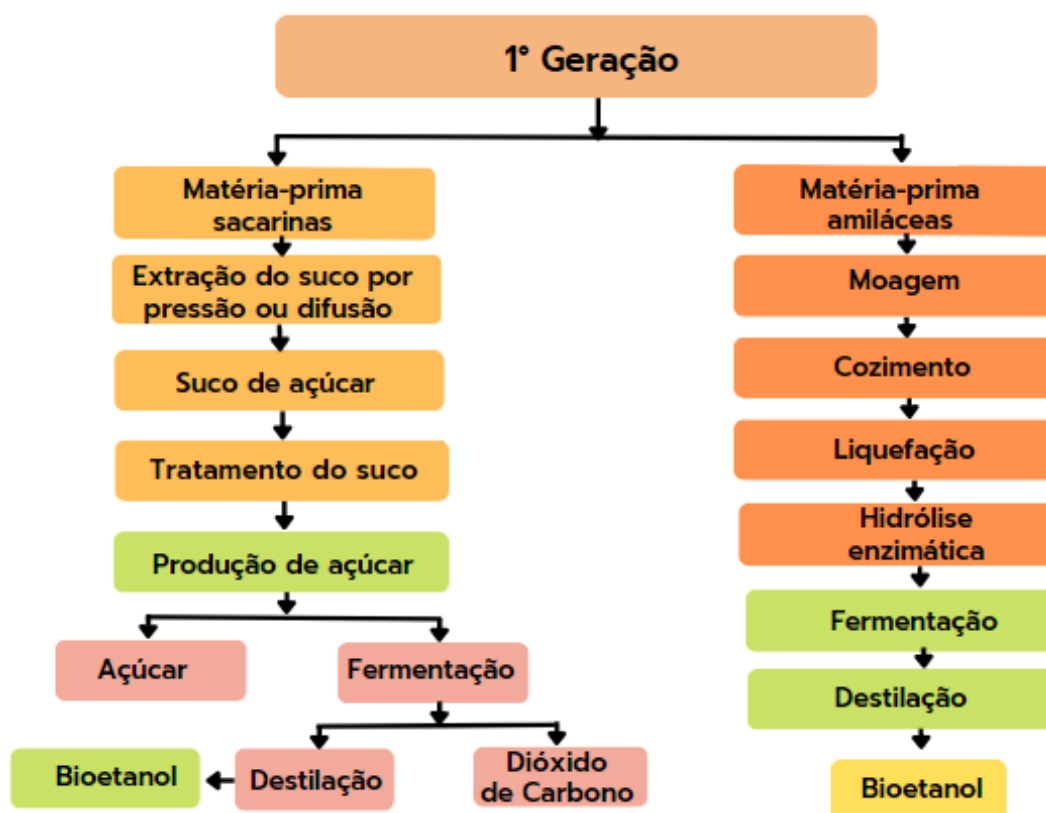
A maioria das usinas comerciais de produção de bioetanol dependem das fontes sacarinas e amiláceas (AYODELE; ALSAFFAR; MUSTAPA, 2020), fato que descreve o aumento de periódicos sobre a geração de bioetanol a partir dessas culturas. Como testemunho, adicionou-se na base de dados do WoS as palavras “Starch” OR “Sugar” e o retorno foram de 687 documentos, uma quantidade considerável de trabalhos.

O esquema da produção do bioetanol 1G está representada na figura 11. Ele inclui etapas específicas dependendo da matéria-prima, ou seja, o processo inicia na escolha da cultura sacarina ou amilácea. Para as matérias-primas sacarinas (cana-de-açúcar, beterraba sacarina ou sorgo sacarino) a extração do suco é realizada por dois métodos, pressão ou difusão, este processo permite separar o suco da fibra ou bagaço. O suco resultante passa para fase de tratamento. Depois de tratado, o suco é filtrado e evaporado até cristalizar, gerando o açúcar (SUSMOZAS et al., 2020). A porção que não cristalizou é denominada como melaço, que segue para fase de fermentação. O grande desafio deste processo é a seleção das leveduras capazes de sobreviver as condições de reação (AMORIM et al., 2011) e aumentar a produtividade da fermentação. Em média, o processo de fermentação ocorre a temperaturas entre 25°C – 30 °C e o tempo de duração está entre 6 h e 72 h, dependendo da matéria-prima que está sendo utilizada (VOHRA et al., 2014). Depois da fermentação duas etapas ocorrem, a liberação do dióxido de carbono e a destilação. A destilação é a etapa que consiste na purificação do suco eliminando as impurezas existentes. Após a destilação, o bioetanol é produzido e pode ser hidratado com aproximadamente 95,5% de álcool e 4,5% de água ou então, desidratado ou puro com cerca de 0,4% de água e 99,6% (VOHRA et al., 2014).

Em contra partida, as matérias-primas amiláceas (milho, trigo ou cevada) apresentam etapas mais complexas como moagem, cozimento, liquefação e hidrólise

enzimática, esta é a diferença existente entre as duas fontes de açúcar. Por serem grãos e duros, o processo de obtenção do bioetanol a partir de matérias-primas amiláceas inicia na moagem, onde os grãos são reduzidos em partículas finas para facilitar os processos posteriores como o cozimento e a liquefação. A etapa de liquefação é realizada através separação dos grãos de amido que não são solúveis dentro de uma solução aquosa (LI et al., 2015). Ela é considerada uma das etapas fundamentais do processo, pois é a partir dela que são produzidos os xaropes. A etapa a seguir é a hidrólise enzimática que é um processo de conversão essencial para as culturas amiláceas, permitindo que se faça a fermentação do xarope e prosseguir para destilação e assim gerar o bioetanol. Entre as culturas amiláceas, o milho apresenta dois processos de moagem, seco ou úmida.

Figura 11 - Fluxograma do processo de produção de bioetanol a partir de fontes sacarinas e amiláceas.



Fonte: Autora (2022).

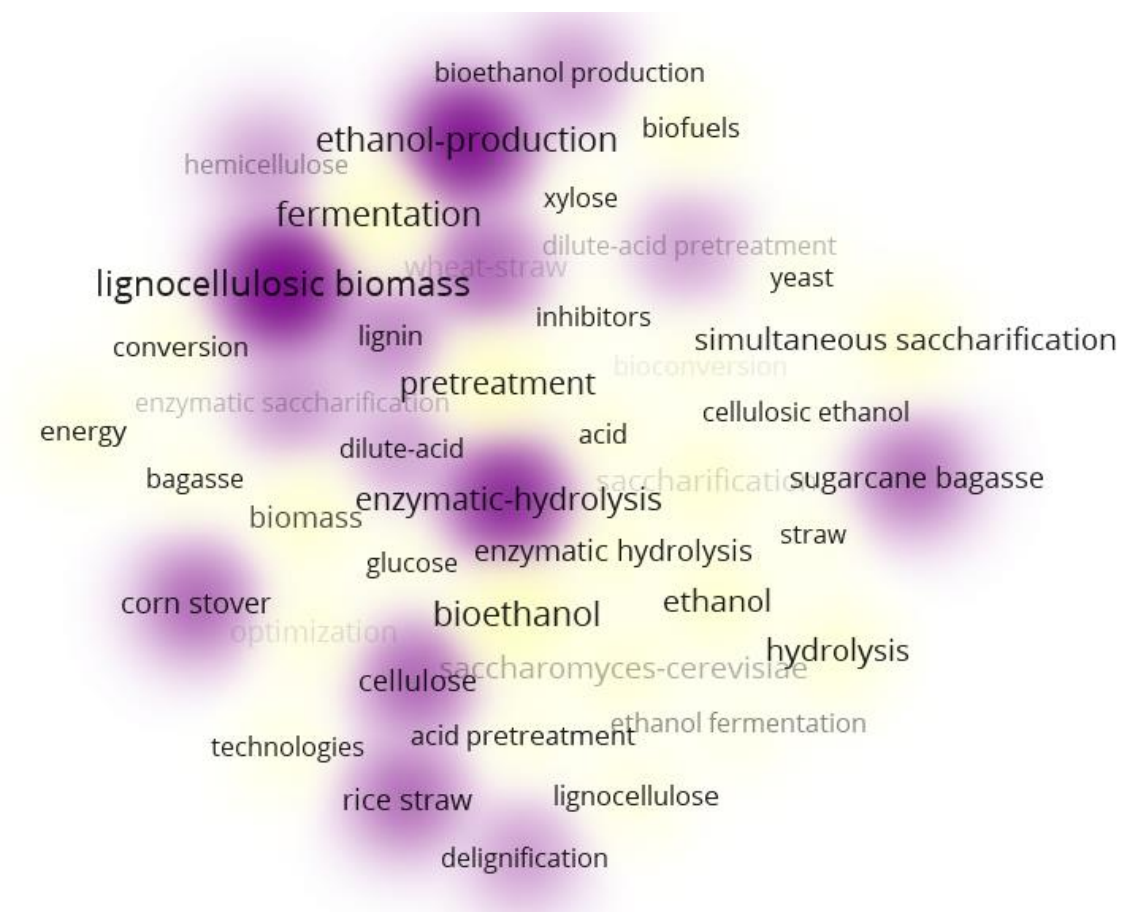
5.2.2. Fontes lignocelulósicas

As biomassas lignocelulósicas podem ser agrupadas em resíduos de colheitas (bagaço de cana-de-açúcar e espiga de milho), madeira de lei (álamo e álamo alpino), madeira de conífera (pinheiro e abeto), resíduos celulósicos (lodo de papel, papel reciclado e jornais), biomassas herbáceas (feno de alfafa e caniço-malhado) e resíduos

sólidos urbanos (RODRIGUES et al., 2017). Como mencionado anteriormente, as matérias-primas lignocelulósicas apresentam uma complexidade na sua estrutura porque são compostas três componentes fundamentais, nomeadamente celulose, hemicelulose e a lignina que representam 90% da massa seca da biomassa, sendo que as cinzas e os extrativos correspondem a 10% (CABRAL et al., 2016). A celulose é um polímero de glicose (SHEN et al., 2013). A hemicelulose também é um polímero de glicose, mas com baixa massa molecular o que a torna menos complexa e fácil de ser hidrolisada. Já a lignina é muito ramificada, tem a estrutura mais complexa e estável e possui capacidades de fortalecimento (OSMAN et al., 2021). A composição química das culturas lignocelulósicas depende da biomassa utilizada, todavia, a quantidade de celulose varia de 40-60%, a de hemicelulose está entre 20-40% e de 10-25% a lignina.

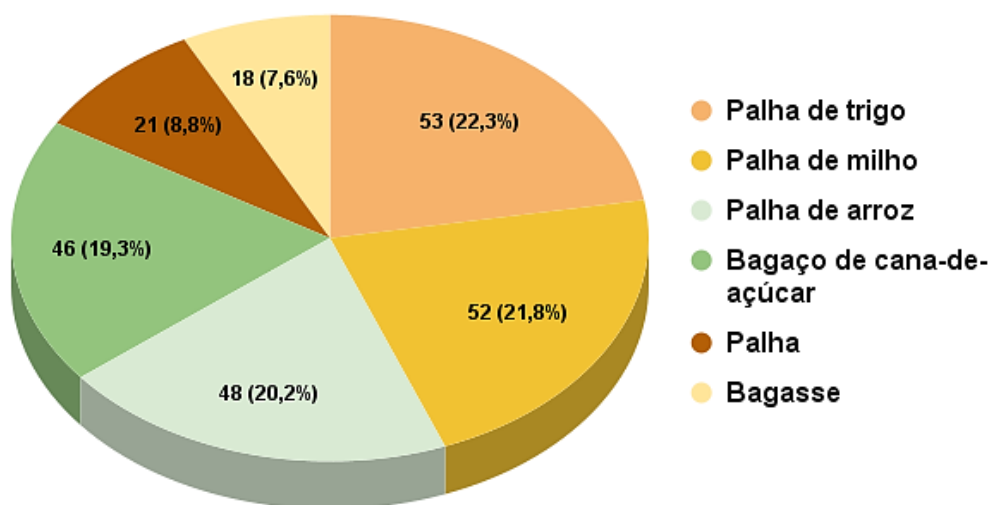
Foram encontrados 452 artigos sobre biomassa lignocelulósica dentro da pesquisa, os dados foram obtidos com base na adição das palavras-chave "Lignocellulosic biomass" OR "2G". A figura 11 elucida os termos com maior eventualidade, sendo que, os de tonalidade roxa são os mais densos em razões de ocorrência, como, biomassa lignocelulósica (n=242), produção de etanol (n=189), bioetanol (n=184) e hidrólise enzimática (n=138). Em contra partida, a figura 12 mostra as matérias-primas que mais se destacam na pesquisa, a palha de milho, palha de arroz, palha de trigo, o bagaço de cana-de-açúcar, o bagaço e a palha. A expressão palha e bagaço apareceram de maneira abstrata, isto é, sem destacar as matérias-primas que se referem, mas ambas tratam da cultura em estudo. A palha do trigo, por sinal, foi a mais mencionada, ela é uma alternativa atraente para a produção de bioetanol, pois apresenta em torno de 33-40% de celulose, 20-25% de hemicelulose e 15-20% de lignina (TALEBNIA; KARAKASHEV; ANGELIDAKI, 2010). A União Europeia, China, Índia, EUA e o Canadá são considerados os principais produtores de trigo do mundo, logo, afirmar-se que eles apresentam mais recursos para este tipo de produção (SWAIN et al., 2018).

Figura 12 - Mapa de densidade das palavras-chave relacionadas à produção sustentável de bioetanol a partir de matérias-primas de segunda geração.



Fonte: Autora (2022).

Figura 13 - Biomassas lignocelulósicas para produção de bioetanol.



Fonte: Autora (2022).

O método de obtenção do bioetanol de segunda geração é feito a partir de cinco etapas (figura 14) : 1) pré-tratamento, etapa necessária para ruptura da composição química da cultura, com o objetivo de facilitar o acesso das enzimas; 2) hidrólise enzimática, a fase que permite converter o material lignocelulósico pré-tratado em açúcares fermentáveis; 3) fermentação, é a etapa mais esperada, assim como ocorre no bioetanol de 1G, este estágio admite que os açúcares fermentáveis sejam convertidos em bioetanol de 2G; 4) destilação, para limpeza dos resíduos restantes e 5) tratamento da fração líquida (bioetanol) (HENDRIKS; ZEEMAN, 2009).

Figura 14 - Fluxograma do processo de produção de bioetanol a partir de fontes lignocelulósicas.

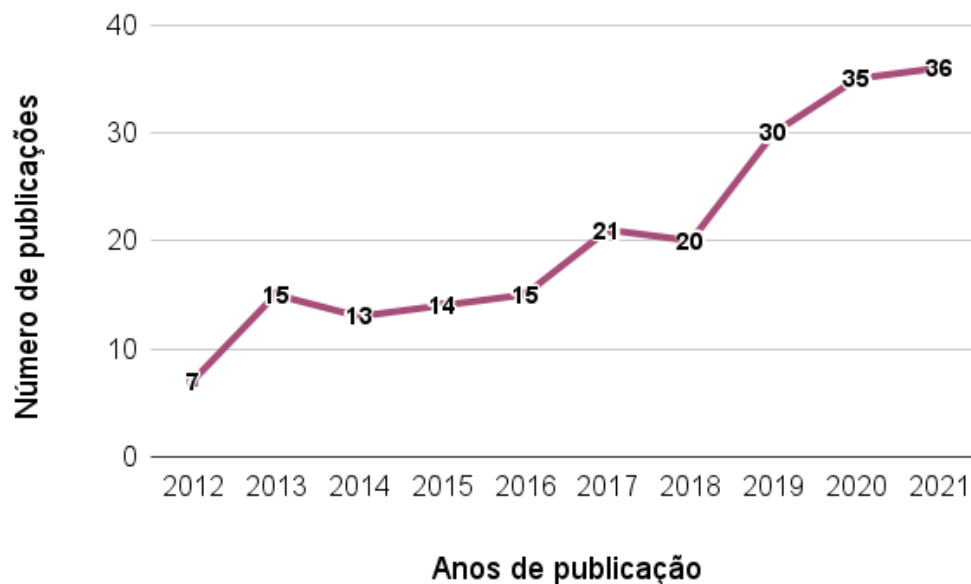


Fonte: Autora (2022).

5.2.3. Fontes aquáticas

Na busca por “Algae” OU “Microalgae” OU “Macroalgae” como matérias-primas para a produção do bioetanol de terceira geração, classificaram-se 206 artigos distribuídos nas bases de publicações, e este resultado demonstrou que a tecnologia tem progredido gradativamente. Para análise, criou-se a figura 15 a fim de demonstrar a evolução dos artigos durante o tempo de pesquisa. No ano de 2012, o tema sobre a produção bioetanol a partir das fontes aquáticas era novo, fato que justifica a baixa participação e interesse dos pesquisadores, porém, nos últimos anos o número de pesquisas relacionadas ao aproveitamento das algas para esta geração aumentou, ocasionado uma produção significativa de artigos.

Figura 15 - Evolução das pesquisas sobre fontes aquáticas utilizadas para a produção do bioetanol de terceira geração.



Fonte: Autora (2022).

Nos 206 artigos selecionados, localizou-se um total de 52 palavras-chave, que fazem referência as culturas utilizadas nesta produção, como *chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella vulgaris*, *cyanobacteria*, *gelidium-amansii* e *kappaphycus alvarezii*. Essas biomassas são otimizadas para à produção do bioetanol porque têm celulose, hemicelulose e amido, fato que torna a forma de obtenção do bioetanol de terceira geração semelhante à segunda geração. Em geral, os procedimentos são resumidos em: 1) pré-tratamento (secagem e redução do tamanho das algas), 2) hidrólise enzimática e 3) fermentação, sempre levando em consideração as características das biomassas em questão (JAMBO et al., 2016). A produção é vista como solução promissora para a crise energética global e as alterações climáticas no futuro (DAROCH; GENG; WANG, 2013), pois, as algas são matérias-primas com excelentes vantagens, especificamente, elas consomem o dióxido de carbono, colaborando com a redução da emissão dos gases de efeito estufa; possuem tipos de açúcar altamente concentrados, o que as classifica como biomassa rica; e crescem rapidamente sem precisar de terra para cultivo (MIRANDA; PASSARINHO; GOUVEIA, 2012).

6. PRINCIPAIS DIFERENÇAS NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL 1G E 2G

No fluxograma de cada geração percebeu-se que os processos para obtenção do bioetanol obedecem a uma série de etapas, mas a base primordial é a conversão de açúcares simples em bioetanol a partir da fermentação (IRAM; CEKMECELIOGLU; DEMIRCI, 2022). Uma das grandes diferenças entre as gerações está na sustentabilidade da matéria-prima, ou seja, como o bioetanol de primeira geração é comercializado em grande escala, as terras de cultivo têm sido bastante exploradas e em consequência disso os alimentos têm diminuído e se tornado cada vez mais caros (CHEN et al., 2018). Na busca por culturas que minimizassem esses problemas os pesquisadores encontraram as biomassas linocelulósicas e constataram que elas apresentam melhores resultados em relação as fontes sacarinas ou amiláceas. Além do tipo de cultura, o seu custo, o custo do pré-tratamento, o método de pré-tratamento e a redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE) também são parâmetros que ajudam a diferenciar as gerações. A tabela 4 resume as principais diferenças e vantagens entre o bioetanol 1G e 2G.

Tabela 4 - Diferença entre o bioetanol de primeira e segunda geração.

Parâmetro	1G	2G	Vantagem de 1G sobre 2G ou Vice-Versa
Matéria-prima	Fontes sacarinas e amiláceas: trigo, beterraba sacarina, cana-de-açúcar, milho, etc.	Fontes lignocelulósicas: alimentos não comestíveis, madeira, resíduos sólidos urbanos, etc.	Matérias-primas sacarinas ou amiláceas apresentam mais facilidade gerar açúcar fermentáveis, em quanto as lignocelulósicas são mais complexas.
Pré-tratamento	Liquefação	Ácido (diluído ou concentrado), exploração de vapor, etc.	A liquefação requer condições de processo baixas a médias em comparação com as estratégias de pré-tratamento lignocelulósico.
Hidrólise enzimática	Sacarificação com amilases e glicoamilases	Processo lignocelulolítico com celulasas e hemicelulasas	A sacarificação tem alto rendimento de conversão em comparação com a hidrólise de celulose e hemicelulose
Custo da matéria-prima	Alto	Baixo	A biomassa lignocelulósica é mais barata.
Custo do pré-tratamento	Baixo	Alto	O bioetanol de 1G necessita de baixo investimento de capital.

Redução nas emissões de GEE	39-52%	86%	O bioetanol 2G é mais sustentável em comparação com o bioetanol de 1G.
Comida x Combustível	Sim	Não	O bioetanol de 2G utiliza alimentos não comestíveis.

Fonte: Adaptado de (IRAM; CEKMECELIOGLU; DEMIRCI, 2022)

Em relação ao bioetanol de segunda geração, o pré-tratamento das culturas lignocelulósicas é um método utilizado para liberar celulose e hemicelulose e remover a lignina, processo de deslignificação (SINGH et al., 2014). Por serem culturas complexas, esta etapa requer eficácia, porque permite a acessibilidade das enzimas e define a rentabilidade dos açúcares fermentáveis (CHEN et al., 2017). Os métodos de pré-tratamentos são categorizados em pré-tratamento biológico (utilização de microrganismos), químico (ácido, linha alcalina, iônico, físico (comunicação mecânica e irradiação) e físico-químico (explosão de vapor, água quente líquida, explosão de CO₂) (ADITIYA et al., 2016a; AYODELE; ALSAFFAR; MUSTAPA, 2020). Esses pré-tratamentos são mais exigentes e ocorrem em temperaturas mais altas do que 100 °C, por outro lado, o pré-tratamento utilizado para obter o bioetanol de 1G é realizado em temperaturas de 85 °C por aproximadamente duas horas (IRAM; CEKMECELIOGLU; DEMIRCI, 2022).

Uma outra diferença está presente no processo de hidrólise enzimática, que muitas das vezes está associada ao custo da produção do bioetanol, que também é uma das diferenças listadas. Devido à complexidade das culturas lignocelulósicas o processo de hidrólise enzimática é mais complicado que o amido. Essas culturas são degradadas por enzimas específicas (celulases e a hemicelulases) (ADITIYA et al., 2016a), que geralmente são mais lentas e são adicionadas em altas concentração o que requer custos elevados, enquanto que as enzimas presentes na hidrólise do amido, amilase e glicoamilase, quebram com mais facilidade as moléculas de glicose e podem converterem 100% do amido em glicose (MCALOON et al., 2000).

Quanto aos custos, a produção de bioetanol de 1G é mais econômica em relação ao de 2G, isto deve-se ao fato que o pré-tratamento e/ou hidrólise para produção de segunda geração requer alto investimento (KARIMI; CHISTI, 2015). Quanto ao custo das matérias-primas, a biomassa celulósica é mais acessível por ser de origem não alimentar, enquanto que as matérias-primas amilácea e sacarina são mais caras. Por último, a diferença concernente a redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE). Os benefícios ambientais são os aspectos mais atraentes para a produção de bioetanol,

levando em consideração que o bioetanol é um combustível renovável adequado para reduzir os impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa (ZABED et al., 2014). Portanto, a redução dos GEE está intimamente associada ao modo de produção, processamento e conversão das matérias-primas em bioetanol (DWIVEDI et al., 2015). As operações agrícolas e processamento das fontes sacarinas (1G) para produção do bioetanol podem contribuir para emissão de gases de efeito estufa. Por outro lado, as culturas lignocelulósicas são as que mais contribuem para redução da emissão de GEE, por serem restos agrícolas ou resíduos florestais. Em uma pesquisa sobre a viabilidade econômica do etanol celulósico foi revelado que bioetanol de milho (fonte amilácea) reduz emissões de GEE em 39-52%, enquanto que o etanol celulósico pode reduzir ainda mais as emissões em 86% (AUI; WANG; MBA-WRIGHT, 2021), logo, pode-se afirmar que o bioetanol de 2G é mais sustentável em comparação ao de 1G.

7. INTEGRAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BIOETANOL 1G E 2G

Tendo em vista o que foi abordado, nos últimos anos o bioetanol tem contribuído para substituição parcial dos combustíveis fósseis e pelas diferenças apresentadas entre as duas gerações, chegou-se à conclusão que o bioetanol de segunda geração apresenta mais soluções sustentáveis e viáveis para os problemas como segurança energética, questões ambientais, crise alimentar e crise econômica (BABAZADEH, 2017), e também ajuda a solucionar os problemas de descarte de resíduos nas cidades (QIAO et al., 2022). Apesar disso, existem alguns fatores que condicionam a produção de bioetanol de 2G em grande escala industrial, como, i) falta de tecnologia de pré-tratamento eficiente e econômico; ii) incapacidade de bioconversão eficiente dos principais componentes da biomassa lignocelulósica; e o iii) a produção insuficiente de açúcar, bem como de bioetanol (QIAO et al., 2022). Para ultrapassar essas barreiras, a combinação das duas gerações pode ser uma estratégia interessante para facilitar a transição de biocombustíveis 1G para 2G (SUSMOZAS et al., 2020). As possíveis oportunidades de integração das produções de bioetanol 1G-2G podem ser feitas de três maneiras:

1. Pela co-localização

É uma estratégia simples que consiste na implementação de uma instalação de bioetanol de 2G próxima a uma instalação existente de bioetanol 1G (sem que uma interfira no processo da outra) (DE JONG et al., 2015; SUSMOZAS et al., 2020).

Segundo (SUSMOZAS et al., 2020), a co-localização permite o compartilhamento

do fluxo dos dois processos, com objetivo de garantir acessibilidade de recursos, minimizando o custo de alguns procedimentos que estão associados com as duas gerações, como o transporte, armazenamento e abastecimento de matérias-primas, e melhorar a eficiência do processo. Um caso prático foi analisado nos EUA, se tratava de uma usina de cana-de-açúcar (de primeira geração) localizada em uma fazenda, que após a geração do açúcar e do bioetanol, o bagaço e a palha eram deixados no campo, porque não compensava o transporte do bagaço já no estado de concentração em uma outra instalação distante. Essa situação fez com que implementassem uma instalação de 2G juntamente com a usina de 1G. Foi considerada uma alternativa boa e econômica para a conversão de mais combustíveis (TANZIL et al., 2022).

2. Pela renovação

A renovação é a estratégia que permite adaptações, ou seja, combinação de processos e instalações entre bioetanol celulósico e o de primeira geração. Quando uma instalação de primeira geração apresenta condições suficientes para a produção de bioetanol de segunda geração realiza-se adaptações para o utilizar o mesmo fluxo. Segundo análise experimental de (MACRELLI; ZACCHI; MOGENSEN, 2012) a partir de software AspenPlus v7.1, o processo de integração pode ocorrer:

- Na etapa de destilação, aquela que vai permitir o uso do mesmo sistema de destilação para caldos de fermentação de 1G e 2G obtidos separadamente, ou seja, as matérias-primas estarão separadas, mas terão a mesma coluna de destilação (MACRELLI; ZACCHI; MOGENSEN, 2012). Ela torna-se mais fácil quando planta de produção de bioetanol 1G existente é combinada com uma nova de 2G.
- Na fase de evaporação, consiste na mistura dos fluxos de açúcar. Segundo a pesquisa de (CHEN et al., 2018), a mistura foi feita com a parte líquida extraída após a hidrólise enzimática da biomassa lignocelulósica com o caldo de açúcar (fonte sacarina). Essa mistura deverá ocorrer antes e depois da evaporação para garantir uma concentração intermédia de sacarose. Seguindo para fase de fermentação conjunta e posteriormente para destilação que também é única.

As vantagens de misturar os dois fluxos são: obter um baixo custo (devido ao compartilhamento de utilidade), maior produção de bioetanol e presença de inibidores quase nula (os inibidores do açúcar lignocelulósico podem ser diluídos no fluxo do caldo de açúcar) que ocasiona melhor desempenho durante a fermentação (CHEN et al., 2018).

3. Pelo reaproveitamento

Diferente das outras etapas, o reaproveitamento é estratégia que pode envolver ajuste no processo de produção de uma instalação de bioetanol existente. Durante esta etapa, uma usina de bioetanol de 1G pode ser reaproveitada para produzir o bioetanol de 2G (SUSMOZAS et al., 2020).

8. TÓPICOS DE PESQUISAS QUENTES

Neste tópico será respondido a seguinte pergunta:

- **P3:** Quais são os principais pontos quentes da pesquisa (palavras-chave) dentro da pesquisa?

8.1. Análise quantitativa de palavras-chave

O CiteSpace é o software que permite obter a rede de cocitação de documento, de palavra-chave e de autor (XIAO et al., 2019). O mapa CiteSpace Timezone fornece uma representação visual dos setores de pesquisas em diferentes fusos horários e suas relações derivadas, permitindo que sejam razoáveis previsões para desenvolvimentos futuros (JIANG et al., 2022). Para esta análise, o mapa permitiu obter uma rede de palavras-chaves mais citadas. As palavras-chave com alto surgimento são aquelas com uma taxa de mudança de frequência sobre um certo período de tempo refletindo os pontos quentes da pesquisa e indicando as fronteiras e tendências de pesquisa (JIANG et al., 2022) e a seleção de palavras-chave corretas é extremamente importante para o aumento do número de citações (DHAMIJA; BAG, 2020).

A figura 12 exibe a evolução temporal das palavras. O tamanho do nó (círculo) de cada palavra, é equivalente ao número de ocorrências, logo, quanto maior for o nó, maior será o número de ocorrências; a mudança de cor do nó de roxo para verde reflete o avanço longo do tempo, ou seja, cada ano é caracterizado por uma tonalidade de cor, de modo a facilitar a visualização da evolução. No mapa, pode-se observar que as palavras-chave se encontram conectadas umas com as outras, por meio de linhas, demonstrando a coocorrência entre elas pela primeira vez.

Tabela 5 - Classificação das 24 palavras-chave de maior destaque citadas nos artigos analisados.

Classificação	Palavras-chave	Frequência	FTL	Classificação	Palavras-chave	Frequência	FTL
1	Bioethanol	794	3311	13	Simultaneous saccharification	175	1019
2	Ethanol- production	675	3376	14	Cellulose	130	749
3	Fermentation	585	2967	15	Wheat-straw	123	744
4	Pretreatment	379	2103	16	Enzymatic hydrolysis	119	683
5	Ethanol	339	1431	17	Corn stover	118	744
6	Enzymatic- hydrolysis	331	1912	18	Saccharomyces cerevisiae	117	498
7	Biomass	323	1601	19	Acid	116	643
8	Lignocellulosic biomass	240	1332	20	Biofuels	115	506
9	Saccharomyces- cerevisiae	239	1229	21	Sugarcane bagasse	115	654
10	Hydrolysis	237	1278	22	Yeast	104	506
11	Optimization	218	1088	23	Rice straw	98	612
12	Saccharification	213	1204	24	Bioethanol production	89	291

Fonte: Autora (2022).

Observa-se que durante o intervalo de tempo da pesquisa o termo “*Bioethanol*” foi o mais graúdo nos artigos com 794 ocorrências, e é a segunda palavra-chave com maior número de coautoria (FTL) de distintos pesquisadores, a primeira é “*Ethanol-production*” com 675 ocorrências, ocupando o segundo lugar no ranking. A palavra-chave “*Fermentation*” também apresentou um número significativo de ocorrências, 585, e deve-se ao fato de se tratar de uma das etapas mais importantes para obtenção de bioetanol (LIN; TANAKA, 2006). O termo que segue é o “*pretreatment*”, com 379 ocorrências, como descrito, é a etapa essencial para o desenvolvimento e industrialização de processos eficientes de etanol de 2ª geração (CHIARAMONTI et al., 2012). O oitavo artigo mais citado, localizado na tabela 3, descreve o pré-tratamento como uma etapa chave na conversão biológica da biomassa em etanol (NITSOS; MATIS; TRIANTAFYLLIDIS, 2013). A palavra-chave “*Ethanol*” apresentou 339 ocorrências, seguido da “*Enzymatic-hydrolysis*” com 331 ocorrências. O sétimo termo é “*Biomass*” com 323 ocorrências e o oitavo termo com 240 ocorrências é “*Lignocellulosic biomass*”. As demais palavras-chave que estão na tabela estão relacionadas com a segunda geração dos biocombustíveis e as suas etapas de produção. Na figura 17 é possível visualizar o

mapa de visualização de rede de cocitação das palavras-chaves de maior ocorrência. O nó é caracterizado como palavra-chave, enquanto que a linha que estiver entre dois nós representa um link de co-ocorrência (XIAO et al., 2019). Para a formação do mapa utilizou-se os mesmos critérios para criação da tabela 5, mas expondo as cinquenta palavras-chaves encontradas. Desta forma, as palavras-chaves no mapa estiveram distribuídas em 3 clusters diferentes, sendo o cluster 1 (amarelo) é o maior com vinte uma palavras-chave. O cluster 2 (roxo), é o segundo maior com respectivamente desassesse palavras-chave e por último o cluster 3 (rosa) que está composta por doze palavras-chave.

No primeiro cluster o termo “*Enzymatic-hydrolysis*” apresenta o maior número de ocorrências. Ele está conectado a vários termos como, “*Lignocellulose*”, “*Hydrolysis*” e “*Sugarcane bagasse*” que são termos relacionados a produção do bioetanol de segunda geração. Está conexão deve-se ao fato da hidrólise enzimática ser a operação unitária essencial no processo de conversão da lignocelulose (MODENBACH; NOKES, 2013). O termo menos citado neste cluster é “*SSF*”, de uma forma extensa é Fermentação de Sacarificação Simultânea que é uma boa estratégia para aumentar a taxa global de conversão de celulose em etanol (SOUZA, 2011), os demais termos do cluster estão dentro do intervalo 38 – 331 ocorrências. Ainda na mesma figura pode-se observar que os termos “*Ethanol-production*” e “*Fermentation*” são os mais citados no cluster 2 e encontram-se conectados com a grande parte das palavras-chave. O termo menos citado neste cluster é “*Detoxification*”, que tem a especialidade para eliminação de um determinado inibidor do material hidrolisado (K.; DA SILVA; V., 2011), os outros termos estão dentro do intervalo de 41 - 675 ocorrências. Grande parte das palavras-chave estão conectadas ao termo mãe da pesquisa o “*Bioethanol*” do cluster 3, tornando o maior termo do cluster, isso descreve que a importância da palavra-chave para indexação das pesquisas. O termo possui maior conexão com as seguintes palavras “*Pretreatment*”, “*Biomass*”, “*Ethanol*” e “*Optimization*” também considerados termos com diversas ocorrências.

cluster com o maior tamanho é numerado como #0 e o com menor tamanho #8, que são discutidos nos parágrafos subsequentes. Discute-se também sobre a interconexão entre as clusters mencionadas, sendo que cada cluster explica um tema diferente relacionado à integração para a produção de bioetanol. Na tabela 6 estão dispostos os seis conjuntos primários de cocitação entre os artigos relacionados ao tema em estudo.

8.2.1. Campos relacionados

O cluster #0 tem como palavra-chave principal “*Saccharomyces cerevisiae*” com 108 membros, está rotulado como *saccharomyces cerevisiae* por LLR e produção de bioetanol por LSI. O principal artigo do cluster é “*Detoxification of hydrolysates of the red seaweed gelidium amansii for improved bioetanol production*”. O trabalho refere-se a produção de bioetanol a partir da alga *Gelidium amansii* como biomassa através do processo Separado de Hidrólise e Fermentação (SHF) (NGUYEN et al., 2019). Este processo está associado a fase de pré-tratamento de hidrólise da ácida térmica, sacarificação enzimática, desintoxicação e fermentação da biomassa (NGUYEN et al., 2019). A fim de promover alternativas sustentáveis e ecologicamente corretas, os pesquisadores apresentaram métodos de melhoramento da produção de bioetanol a partir da análise do teor de pasta de algas marinhas, o tempo de tratamento e as condições ideais, como a temperatura, o peso por volume (p/v), seguindo as etapas de pré-tratamento citadas. Para a fermentação do etanol utilizando hidrolisado de alga marinha com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* e vários tratamentos de desintoxicação.

O cluster #1 é o segundo maior com 100 membros. Está rotulado como “*life cycle assessment*” por LLR e produção de bioetanol por LSI. A palavra-chave principal do cluster é “*life cycle assessment*” que é uma ferramenta utilizada para avaliação dos impactos ambientais e os recursos que são utilizados durante o estudo do ciclo de vida de um produto (FINNVEDEN et al., 2009). Atualmente o foco principal de muitos projetos sociais é fazer referência dos impactos ambientais apresentando as condições mais sustentáveis, este fato descreve o quanto a consciência ambiental vem impulsionando atenção por toda parte do mundo. O processo de todo ciclo de vida de um produto, obedece as seguintes etapas: atividade, abrangendo extração e processamento de materiais, fabricação, transporte e distribuição; a utilização, a reutilizar, manutenção, a reciclagem e disposição final (CHAU; LEUNG; NG, 2015). Renu Singh, no artigo principal do cluster (Environmental Sustainability of bioetanol production from rice straw in India: a review), descreve sobre as consequências do uso insustentável da palha de

arroz na Índia. Ele descreve que o vasto consumo de arroz faz com que os agricultores aumentem a quantidade do cultivo do arroz e na época da colheita muita palha é produzida. A maneira que os indianos encontraram para se desfazer dessa palha é queimá-la a céu aberto. Porém, esse método agride bastante o meio ambiente, ocasionando grande quantidade de emissão de gases de efeito estufa (GEE), além do mais, quando se queima a palha do arroz os agricultores acabam perdendo o subproduto utilizado para a produção de bioetanol sustentável, visto que a palha é uma ótima matéria-prima que pode ser usada para geração de energia limpa para matriz energética na Índia (SINGH; SRIVASTAVA; SHUKLA, 2016).

Tabela 6 - Os seis principais clusters de pesquisa de cocitação sobre oportunidades de integração para a produção de bioetanol.

CID	Rótulo	TN	Ano médio	Top Termos	Artigos representativo	Referências
#0	Saccharomyces Cerevisiae	108	2015	Saccharomyces cerevisiae; Yeast; Bioethanol production	HAU, NGUYEN TRUNG (2019.0)	(NGUYEN et al., 2019)
#1	Life Cycle assesment	100	2015	Biofuel; Conversion; Energy	SINGH, R (2016.0)	(SINGH; SRIVASTAVA; SHUKLA, 2016)
#2	Enzymatic hydrolysis	96	2014	Ethanol production; Fermentation; Enzymatic hydrolysis	DUY, KHUONG LE (2014.0)	(KHUONG et al., 2014)
#3	Different process configuration	68	2015	Acid pretreatment; Acid hydrolysis; Fuel ethanol production	CARLOS, LOPEZ-LINARES J (2014.0)	(LÓPEZ-LINARES et al., 2014)
#4	<i>Zymomonas mobilis</i>	59	2014	Fuel ethanol; Enzyme; <i>Zymomonas mobilis</i>	MOON, S (2012.0)	(MOON; KIM; CHOI, 2012)
#5	Structural characteristics	28	2016	Cellulosic ethanol; Bagasse; Fermentable sugar	HAFID, H (2017.0)	(HAFID et al., 2017)

Fonte: Autora (2022).

8.2.2. Tendências emergentes

O cluster #2 apresenta 96 membros e tem como palavra-chave principal “*enzymatic hydrolysis*”. Conforme mostrado na tabela 5, a “*enzymatic hydrolysis*” foi uma das palavras-chave mais influentes na construção da rede e os termos mais citados deste cluster são: “ethanol production, fermentation e enzymatic hydrolysis”. O seu artigo principal descreve sobre a fermentabilidade do etanol a partir da combinação entre pré-tratamento alcalino e o bioprocessamento da fermentação consolidada (CBP) pelo fungo *Phlebia sp.* MG-60 de bagaço de cana-de-açúcar. O MG-60 foi considerado um potencial candidato a otimização do pré-tratamento alcalino para a produção de bioetanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar em um único biorreator, sem hidrólise enzimática ou química (KHUONG et al., 2014), porque, durante os estudos os pesquisadores relataram que o fungo diminuiu o teor de lignina e xilana do bagaço, fazendo com que a produção de etanol do bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado aumentasse dependendo da concentração alcalina. Os autores da pesquisa descreveram também sobre pré-tratamento termoquímico de biomassa (LANGAN et al., 2014), aquele que aumenta a acessibilidade do substrato para hidrólise enzimática (YANG et al., 2011) e define o pré-tratamento alcalino (KIM; LEE; KIM, 2016) como aquele empregado para dissolver grande parte da lignina e várias substituições de ácido urônico, que são responsáveis por dificultar a acessibilidade da celulose à sacarificação enzimática (LEU; ZHU, 2013).

O cluster #3 tem como palavra-chave “*different process configuration*” e o artigo principal é “*Bioethanol production from rapessed straw at high solids loading with diferente process configuration*” onde é discutido sobre as diferentes configurações de processo, Hidrólise e Fermentação Separada (SHF), Sacarificação e Fermentação Simultâneas (SSF) e Pré-hidrólise e Sacarificação e Fermentação Simultâneas (PSSF) (GIANG et al., 2019). As diferentes configurações foram comparadas com altas cargas de sólidos a fim de produzir etanol a partir de palha de colza pré-tratada com ácido sulfúrico (LÓPEZ-LINARES et al., 2014). Como resultado, os pesquisadores obtiveram maior concentração de etanol na configuração SHF com a maior carga de substrato (20% p/v). Já a quantidade e o rendimento do etanol da configuração SSF e da PSSF não diferiram muito, mas o carregamento de sólidos apresentou diferença, SSF com 7,5%

(p/v) e PSSF com 15% (p/v). No entanto, quanto mais alto for o carregamento de sólidos, o processo separado parece ser mais favorável (LÓPEZ-LINARES et al., 2014).

O cluster #4 é caracterizado pela palavra-chave “*Zymomonas mobilis*”. O cluster sai com uma conexão profunda com “fuel ethanol e enzyme”. A busca de enzimas e usinas de etanol combustível causa redução nos custos de produção do combustível e também oferece um uso alternativo para os açúcares gerados durante a conversão da biomassa (LAWFORD; ROUSSEAU, 2003). No mundo microbiano existe uma única bactéria que oferece diversas vantagens sobre os microrganismos produtores de etanol existentes, ela é a *Zymomonas mobilis* (PANESAR; MARWAHA; KENNEDY, 2006). O artigo principal do cluster “*Simultaneous saccharification and continuous fermentation of sludge-containing mash for bioethanol production by Saccharomyces cerevisiae CHFY0321*” lida com o processo contínuo aplicado para o melhoramento da produtividade volumétrica da produção de bioetanol a partir de lodo contendo polpa de mandioca utilizando a levedura autofloculante *Saccharomyces cerevisiae* para simplificar o processo de produção de etanol a partir da matéria-prima amilácea, realizar uma produção econômica de bioetanol ao eliminar processos adicionais de sacarificação e filtração (MOON; KIM; CHOI, 2012). Os autores descreveram que o floculante CHFY0321 desenvolvido apresentou excelentes resultados de fermentação sob produção contínua de etanol.

O cluster #5 é representado pela palavra-chave “*structural characteristics*”. O principal artigo de citação do cluster é “*Over production of fermentable sugar for bioethanol from carbohydrate-rich Malaysian food waste via sequential acid-enzymatic hydrolysis pretreatment*”. O artigo aborda sobre a produção de bioetanol na Malásia. Na Malásia, há grande produção de resíduos alimentares e eles apresentam na sua composição grande quantidade de polímeros de carboidratos, como amido, celulose e açúcares, fato que despertou a atenção dos pesquisadores para a produção sustentável de bioetanol. O autor, Hafid, HS, discute sobre o pré-tratamento empregados para os resíduos alimentares. A aparição do termo pré-tratamento é recorrente em outros clusters, descrevendo a sua importância durante a produção de bioetanol, sendo uma delas, garantir maior produção de açúcar fermentável (glicose, sacarose (COOPER, 2006), frutose (FEINMAN; FINE, 2013) e maltose (ENGELKING, 2015)) antes do processo de fermentação. O artigo mostra um modelo cinético proposto para realizar uma hidrólise ótima para obtenção de açúcares altamente fermentáveis. Quanto aos resultados o modelo foi considerado pelos pesquisadores confiável para descrever o comportamento cinético

da hidrólise de resíduos alimentares em baixas e baixas temperaturas (HAFID et al., 2017).

9. CONCLUSÕES

De acordo com os argumentos apresentados, a Web of Science possibilitou obter 1647 publicações no período de 2012 à 2022 sobre o tema em estudo. A partir disso foi possível observar que o tema possui grande relevância ao longo dos anos e apresenta tendências de um aumento, visto que, o assunto está presente no cotidiano das empresas energéticas. As produções científicas apresentaram discussões pertinentes a favor da sustentabilidade. Durante o levantamento dos dados, foram observados que dos três tipos de documentos (artigos, artigos de revisão e de conferência), os artigos foram os que se destacaram com 83,85% do total de publicações. Com base nisso chegou-se as seguintes conclusões:

Referente a análise quantitativa, o ano de 2020 foi marcado com o máximo de publicações (230 artigos). O período de crescimento das publicações foi de 2014 – 2020, já no ano de 2021 teve queda na quantidade de artigos. A participação de diferentes revistas, países, instituições e autores foram de extrema importância para o crescimento das publicações nas áreas conhecimento com “Energy Fuels”, “Engineering” e “Biotechnology Applied Microbiology” que sustentaram as pesquisas com 61,83% de participação.

Referente as tendências, as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e a *Pichia stipitis*, foram as usadas para produção do bioetanol de primeira geração. No contexto atual o reaproveitamento de resíduos tem sido um método alternativo para minimizar as crises alimentares e energéticas, deste modo, as biomassas lignocelulosicas, como a palha de arroz, palha de trigo, espiga de milho, bagaço de cana-de-açúcar foram consideradas as mais promissoras para produção sustentável de bioetanol. Consequentemente, a integração da produção de bioetanol 1G-2G foi vista como uma estratégia que viabiliza a utilização de tecnologias eficientes e econômicas para o melhoramento da capacidade de bioconversão e para a produção suficiente de bioetanol. Por último, os tópicos quentes, que mostrou as Coocorrências de palavras-chave mais citadas que foram: bioetanol, produção de etanol, fermentação, pré-tratamento etanol e as citações que foram resumidas em seis conjuntos de trabalhos associados ao tema.

Para a evolução dos estudos, sugere-se: 1) trabalhos mais experimentais sobre as formas de integração para produção de bioetanol de primeira e segunda geração; 2) mais materiais públicos (abertos) para auxiliar no desenvolvimento dos temas; 3) estudos experimentais em relação aos biocombustíveis de terceira geração, tendo em vista que as algas são consideradas ótimas biomassas para a produção de bioetanol (ricas em açúcar)

e benéficas para meio ambiente; 4) políticas de regulamentos de produção e utilização de biocombustíveis.

Por fim, o trabalho consegue alcançar os objetivos propostos e a análise foi definida como uma tendência positiva visto que conta com a participação de diferentes pesquisadores e revistas de alto impacto, que foram de extrema relevância para o engajamento e expansão do tema

10. REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S. A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 919–937, 2010.
- ADITIYA, H. B. et al. Second generation bioethanol production: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 631–653, 2016a.
- ADITIYA, H. B. et al. Second generation bioethanol potential from selected Malaysia's biodiversity biomasses: A review. **Waste Management**, v. 47, p. 46–61, 2016b.
- ALBAGLI, S. Divulgação científica: informação científica para a cidadania? **Ciência da Informação**, v. 25, n. 3, p. 396–404, 1996.
- ALIK, ABDUL; GROHMANN, ELISABETH; AKHTAR, R. **Environmental Deterioration and Human Health**. [s.l.: s.n.].
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 9, p. 772–780, 2009.
- ALVIM, J. C. et al. Biorefineries: concepts, classification, raw materials and products. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 1, n. 3, p. 61–77, 2014.
- AMORIM, H. V. et al. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 91, n. 5, p. 1267–1275, 2011.
- ANDRADE, E. T. DE; CARVALHO, S. R. G. DE; SOUZA, L. F. DE. Programa Do Proálcool E O Etanol No Brasil. **Engevista**, v. 11, n. 2, p. 127–136, 2010.
- AUI, A.; WANG, Y.; MBA-WRIGHT, M. **Evaluating the economic feasibility of cellulosic ethanol: A meta-analysis of techno-economic analysis studies** **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2021.
- AYODELE, B. V.; ALSAFFAR, M. A.; MUSTAPA, S. I. An overview of integration opportunities for sustainable bioethanol production from first- and second-generation sugar-based feedstocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, p. 118857, 2020.
- BABAZADEH, R. Optimal design and planning of biodiesel supply chain considering non-edible feedstock. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 1089–1100, 2017.
- BALAT, M. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 2, p. 858–875, 2011.
- BHATIA, S. K. et al. Current status and strategies for second generation biofuel production using microbial systems. **Energy Conversion and Management**, v. 148, p. 1142–1156, 2017.
- BOCCARD, J.; RUDAZ, S. Mass Spectrometry Metabolomic Data Handling for Biomarker Discovery. In: ISSAQ, H. J.; VEENSTRA, T. D. B. T.-P. AND M. A. TO B.

D. (Eds.). . **Proteomic and Metabolomic Approaches to Biomarker Discovery**. Boston: Elsevier, 2013. p. 425–445.

BUŠIĆ, A. et al. Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: A review. **Food Technology and Biotechnology**, v. 56, n. 3, p. 289–311, 2018.

CABRAL, M. M. S. et al. A produção de bioetanol a partir de fibra de casca de coco. **Ciencia Rural**, v. 46, n. 10, p. 1872–1877, 2016.

CHAU, C. K.; LEUNG, T. M.; NG, W. Y. A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. **Applied Energy**, v. 143, n. 1, p. 395–413, 2015.

CHEN, H. et al. A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals. **Fuel Processing Technology**, v. 160, p. 196–206, 2017.

CHEN, S. et al. Integrated bioethanol production from mixtures of corn and corn stover. **Bioresource Technology**, v. 258, p. 18–25, 2018.

CHIARAMONTI, D. et al. Review of pretreatment processes for lignocellulosic ethanol production, and development of an innovative method. **Biomass and Bioenergy**, v. 46, p. 25–35, 2012.

COOPER, J. M. 7 - Sucrose. In: SPILLANE, W. J. B. T.-O. S. T. INF. (Ed.). . **Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition**. [s.l.] Woodhead Publishing, 2006. p. 135–152.

DAROCH, M.; GENG, S.; WANG, G. Recent advances in liquid biofuel production from algal feedstocks. **Applied Energy**, v. 102, p. 1371–1381, 2013.

DE JONG, S. et al. The feasibility of short-term production strategies for renewable jet fuels - a comprehensive techno-economic comparison. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 9, n. 6, p. 778–800, 2015.

DE LA PEÑA, Y. et al. Clean Energies: An Opportunity to save the Planet 1 Energías Limpias una Oportunidad para salvar el Planeta. v. 3, n. 1, p. 21–25, 2018.

DHAMIJA, P.; BAG, S. Role of artificial intelligence in operations environment: a review and bibliometric analysis. **TQM Journal**, v. 32, n. 4, p. 869–896, 2020.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, 2021.

DOUTORADO, C. DE. EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS DO COMÉRCIO INTERNACIONAL DE AÇÚCARE ALCOOL Eduardo Fernandes Pestana Moreira São Paulo. 2007.

DRESSELHAUS, M. S.; THOMAS, I. L. Alternative energy technologies. **Nature**, v. 414, n. 6861, p. 332–337, 2001.

- DUNNING, T. Accurate methods for the Statistics of Surprise and Coincidence. **Computational Linguistics**, v. 19, n. 1, p. 61–74, 1993.
- DWIVEDI, P. et al. Cost of abating greenhouse gas emissions with cellulosic ethanol. **Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 4, p. 2512–2522, 2015.
- ENGELKING, L. R. Chapter 18 - Carbohydrate Structure. In: ENGELKING, L. R. B. T.-T. OF V. P. C. (THIRD E. (Ed.). . Boston: Academic Press, 2015. p. 118–123.
- FEINMAN, R. D.; FINE, E. J. Fructose in perspective. **Nutrition & Metabolism**, v. 10, n. 1, p. 45, 2013.
- FERREIRA, J. A. et al. A review of integration strategies of lignocelluloses and other wastes in 1st generation bioethanol processes. **Process Biochemistry**, v. 75, p. 173–186, 2018.
- FINNVEDEN, G. et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 1, p. 1–21, 2009.
- GHOSH, P.; GHOSE, T. K. Bioethanol in India: recent past and emerging future. **Biotechnology in India II**, p. 1–27, 2003.
- GIANG, T. T. et al. Enhancing hydrogen production from *Chlorella* sp. Biomass by pre-hydrolysis with simultaneous saccharification and fermentation (PSSF). **Energies**, v. 12, n. 5, 2019.
- GOUVEIA, F. Bioetanol combustível brasileiro: economicamente sustentável? n. 152, 2013.
- HAFID, H. S. et al. Over production of fermentable sugar for bioethanol production from carbohydrate-rich Malaysian food waste via sequential acid-enzymatic hydrolysis pretreatment. **Waste Management**, v. 67, p. 95–105, 2017.
- HENDRIKS, A.; ZEEMAN, G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. **Bioresource technology**, v. 100, n. 1, p. 10–18, 2009.
- HO, S.-H. et al. Bioethanol production using carbohydrate-rich microalgae biomass as feedstock. **Bioresource technology**, v. 135, p. 191–198, 2013.
- IRAM, A.; CEKMECELIOGLU, D.; DEMIRCI, A. Integrating 1G with 2G Bioethanol Production by Using Distillers' Dried Grains with Solubles (DDGS) as the Feedstock for Lignocellulolytic Enzyme Production. **Fermentation**, v. 8, n. 12, p. 1–18, 2022.
- JAMBO, S. A. et al. A review on third generation bioethanol feedstock. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 756–769, 2016.
- JEONG, J. A Study on the High-efficient Bioethanol Production Using Barley. v. 28, n. 6, p. 697–703, 2017.
- JIANG, W. et al. A Bibliometric and Visualized Analysis of Research Progress and

Trends on Decay and Cavity Trees in Forest Ecosystem over 20 Years: An Application of the CiteSpace Software. **Forests**, v. 13, n. 9, 2022.

K., A.; DA SILVA, S. S.; V., O. Detoxification of Lignocellulosic Hydrolysates for Improved Bioethanol Production. **Biofuel Production-Recent Developments and Prospects**, 2011.

KARIMI, K.; CHISTI, Y. Future of bioethanol.... **Biofuel Research Journal**, v. 2, n. 1, p. 147, 2015.

KATO, Y. Chemical energy conversion technologies for efficient energy use. In: **Thermal energy storage for sustainable energy consumption**. [s.l.] Springer, 2007. p. 377–391.

KHUONG, L. D. et al. Bioethanol production from alkaline-pretreated sugarcane bagasse by consolidated bioprocessing using *Phlebia* sp. MG-60. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 88, p. 62–68, 2014.

KIM, J. S.; LEE, Y. Y.; KIM, T. H. A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 199, p. 42–48, 2016.

KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36–59, 2017.

KONTOSTATHIS, A.; POTTENGER, W. M. A framework for understanding Latent Semantic Indexing (LSI) performance. **Information Processing and Management**, v. 42, n. 1 SPEC. ISS, p. 56–73, 2006.

KOUGIAS, P. G.; ANGELIDAKI, I. Biogas and its opportunities—A review. **Frontiers of Environmental Science and Engineering**, v. 12, n. 3, 2018.

KUMAR, A. et al. A review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 530–539, 2015.
KUMAR, D.; SINGH, V. Bioethanol production from corn. In: **Corn**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 615–631.

LANGAN, P. et al. Common Processes Drive the Thermochemical Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. **Green Chemistry**, p. 1–8, 2014.

LAWFORD, H. G.; ROUSSEAU, J. D. Cellulosic fuel ethanol: Alternative fermentation process designs with wild-type and recombinant *Zymomonas mobilis*. **Applied Biochemistry and Biotechnology - Part A Enzyme Engineering and Biotechnology**, v. 106, n. 1–3, p. 457–469, 2003.

LENNARTSSON, P. R.; ERLANDSSON, P.; TAHERZADEH, M. J. Integration of the first and second generation bioethanol processes and the importance of by-products. **Bioresource Technology**, v. 165, p. 3–8, 2014.

LEU, S. Y.; ZHU, J. Y. Substrate-Related Factors Affecting Enzymatic Saccharification

of Lignocelluloses: Our Recent Understanding. **Bioenergy Research**, v. 6, n. 2, p. 405–415, 2013.

LI, Z. et al. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. **Food Hydrocolloids**, v. 48, p. 189–196, 2015.

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.

LIN, Y.; TANAKA, S. Ethanol fermentation from biomass resources: Current state and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 69, n. 6, p. 627–642, 2006.

LÓPEZ-LINARES, J. C. et al. Bioethanol production from rapeseed straw at high solids loading with different process configurations. **Fuel**, v. 122, p. 112–118, 2014.

LUZ JR, L. F. DE L. et al. Bioetanol, Biodiesel E Biocombustíveis: Perspectivas Para O Futuro. **Regional, Urbano E Ambiental**, v. 03, p. 53–57, 2009.

MACRELLI, S.; ZACCHI, G.; MOGENSEN, J. Techno-economic evaluation of 2nd generation bioethanol production from sugar cane bagasse and leaves integrated with the sugar-based ethanol process [electronic resource]. **Biotechnology for biofuels**, v. 5, n. 1, p. art. 152, 2012.

MARTINS, R. V. Etanol De Beterraba. **Itr@ciência**, v. 10, n. 31, p. 1–16, 2015.

MARZIALE, M. H. P.; MENDES, I. A. C. O fator de impacto das publicações científicas. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 10, n. 4, p. 466–467, 2002.

MCALOON, A. et al. Determining the Cost of Producing Ethanol from Corn Starch and Lignocellulosic Feedstocks. Golden (CO), National renewable energy laboratory; 2000 October. Report no.: NREL/ TP-580-28893. Contract no. DE-AC36-99-GO10337. n. October, p. 44, 2000.

MEDEIROS, F. A bibliometria e a avaliação da produção científica. **A Historiografia Medieval Portuguesa na viragem do Milénio**, p. 19–37, 2016.

MIRANDA, J. R.; PASSARINHO, P. C.; GOUVEIA, L. Pre-treatment optimization of *Scenedesmus obliquus* microalga for bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 104, p. 342–348, 2012.

MODENBACH, A. A.; NOKES, S. E. Enzymatic hydrolysis of biomass at high-solids loadings - A review. **Biomass and Bioenergy**, v. 56, p. 526–544, 2013.

MOHD AZHAR, S. H. et al. Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. **Biochemistry and Biophysics Reports**, v. 10, p. 52–61, 2017.

MOON, S.-K.; KIM, S. W.; CHOI, G.-W. Simultaneous saccharification and continuous fermentation of sludge-containing mash for bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* CHFY0321. **Journal of Biotechnology**, v. 157, n. 4, p. 584–589, 2012.

MOTA, J. C. et al. Impactos e benefícios ambientais, econômicos e sociais dos biocombustíveis. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 220–242, 2009.

NGUYEN, T. H. et al. Detoxification of Hydrolysates of the Red Seaweed *Gelidium amansii* for Improved Bioethanol Production. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 188, n. 4, p. 977–990, 2019.

NITSOS, C. K.; MATIS, K. A.; TRIANTAFYLLIDIS, K. S. Optimization of hydrothermal pretreatment of lignocellulosic biomass in the bioethanol production process. **ChemSusChem**, v. 6, n. 1, p. 110–122, 2013.

OFFEI, F. et al. Seaweed bioethanol production: A process selection review on hydrolysis and fermentation. **Fermentation**, v. 4, n. 4, p. 1–18, 2018.

OLIVEIRA, B. C. T. DE. Produção De Etanol De Segunda Geração a Partir De Resíduos Industriais Da Jaboticaba Utilizando Líquidos Iônicos Para a Quebra Da Celulose. 2019.

OSMAN, A. I. et al. Bioethanol and biodiesel: Bibliometric mapping, policies and future needs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 152, n. July 2020, 2021.

PANESAR, P. S.; MARWAHA, S. S.; KENNEDY, J. F. *Zymomonas mobilis*: an alternative ethanol producer. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology**, v. 81, n. 4, p. 623–635, 2006.

PATNI, N.; PILLAI, S. G.; DWIVEDI, A. H. Wheat as a promising substitute of corn for bioethanol production. **Procedia Engineering**, v. 51, n. NUICONE 2012, p. 355–362, 2013.

QIAO, J. et al. Integrated biorefinery approaches for the industrialization of cellulosic ethanol fuel. **Bioresource Technology**, v. 360, p. 127516, 2022.

QUEIROZ, L. P. O.; ALBUQUERQUE, F. B. DE; SOUSA, J. C. R. DE. Análise bibliométrica sobre a utilização de resíduos do coco (cocos nucifera l.) em aplicações para biocombustíveis. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p. 551–561, 2021.

RAMOS, L. P. et al. Biodiesel production technologies. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 385–405, 2011.

RANJBARI, M. et al. Biomass and organic waste potentials towards implementing circular bioeconomy platforms: A systematic bibliometric analysis. **Fuel**, v. 318, n. January, 2022.

RASTOGI, M.; SHRIVASTAVA, S. Recent advances in second generation bioethanol production: An insight to pretreatment, saccharification and fermentation processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 330–340, 2017.

RIBEIRO, D. Combustíveis fósseis. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 2, p. 10–11, 2014.

ROBAK, K.; BALCEREK, M. Review of second generation bioethanol production from residual biomass. **Food technology and biotechnology**, v. 56, n. 2, p. 174, 2018.

RODRIGUES, C. et al. Materiais lignocelulósicos como matéria-prima para a obtenção de biomoléculas de valor comercial. **Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria - Vol. 4**, p. 283–314, 2017.

RUIZ, M. A.; GRECO, O. T.; BRAILE, D. M. Fator de impacto: Importância e influência no meio editorial, acadêmico e científico. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, v. 31, n. 5, p. 88–93, 2009.

SAINI, J. K.; SAINI, R.; TEWARI, L. Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. **3 Biotech**, v. 5, n. 4, p. 337–353, 2015.

SANTANA, J. C. S. et al. O Uso E Produção Da Energia Limpa Como Método De Preservação Ambiental Sustentável. **Revista portos: por um mundo mais sustentável**, p. 99–111, 2020.

SANTOS, L. et al. Análise bibliométrica da gestão e aplicação dos resíduos oriundos do processamento do caju (*Anacardium occidentale*) Bibliometric analysis of the management and application of residues from cashew processing (*Anacardium occidentale*). n. 2018, p. 537–546, 2018.

SARKAR, N. et al. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. **Renewable Energy**, v. 37, n. 1, p. 19–27, 2012.

SATHRE, R. Comparing the heat of combustion of fossil fuels to the heat accumulated by their lifecycle greenhouse gases. **Fuel**, v. 115, p. 674–677, 2014.

SENNA, P. P. ETANOL DE PRIMEIRA OU DE SEGUNDA GERAÇÃO? UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS CICLOS PRODUTIVOS. 2016.

SHEN, D. et al. The overview of thermal decomposition of cellulose in lignocellulosic biomass. **Cellulose-biomass conversion**, p. 193–226, 2013.

SINGH, R. et al. A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, n. April, p. 713–728, 2014.

SINGH, R.; SRIVASTAVA, M.; SHUKLA, A. Environmental sustainability of bioethanol production from rice straw in India: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 202–216, 2016.

SINGHANIA, R. R. et al. Role and significance of beta-glucosidases in the hydrolysis of cellulose for bioethanol production. **Bioresource technology**, v. 127, p. 500–507, 2013.

SOARES, P. B. et al. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre

Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 175–185, 2016.

SOUZA, C. J. A. Produção de Etanol por Sacarificação e Fermentação Simultâneas do Bagaço de Cana-de-Açúcar Utilizando Leveduras Termotolerantes. p. 1–63, 2011.

SOUZA, O. et al. Energia alternativa de biomassa: bioetanol a partir da casca e da polpa de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 915–921, 2012.

SUSMOZAS, A. et al. Process strategies for the transition of 1G to advanced bioethanol production. **Processes**, v. 8, n. 10, p. 1–45, 2020.

SWAIN, M. R. et al. Bioethanol Production From Rice- and Wheat Straw: An Overview. **Bioethanol Production from Food Crops: Sustainable Sources, Interventions, and Challenges**, n. September 2018, p. 213–231, 2018.

TALEBNIA, F.; KARAKASHEV, D.; ANGELIDAKI, I. Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 13, p. 4744–4753, 2010.

TANZIL, A. H. et al. Evaluation of bio-refinery alternatives to produce sustainable aviation fuels in a sugarcane mill. **Fuel**, v. 321, p. 123992, 2022.

ULLAH, K. et al. Assessing the potential of algal biomass opportunities for bioenergy industry: A review. **Fuel**, v. 143, p. 414–423, 2015.

USP, R. D. O que é uma citação? A análise de citações na ciência. **Intexto**, v. 0, n. 23, p. 5–17, 2010.

VASSILEV, S. V.; VASSILEVA, C. G. Composition, properties and challenges of algae biomass for biofuel application: An overview. **Fuel**, v. 181, p. 1–33, 2016.

VIDAL, M. D. E. F. PRODUÇÃO E USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL. p. 1–15, 2021a.

VIDAL, M. DE F. Produção e mercado de etanol. **Caderno Setorial Etene**, v. 159, n. 6, p. 2–11, 2021b.

VOHRA, M. et al. Bioethanol production: Feedstock and current technologies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 1, p. 573–584, 2014.

WAMPLER, P. J.; REDISKE, R. R.; MOLLA, A. R. Using ArcMap, Google Earth, and Global Positioning Systems to select and locate random households in rural Haiti. **International Journal of Health Geographics**, v. 12, n. 1, p. 3, 2013.

WI, S. G. et al. Bioethanol production from rice straw by popping pretreatment. **Biotechnology for Biofuels**, v. 6, n. 1, p. 1–7, 2013.

XIAO, X. et al. Mapping knowledge in the economic areas of green building using

scientometric analysis. **Energies**, v. 14, n. 15, 2019.

YANG, B. et al. Enzymatic hydrolysis of cellulosic biomass. **Biofuels**, v. 2, n. 4, p. 421–449, 2011.

YOSHIDA, N. D. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA: UM ESTUDO APLICADO À PREVISÃO TECNOLÓGICA. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v. 2, n. 1, p. 52–84, 2010.

ZABED, H. et al. Bioethanol production from fermentable sugar juice. **The Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.

ZABED, H. et al. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 475–501, 2017.

ZAMORA, F. Biochemistry of Alcoholic Fermentation.pdf. **Wine Chemistry and Biochemistry**, p. 1–735, 2009.

ZIDANŠEK, A. et al. Climate changes, biofuels and the sustainable future. **international journal of hydrogen energy**, v. 34, n. 16, p. 6980–6983, 2009.

