

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LETÍCIA SIMÃO RIBEIRO PINTO

**O IMPACTO DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL NA
SEGURANÇA ALIMENTAR**

São Carlos - SP

2024

LETÍCIA SIMÃO RIBEIRO PINTO

O IMPACTO DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL NA SEGURANÇA ALIMENTAR

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial
para a obtenção do título de
Engenheira Química pela
Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora: Profa. Dra. Thais Suzane
Milessi Esteves

São Carlos - SP

2024

Pinto, Leticia Simão Ribeiro

O impacto da produção de bioetanol na segurança alimentar / Leticia
Simão Ribeiro Pinto -- 2024.

63f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus São
Carlos, São Carlos

Orientador (a): Thais Suzane Milessi Esteves

Banca Examinadora: Adriana Paula Ferreira Palhares, Clarissa Okino

Bibliografia

1. Biocombustíveis. 2. Segurança Alimentar. 3. Desenvolvimento
Sustentável. I. Pinto, Leticia Simão Ribeiro. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325

O impacto da produção de bioetanol na segurança alimentar

Letícia Simão Ribeiro Pinto

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Química pela Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Thais Suzane Milessi Esteves

Orientadora

Professora no Departamento de Engenharia Química - UFSCar

Adriana Paula Ferreira Palhares

Professora no Departamento de Engenharia Química - UFSCar

Clarissa Okino

Pós - Doutoranda no Departamento de Engenharia Química - UFSCar

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Daisy e Zé Nilton, que sempre foram minha fonte inesgotável de apoio, amor e paciência, me dando sempre a liberdade de tomar as minhas próprias decisões no meu tempo. Ao meu irmão, Gustavo, que sempre foi uma grande inspiração e me apoia sempre, e minha cunhada, Maria Clara, cujo carinho e compreensão tornaram minha jornada mais leve. Ao meu adorável sobrinho, Frederico, por encher meus dias com risadas e alegria, sendo uma grande motivação nos momentos desafiadores. E a minha avó Filhinha, que vai realizar o desejo de ter todos os netos formados enquanto ainda é viva, pois agora a mais nova vai formar.

A minha querida prima-irmã Maria Heloísa, que apesar de toda a distância física, sempre me ajudou em tudo e sempre foi consolo nos momentos mais desafiadores. Aos amigos de infância, por nunca deixarem que a distância diminuísse nosso vínculo e por compartilharem tantas memórias. Aos amigos da faculdade, que se tornaram uma segunda família e tornaram cada desafio mais fácil de enfrentar, e que eu desejo levar por toda a vida.

À minha orientadora, Thais, que me orientou com paciência, sabedoria e incentivo, me ajudando não apenas com este trabalho, mas também com meu desenvolvimento acadêmico.

Ao meu time da Sustainea, em especial à Milena e ao Luis, por terem me inspirado e me auxiliado durante todo o processo.

Por fim, expresso minha gratidão à UFSCar e ao DEQ, que proporcionaram os melhores anos da minha vida e muito amadurecimento.

Este trabalho é fruto do apoio, compreensão e amor de todos vocês. Muito obrigada por fazerem parte desta jornada.

“And I saw something they can't take away

*'Cause there were pages turned with the
bridges burned*

Everything you lose is a step you take

So make the friendship bracelets

Take the moment and taste it

You've got no reason to be afraid”

Taylor Swift

RESUMO

O desenvolvimento de biorrefinarias integradas, baseadas na total utilização da biomassa vegetal e na produção de bioprodutos, como biocombustíveis, é uma importante estratégia na substituição da matriz energética global por processos mais sustentáveis, contribuindo assim para descarbonização e a redução da dependência de recursos fósseis. Porém, um dos principais obstáculos ainda encontrados é que a utilização de algumas biomassas vegetais, como cana-de-açúcar e milho, levanta o debate da competição dos avanços da produção de bioprodutos com a produção de alimentos. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial está crescendo em ritmo acelerado, o que resultará em uma crescente demanda por alimentos para atender a essa população em expansão, de forma que a segurança alimentar deve ser uma questão prioritária nos planejamentos estratégicos dos países. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo realizar uma análise crítica do impacto da produção de bioprodutos na Segurança Alimentar global. Para isso foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre a discussão relacionada ao uso de recursos alimentícios e terras agrícolas para a produção de bioprodutos. Diferentes perspectivas foram exploradas a partir dos dados reais obtidos em relatórios públicos e estudos publicados. Uma das discussões centrais é a necessidade de encontrar alternativas para aumentar a produtividade das terras destinadas à produção de alimentos, assim como o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de alimentos alternativos, como proteína vegetal, os quais podem auxiliar a suprir a demanda da população por nutrientes de qualidade. Adicionalmente, as matérias-primas de segunda geração (2G) são exploradas como estratégia para aumentar a produtividade de bioprodutos sem utilizar matérias primas alimentícias. Por fim, identificou-se que o desperdício tem um impacto muito maior na segurança alimentar do que a produção de biocombustíveis.

Palavras-chave: Biocombustíveis; Segurança Alimentar; Desenvolvimento Sustentável

ABSTRACT

The development of integrated biorefineries, based on the complete utilization of plant biomass and the production of bioproducts such as biofuels, is an important strategy in replacing the global energy matrix with more sustainable processes, thus contributing to decarbonization and reducing dependence on fossil resources. However, one of the main obstacles still encountered is that the use of some plant biomasses, such as sugarcane and corn, raises the debate of competition between advances in bioproduct production and food production. According to the United Nations (UN), the world population is growing at an accelerated pace, resulting in an increasing demand for food to meet the needs of this expanding population, making food security a priority in the strategic plans of countries. In this context, this work aimed to conduct a critical analysis of the impact of bioproduct production on global food security. For this purpose, a comprehensive literature review was conducted on the discussion related to the use of food resources and agricultural land for bioproduct production. Different perspectives were explored based on real data obtained from public reports and published studies. One of the central discussions is the need to find alternatives to increase the productivity of land dedicated to food production, as well as the development of new technologies for the production of alternative foods, such as plant-based protein, which can help meet the population's demand for quality nutrients. Additionally, second-generation raw materials (2G) are explored as a strategy to increase bioproduct productivity without using food raw materials. Finally, it was identified that waste has a much greater impact on food security than biofuel production.

Keywords: Biofuels; Food Security; Sustainable Development

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo Produtivo do Etanol de Segunda Geração.....	23
Figura 2 - Fluxograma da Metodologia Utilizada no Presente Trabalho.....	29
Figura 3 - Gráfico de Fome no Mundo em 2022.....	32
Figura 4 - Gráfico da Fome em diferentes regiões do mundo em 2022.....	33
Figura 5 - Fornecimento diário de calorias por pessoa, 2018.....	34
Figura 6 - Porcentagem da população que não pode pagar uma dieta com calorias suficientes, 2021.....	35
Figura 7 - Gráfico de insegurança alimentar separados por renda do país, 2021.....	36
Figura 8 - Distribuição percentual da Segurança Alimentar e dos Níveis de Insegurança Alimentar (IA) no Brasil e Macrorregiões 2021/2022.....	38
Figura 9 - Insegurança Alimentar Moderada e Grave nos Estados Brasileiros.....	39
Figura 10 - Distribuição Global do solo.....	41
Figura 11 - Produção de biocombustíveis por país/região 2019 - 2020 em bilhões de litros.....	42
Figura 12 - Uso de Terras no Brasil, 2022.....	43
Figura 13 - Uso da soja brasileira, 2022.....	44
Figura 14 - Diagrama esquemático do processo de produção de Single Cell Protein (SCP).....	49
Figura 15 - Diagrama de blocos da conversão de biomassa para Single Cell Protein (SCP).....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Balanço energético de diferentes biocombustíveis.....	20
Quadro 2 - Composição Química (base seca) de materiais protéicos.....	28
Quadro 3 - Prevalência De Subnutrição 2018 - 2022.....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVO.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 O QUE É O DEBATE “COMIDA VERSUS BIOCOMBUSTÍVEIS”?.....	15
3.2 PROGRAMAS DE INCENTIVO À PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.....	16
3.3 A IMPORTÂNCIA DE BIOPRODUTOS.....	19
3.4 ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO.....	21
3.5 PROTEÍNA MICROBIANA (SINGLE CELL PROTEIN - SCP).....	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1 LEVANTAMENTO SOBRE A INSEGURANÇA ALIMENTAR MUNDIAL.....	30
5.1.1 Segurança Alimentar no Brasil.....	37
5.2 IMPACTO DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA DISPONIBILIDADE E ACESSIBILIDADE DE ALIMENTOS.....	40
5.3 POSSÍVEIS ALTERNATIVAS E SEUS DESAFIOS DO PONTO DE VISTA DA ENGENHARIA QUÍMICA.....	47
5.4 DESAFIOS TECNOLÓGICOS DO PONTO DE VISTA DA ENGENHARIA QUÍMICA.....	53
6. CONCLUSÃO.....	55
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	56
REFERÊNCIAS.....	57

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma grande pressão sobre o sistema de produção de alimentos no mundo. Essa demanda é agravada por dois fatores: a insegurança alimentar, que afetou cerca de 30% da população em 2021, e o crescimento populacional, que aumentará cerca de 37% até 2050 em comparação com 2010, acompanhado por um aumento na demanda por alimentos que varia de 35% a 56% (FAO *et al*, 2022).

Adicionalmente, existe uma preocupação a nível mundial com a transição energética para fontes de energia alternativa, como biodiesel, etanol e carvão vegetal. Este mercado está em constante crescimento devido aos impactos ambientais associados aos combustíveis fósseis (VIDAL, 2021), levando ao incentivo do desenvolvimento das biorrefinarias.

Segundo Cherubini (2010), a biorrefinaria é um conceito semelhante à refinaria de petróleo, a qual produz vários produtos e combustíveis à base de petróleo. Porém, na biorrefinaria, os processos e equipamentos são integrados para converter biomassa em biocombustíveis para transporte e energia, e produtos químicos.

Há diversos tipos de biorrefinarias, e para cada tipo de biomassa empregada, é essencial aplicar uma tecnologia específica. Dessa forma, as matérias-primas formam a essência da biorrefinaria, sendo obrigatoriamente renováveis. As mais frequentemente utilizadas são aquelas derivadas de carboidratos ou celulose, como cana-de-açúcar e milho, e devem ser escolhidas conforme a tecnologia empregada e o produto final desejado (DI FAVARI, 2023). Devido a sua grande aplicação substituindo combustíveis fósseis, os biocombustíveis são a categoria de produtos produzidos em biorrefinarias que atraem mais atenção (SADHUKHAN *et. al.*, 2014). No Brasil, o bioetanol é amplamente produzido a partir de cana-de-açúcar, possuindo um mercado consolidado e colocando o país como pioneiro na produção deste combustível globalmente, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (IEA, 2021). A produção de etanol cresceu em 32% na última década (CONAB, 2013; CONAB, 2023).

No entanto, essa crescente demanda por biocombustíveis também tem implicações e efeitos significativos na produção de alimentos, uma vez que estes compostos geralmente são obtidos de matérias-primas alimentícias ou de matérias-primas agrícolas que podem competir com os alimentos por terra arável.

Materiais à base de biomassa são produtos versáteis usados em várias aplicações, como embalagens, plásticos, têxteis, detergentes, produtos químicos e materiais de construção. Eles podem ser derivados de processos como fermentação, conversão química, biológica ou física, além de materiais de madeira e fibras. As matérias-primas incluem culturas como cana-de-açúcar, beterraba, milho, trigo, mandioca, oleaginosas, madeira e fibras naturais (DAMMER *et al*, 2023). Desta forma, surge uma competição por recursos essenciais, como terra, água e energia, especialmente entre a produção de alimentos e a busca por fontes de energia alternativas, como os biocombustíveis.

Lessa (2007) oferece diversos argumentos favoráveis à produção de biocombustíveis no Brasil, destacando a posição de liderança do país nesse setor devido a vantagens na produção de cana-de-açúcar, resultantes de fatores climáticos, industriais e tecnológicos favoráveis. Adicionalmente, o Brasil detém vantagens comparativas no cenário internacional de biocombustíveis, despertando interesse na economia do país devido à perspectiva de liderança no mercado. Isso impulsiona a implementação de políticas voltadas para a produção de energia a partir de fontes derivadas da agroenergia, como o RenovaBio (VIDAL, 2021).

O RenovaBio foi instituído pela Lei nº 13.576/2017 com o objetivo de promover a expansão da produção de biocombustíveis, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir para o cumprimento das metas estabelecidas no Acordo de Paris (2015) (BRASIL).

Outro objetivo do programa é contribuir para a descarbonização da matriz de transportes no Brasil, promovendo segurança energética e previsibilidade do mercado, levando em consideração a relação entre a eficiência energética e a redução de gases de efeito estufa (BRASIL).

O estabelecimento de metas para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), a certificação da produção de biocombustíveis e a emissão de

Créditos de Descarbonização (CBIO) são os três eixos estratégicos para implementação efetiva dessa política (BRASIL).

Atualmente, o bagaço e a palha da cana-de-açúcar são os principais subprodutos gerados no processamento da cana e são utilizados na cogeração de energia elétrica (autoprodução) nas usinas sucroalcooleiras brasileiras (VIDAL, 2021). Estes subprodutos agroindustriais, juntamente com outros como palha de milho e casca de café, são considerados matérias-primas de segunda geração (2G) e representam uma alternativa interessante para a produção de bioprodutos uma vez que não competem com as de fonte alimentícia (ALFANO *et al*, 2016).

As matérias-primas 2G são uma fonte alternativa tanto de energia quanto de insumos para a indústria química. A indústria de bioconversão 2G busca transformar biomassa derivada de lignocelulose, que não é destinada ao consumo humano ou animal, juntamente com resíduos biogênicos, em combustíveis ou produtos químicos de alto valor, de maneira limpa e acessível (ALFANO *et al*, 2016).

Neste contexto, o presente trabalho irá discutir de forma crítica a insegurança alimentar e o uso de recursos alimentares e terras agrícolas para a produção de bioprodutos, com foco especial no bioetanol, assim como a necessidade de encontrar alternativas para aumentar a produtividade das terras destinadas à produção de alimentos, e do desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de alimentos alternativos. Para isso, serão exploradas estratégias de produtos alimentícios alternativos, como proteína microbiana, com foco especial nos desafios tecnológicos do ponto de vista da engenharia química. Por fim, as políticas públicas existentes, como o RenovaBio, assim como a criação de novas políticas que incentivem e regularizem a utilização das matérias-primas, serão discutidas a fim de se obter as perspectivas do cenário e crescimento da oferta de alimentos e de bioprodutos para os próximos anos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi realizar uma revisão bibliográfica e discutir a insegurança alimentar e o uso de recursos agrícolas para a produção de bioprodutos, com foco especial bioetanol no cenário brasileiro, e também a importância de alternativas para reduzir a insegurança alimentar e o impacto do aumento desses mercados no futuro.

Objetivos específicos:

- Entender como a produção atual de bioprodutos, principalmente bioetanol, coloca em risco a segurança alimentar
- Entender como o desperdício impacta a segurança alimentar
- Explorar alternativas para substituir a matriz energética global por processos mais sustentáveis sem depender de recursos fósseis e sem ameaçar a segurança alimentar
- Discutir os desafios tecnológicos de alimentos alternativos do ponto de vista da Engenharia Química

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O QUE É O DEBATE “COMIDA VERSUS BIOCOMBUSTÍVEIS”?

O debate em torno de "alimentos versus biocombustíveis" envolve a análise contínua sobre o uso de recursos agrícolas entre a produção de alimentos e a fabricação de combustíveis por meio de processos biotecnológicos. Embora seja difícil determinar o início desse debate, observa-se um aumento significativo de interesse em torno de 2007, coincidindo com a elevação dos preços dos alimentos, muitas vezes atribuída à produção de biocombustíveis (FLEXOR, 2007).

A discussão persiste, especialmente em relação ao impacto dos biocombustíveis nos preços dos alimentos. Enquanto alguns atribuem a crise de 2007 à expansão da indústria de etanol de milho nos Estados Unidos, outros argumentam que diversos fatores contribuíram, incluindo o aumento nos custos de produção e transporte de alimentos devido aos preços mais altos da energia, a crescente demanda global por alimentos, a desvalorização do dólar, especulação nos mercados e a busca por biocombustíveis (URBANCHUK, 2008).

Os defensores dos bioprodutos, como biocombustíveis, bioplásticos e produtos bioquímicos, defendem seu papel crucial na redução da dependência de combustíveis fósseis e no combate às mudanças climáticas (RATHMAN; SZKLO; SCHAEFFER, 2010). Eles enfatizam que o uso de recursos renováveis pode contribuir para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, promovendo assim uma economia mais sustentável (DAMMER et al, 2023).

Além disso, os apoiadores dos bioprodutos argumentam que eles podem oferecer novas oportunidades econômicas para agricultores e comunidades rurais. Ao diversificar suas fontes de renda e criar novos mercados, os agricultores podem se beneficiar do desenvolvimento de indústrias bio-baseadas (DAMMER *et al*, 2023). No entanto, críticos levantam preocupações sobre a segurança alimentar e o uso da terra, alertando que a produção de bioprodutos pode competir diretamente com a produção de alimentos, resultando em escassez e preços mais altos, especialmente em áreas já afetadas pela fome e pobreza.

Os opositores dos bioprodutos também expressam preocupações ambientais, destacando o potencial desmatamento, destruição de habitat e pressão adicional

sobre os recursos hídricos associados à produção em larga escala de biocombustíveis (RATHMAN; SZKLO; SCHAEFFER, 2010).

A continuidade do debate é alimentada pelas diversas medidas e estratégias implementadas globalmente para impulsionar a produção de bioprodutos, incluindo programas de incentivo aos biocombustíveis. É crucial notar que essas iniciativas variam consideravelmente entre os países e estão em constante adaptação, pois os governos buscam equilibrar o desenvolvimento sustentável dos bioprodutos com preocupações ambientais, sociais, econômicas e, especialmente, a segurança alimentar (TOMEI, HELLIWELL, 2016).

3.2 PROGRAMAS DE INCENTIVO À PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

É notável que muitos países tenham implementado programas de incentivo à produção de biocombustíveis. Em uma escala global, a principal força impulsionadora para os biocombustíveis são os requisitos legais de mistura com combustíveis fósseis, com parcelas do volume variando de 1 a 30% de combustíveis renováveis (Andretti *et al*, 2022).

A motivação dos diversos países varia. Os objetivos dos países asiáticos, como Malásia, Indonésia e China, e da Argentina, são reduzir o excedente de óleo vegetal em um esforço para estabilizar os preços de mercado. Já os Estados Unidos e o Brasil concentram seus interesses na segurança do abastecimento no setor energético e na redução das importações de combustíveis, enquanto a União Europeia atribui grande importância à proteção do clima e ao aumento da proporção global de energia renovável gerada (Andretti *et al*, 2022).

O programa do Brasil é o RenovaBio, criado em 2017 com a finalidade avaliar e aprimorar as políticas e os aspectos regulatórios relacionados aos biocombustíveis. O programa visa, entre outras coisas, proporcionar benefícios ambientais, sociais e de saúde pública (Andretti *et al*, 2022).

O RenovaBio utiliza como principal instrumento o estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis (BRASIL, 2023). Essas metas, definidas para o período de 2019 a 2029 pela Resolução CNPE nº

15/2019, são anualmente desdobradas em metas individuais compulsórias para os distribuidores de combustíveis, conforme suas participações no mercado de combustíveis fósseis, conforme estabelecido pela Resolução ANP nº 791/2019.

São atribuídas notas para cada produtor e importador por meio da certificação da produção de biocombustíveis, conhecida como Nota de Eficiência Energético-Ambiental, a qual reflete a contribuição individual de cada agente produtor para a mitigação de gases de efeito estufa em relação ao seu substituto fóssil (BRASIL).

No processo de certificação, considera-se a origem da biomassa energética, sendo aceita apenas a produzida em imóvel com Cadastro Ambiental Rural (CAR) ativo ou pendente e sem ocorrência de supressão de vegetação nativa, conforme os marcos legais do RenovaBio.

O certificado tem validade de três anos e só pode ser emitido pela firma inspetora após aprovação do processo pela ANP (BRASIL).

Após a certificação, os produtores e importadores podem gerar lastro para emissão primária de Créditos de Descarbonização (CBIOS), utilizando as notas fiscais de comercialização de biocombustíveis, conforme a Resolução ANP nº 802/2019. CBIOS são usados para comprovar o cumprimento das metas compulsórias das distribuidoras de combustíveis (BRASIL).

Existem programas similares ao RenovaBio em outros países, cada um com suas características específicas (ROITMAN, 2019). Abaixo estão apresentados alguns exemplos de programas de estímulo à produção de biocombustíveis em diferentes partes do mundo:

- *Renewable Fuel Standard* (RFS) - Estados Unidos: O RFS é um programa estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA). Ele requer que uma quantidade mínima de biocombustíveis, como etanol e biodiesel, seja misturada aos combustíveis fósseis vendidos no país. O programa estabelece metas anuais de mistura e utiliza Créditos de Combustíveis Renováveis (RINs) como instrumento de conformidade (ROITMAN, 2019).

- *Low Carbon Fuel Standard (LCFS)* - Califórnia, Estados Unidos: O LCFS é um programa adotado pelo estado da Califórnia para reduzir as emissões de gases de efeito estufa dos combustíveis. Ele estabelece padrões de intensidade de carbono para os combustíveis, incluindo biocombustíveis, e requer que os fornecedores de combustíveis demonstrem a conformidade por meio da aquisição de Créditos de Carbono (LCFS credits) (ROITMAN, 2019).
- *Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO)* - Reino Unido: O RTFO é um programa do Reino Unido que estabelece metas para o aumento do uso de biocombustíveis no setor de transportes. Ele obriga os fornecedores de combustíveis a garantir que uma certa porcentagem de seus combustíveis sejam provenientes de fontes renováveis. O cumprimento dessas metas é alcançado por meio da aquisição de Certificados de Combustíveis Renováveis (RTFCs) (ROITMAN, 2019).
- *Directive on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources (RED II)* - União Europeia: A RED II é uma diretiva da União Europeia que estabelece metas para o aumento do uso de energias renováveis, incluindo biocombustíveis, nos setores de transporte, energia e aquecimento. Ela estabelece critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis e define ações e incentivos para estimular sua produção e uso em toda a UE (ROITMAN, 2019).

Esses são apenas alguns exemplos de programas semelhantes ao RenovaBio em outros países. Cada programa possui suas características específicas, mas todos têm em comum o objetivo de promover a produção e o uso de biocombustíveis como uma alternativa mais sustentável aos combustíveis fósseis, buscando reduzir as emissões de gases de efeito estufa e diversificar a matriz energética (ROITMAN, 2019).

Existem também programas que incentivam a produção de outros biomateriais, como o *Biorefinery, Renewable Chemical, and Biobased Product Manufacturing Assistance Program*, do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA), que fornece empréstimos para auxiliar no desenvolvimento, construção e adaptação de novas tecnologias (USDA, 2022).

3.3 A IMPORTÂNCIA DE BIOPRODUTOS

Segundo Zimern e Segar (2022), espera-se que um adicional de 189 milhões de pessoas sejam empurradas para a fome se a temperatura global média aumentar 2°C em relação aos níveis pré-industriais. Caso esse aquecimento seja de 4°C, o número sobe para 1,8 bilhões.

Devido a essa preocupação ambiental, os bioprodutos emergem como uma importante ferramenta, já que apresentam opções sustentáveis em comparação aos produtos convencionais, oferecendo diversos benefícios ambientais, como a redução de emissões de gases de efeito estufa, a diminuição da dependência de combustíveis fósseis e o estímulo a uma economia circular. Essas inovações têm aplicabilidade em setores variados, como agricultura, energia, química, materiais e bens de consumo (PRAJ, 2023).

A produção de bioprodutos envolve uma variedade de processos, como fermentação, pirólise, conversão enzimática e síntese química. Durante a fermentação, microrganismos ou enzimas transformam biomassa em produtos valiosos, como biocombustíveis, bioplásticos e produtos químicos renováveis. Já a pirólise emprega calor para decompor a biomassa em bio-óleo e gás de síntese. A conversão enzimática utiliza enzimas para catalisar reações bioquímicas, possibilitando a produção de materiais e produtos químicos com base em biocombustíveis. Já a síntese química faz uso de matérias-primas renováveis como substitutos de combustíveis fósseis no processo de fabricação de produtos químicos convencionais (PRAJ, 2023).

Os bioprodutos que mais chamam atenção no mercado são os biocombustíveis, devido a sua grande aplicabilidade. Os biocombustíveis, além de diminuir a dependência em combustíveis fósseis, geralmente requerem menor consumo de energia durante a produção e resultam em emissões reduzidas de gases de efeito estufa em comparação com seus homólogos à base de petróleo (US DEPARTMENT OF ENERGY).

Um indicativo da viabilidade técnica de qualquer programa bioenergético é o balanço energético. A avaliação das cadeias produtivas, por meio da análise da energia gerada pelo produto e da energia consumida nos insumos durante o

processo de produção, possibilita a verificação do balanço energético (PEREIRA *et al*, 2016).

A avaliação da energia gerada nos processos de produção de alimentos e biocombustíveis como substitutos aos derivados de petróleo permite verificar a sustentabilidade desses processos. Quando o balanço é positivo - energia de saída é maior que a de entrada, o resultado é maior que 1, quando negativo é menor que 1 (PEREIRA *et al*, 2016). O Quadro 1 apresenta os balanços energéticos de alguns biocombustíveis.

Quadro 1 - Balanço energético de diferentes biocombustíveis

Biocombustível	Autor	Matéria Prima	Balanço Energético
Etanol	Santos & Santos (2009)	Cana-de-açúcar	3,15
	Oliveira (2010)		8,3
	Grego (2011)		9,4
	Andreoli & Souza (2006)		3,24
	Oliveira (2010)	Milho	1,4
	Grego (2011)		0,8
	Andreoli & Souza (2006)		0,76
	Salla <i>et. al</i> (2010)		1,2
	Soares <i>et. al</i> (2008)	Mandioca	1,52
Biodiesel	Checheto <i>et al</i> (2010)	Mamona	1,28
	Gazzoni <i>et al</i> (2005)	Girassol	2,37
		Soja	3,95

Fonte: autoria própria, dados de Pereira *et al* (2016)

A produção desses biocombustíveis ocorre em biorrefinarias. Nessas instalações, a biomassa é transformada em combustíveis, energia e produtos químicos. O estabelecimento de biorrefinarias integradas é um elemento crucial para o desenvolvimento de uma bioeconomia diversificada, robusta e resiliente. A produção simultânea de produtos químicos e materiais com os biocombustíveis têm

o potencial de aprimorar a economia global do processamento da biomassa, além de contribuir com uma economia circular pela redução de geração de resíduos (US DEPARTMENT OF ENERGY).

A produção de produtos produzidos a partir de biomassa ainda tem grandes desafios pela frente, como desenvolver rotas 2G, questões de custos e novas tecnologias. A sinergia entre instituições acadêmicas, setor industrial e órgãos governamentais é crucial para impulsionar iniciativas de pesquisa, desenvolvimento e comercialização (PRAJ, 2023).

3.4 ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

Os biocombustíveis de segunda geração aproveitam a biomassa considerada resíduo para criar um produto mais sustentável e responsável. Esses subprodutos podem ter diversas origens, como provenientes da silvicultura e agricultura. O etanol de segunda geração (E2G), também conhecido como etanol verde ou etanol celulósico, representa um biocombustível avançado derivado dos subprodutos remanescentes da produção de etanol convencional (etanol de primeira geração, E1G) e do processamento do açúcar, destacando-se a palha e o bagaço da cana-de-açúcar (RAÍZEN, 2023).

O Brasil foi pioneiro na produção de E2G, utilizando o bagaço da cana-de-açúcar que, de outra forma, seria descartado ou queimado para a produção de energia. Essa abordagem posicionou o país como o segundo maior produtor mundial de etanol de primeira e segunda geração. Segundo Montes (2017), o etanol de segunda geração surge com o objetivo de aumentar a produção sem expandir a área cultivada.

Atualmente, a capacidade de produção de E2G no Brasil é de aproximadamente 144 milhões de litros, sendo 114 milhões de litros a capacidade de produção das duas plantas da Raízen (EPBR, 2023) e 30 milhões de litros da planta da GranBio (RAMOS, 2023).

Esse tipo de biocombustível desempenha um papel crucial no contexto da sustentabilidade industrial, pois contribui para estender os ciclos produtivos de

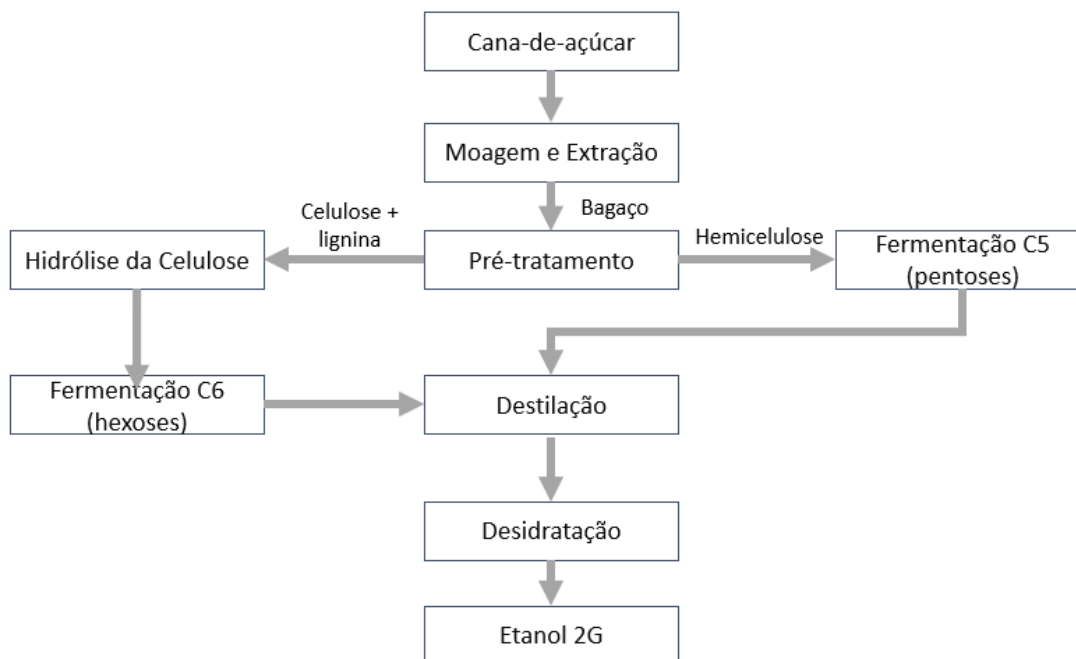
culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar, ao utilizar resíduos do plantio e de outros processos produtivos como matéria-prima (MELO, 2020).

Este produto é reconhecido como um dos combustíveis com menor emissão de carbono em nível global. Utiliza matéria-prima de baixo impacto ambiental, que de outra forma seria descartada, e oferece benefícios logísticos significativos (RAÍZEN, 2023). Segundo o estudo conduzido pela Embrapa em 2010, o balanço energético do E2G é de 9,9 (PEREIRA *et al*, 2016).

O bagaço da cana possui, além de alto índice de glicose, quantidade significativa de carboidratos, lignina, cinzas e água (RAÍZEN, 2023). Estes carboidratos (celulose e hemicelulose) presentes na sua estrutura não podem ser metabolizados pelas leveduras utilizadas na produção de etanol convencional. Dessa forma, para a produção do bioetanol, eles são convertidos em um material que as leveduras possam fermentar (PROPEQ, 2023). Para disponibilizar os carboidratos, é necessário romper ou liberar a lignina dos outros compostos (MELO, 2020).

De acordo com o time de Etanol, açúcar e bioenergia e sustentabilidade da Raízen (2023), as principais etapas da produção de etanol 2G são: pré-tratamento; hidrólise; fermentação; destilação. A Figura 1 esquematiza o processo produtivo.

Figura 1 - Processo Produtivo do Etanol de Segunda Geração



Fonte: adaptado de MELO, 2020

- Pré-tratamento

Nesta etapa, o bagaço é preparado para a hidrólise enzimática, com o objetivo de tornar a biomassa disponível. A biomassa passa por um processo pré-tratamento que visa fracionar a celulose. Diversas tecnologias, como processos químicos (básicos ou ácidos), biológicos, térmicos e mecânicos, podem ser empregadas para essa finalidade.

Métodos de pré-tratamento químico são amplamente empregados e eficazes no tratamento da biomassa lignocelulósica, visto que conseguem remover de maneira significativa a hemicelulose e/ou a lignina, tornando as fibras de celulose mais acessíveis à hidrólise enzimática (CHANDEL *et al*, 2021). Exemplos de pré-tratamentos químicos:

- **Ácido:** Pode ser realizado usando soluções ácidas, tanto diluídas quanto concentradas. O método com ácido diluído (mais comum é o ácido sulfúrico, 1–2% p/p) possibilita alcançar elevados rendimentos de açúcares, especialmente

xilose (proveniente da hemicelulose), em temperaturas mais baixas, em torno de 120 a 140°C. É um dos mais usados e antigos (CANILHA *et al*, 2012). Por outro lado, a utilização de ácidos concentrados é mais eficaz para obter açúcares como glicose (da celulose), mas pode acarretar problemas como corrosão do equipamento, além de requerer a recuperação do ácido utilizado (CHANDEL *et al*, 2021).

- Alcalino: esse método demanda um período de residência considerável e uma elevada concentração alcalina, que também necessita de recuperação. Este método pode empregar uma quantidade reduzida de produtos químicos corrosivos, tais como hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de cálcio e hidróxido de amônio, e também pode ser conduzido em temperaturas baixas (<100°C) (CHANDEL *et al*, 2021).

- Líquidos iônicos: são alternativas interessantes devido às suas propriedades específicas, como o ponto de fusão inferior a 100°C, estabilidade térmica e química, baixa pressão de vapor, alta capacidade de solvatação e capacidade de dissolver carboidratos e lignina simultaneamente. Além de demandarem condições de processo mais suaves, os líquidos iônicos são substâncias químicas menos perigosas e de fácil reciclagem. O desafio dessa tecnologia é o custo elevado, que seria de grande impacto em uma escala industrial (CHANDEL *et al*, 2021).

Tratamentos físico-químicos:

- Explosão a vapor: método utilizado pela Raízen. Consiste em alta pressão e temperaturas moderadas, entre 60 e 120°C, por alguns minutos, seguido por uma decompressão explosiva da biomassa para a pressão atmosférica, o que modifica ou reduz a fração de lignina e preserva as de celulose e hemicelulose (CHANDEL *et al*, 2021).

- Hidrotérmico: O processo utilizado pela Granbio é um tratamento físico-químico, no qual apenas água, em temperaturas variando entre 160 e 240 °C, é utilizada como reagente, durante um período de 10 a 50 minutos. Nesse método, as hemiceluloses são desestruturadas por meio de reações catalisadas pelos íons de hidrônio, resultando em mínimas modificações nos componentes de celulose e lignina (CHANDEL *et al*, 2021).

Já os pré-tratamentos biológicos podem ser realizados por vários microrganismos (bactérias, leveduras e fungos), sendo os fungos os mais usados. Os fungos de decomposição branca são os mais eficazes na remoção de lignina (CHANDEL *et al*, 2021).

É um método eficaz e menos prejudicial para o meio ambiente, porém possui importantes desafios, como a demanda por um longo tempo de incubação, com monitoramento contínuo do crescimento e atividades bioquímicas, e dificuldades de dimensionamento (CHANDEL *et al*, 2021).

- Hidrólise Enzimática

Consiste na quebra da celulose e hemicelulose em açúcares, glicose e xilose, respectivamente. A hidrólise pode ocorrer de forma química, mais rápida e econômica, mas com rendimentos menores, ou por meio de hidrólise enzimática, mais seletiva, capaz de atingir elevados rendimentos, porém com uma reação mais lenta. As enzimas são solúveis em água, só podem ser utilizadas uma vez no processo, o que encarece essa rota produtiva.

Para superar as limitações associadas ao processo de hidrólise química, celulasas exógenas têm sido amplamente utilizadas, principalmente porque a *S. cerevisiae* natural, normalmente usada na fermentação do etanol, é deficiente em celulase (RAMOS *et al*, 2021).

Em relação a hidrólise enzimática, ela pode ser realizada em diferentes configurações de processo: Hidrólise e Fermentação separadas (SHF), Sacarificação e Fermentação Simultânea (SSF), Sacarificação e Co-Fermentação Simultâneas (SSCF) ou Bioprocessamento Consolidado (BPC) (RAMOS *et al*, 2021).

A SHF permite que a hidrólise e a fermentação ocorram separadamente, em condições de pH e temperaturas ideais. É um processo menos eficiente, pois as celulasas são inibidas por alguns carboidratos gerados na etapa de hidrólise (RAMOS *et al*, 2021).

Já a SSF combina os estágios de hidrólise e fermentação em um único reator, incorporando tanto enzimas hidrolíticas quanto leveduras, que resulta em uma elevada produtividade de etanol e tempos de processo reduzidos. Contudo, as

celulases geralmente apresentam faixas de temperatura ótima em torno de 45-50 °C, enquanto as temperaturas de fermentação são mantidas em torno de 30 °C para preservar a viabilidade celular. Isso resulta em uma atividade catalítica reduzida nessas condições (RAMOS *et al*, 2021).

A SSCF permite que tanto hexoses quanto pentoses sejam convertidas no mesmo reator. É preciso uma levedura fermentadora de pentoses para essa configuração, o que pode levar a maior produtividade (RAMOS *et al*, 2021).

O BCP é uma tecnologia emergente que pode ser usada em materiais lignocelulósicos utilizando uma plataforma microbiana recombinante que produz celulases para realizar a hidrólise da biomassa pré-tratada e fermentar os açúcares C5 e C6 em um único reator (RAMOS *et al*, 2021).

Raízen e GranBio são as únicas empresas que atuam em uma escala industrial na produção de E2G no Brasil. Ambas incorporam o uso de celulases em seus processos. A GranBio faz a hidrólise enzimática em seguida do pré-tratamento, usando enzimas celulolíticas personalizadas da Novozymes. A Raízen não menciona quais enzimas específicas utiliza no processo (RAMOS *et al*, 2021).

A produção de etanol de segunda geração pode ser feita em um parque de bioenergia dedicado, onde a planta produz só o bioetanol, ou integrado, que são usinas onde já produz outros produtos renováveis, como o etanol de primeira geração (RAÍZEN, 2023).

O etanol celulósico já está sendo estudado por instituições de pesquisa e também pelo setor produtivo. Esse biocombustível já é comercializado em alguns países, incluindo Brasil, mas ainda há muitos desafios para aprimorar essa tecnologia (MACHADO *et al*, 2016). Os principais obstáculos para ampliar a competitividade econômica e capacidade de produção são a eficiência dos pré-tratamentos e os custos das enzimas (RAMOS *et al*, 2021).

É necessário etapas de melhoramento genético e aprimoramento nos sistemas de produção em relação à biomassa do E2G. Está sendo estudado a otimização da desconstrução celular por meio de etapas de pré-tratamento mais eficientes, minimizando a produção de inibidores. Na fermentação de pentoses e hexoses e desenvolvimento de sistemas enzimáticos eficazes e economicamente

viáveis, é importante selecionar e melhorar os microrganismos (MACHADO et al, 2016).

A escolha do método de pré-tratamento a ser utilizado, bem como a definição dos parâmetros do processo, é de extrema importância para estabelecer um processo economicamente e ambientalmente viável. Isso deve levar em consideração a biomassa utilizada e as restrições associadas à hidrólise enzimática e fermentação (MACHADO et al, 2016).

3.5 PROTEÍNA MICROBIANA (SINGLE CELL PROTEIN - SCP)

Essa abordagem contribui para reduzir a dependência de terras na produção de alimentos, aliviando assim a pressão sobre a agricultura. Embora para alguns possa parecer inaceitável o uso de microrganismos como fonte de alimentos, a ideia de consumi-los tanto para humanos quanto para animais representa uma abordagem inovadora na resolução do problema global de alimentos (ANUPAMA, RAVINDRA, 2000).

SCP (do inglês *Single Cell Protein*) são proteínas extraídas de microorganismos unicelulares como bactérias, fungos e algas. Esses microorganismos são cultivados em ambientes controlados, podendo-se utilizar biomassa 2G como substrato, e as proteínas deles são colhidas para serem utilizadas como alimento ou ração. A SCP é considerada uma alternativa sustentável às fontes convencionais de proteínas, como carne e soja, devido à sua produção mais eficiente em termos de recursos e ao menor impacto ambiental associado (FOOD MICROBIOLOGY ACADEMY, 2023). Além disso, a conversão biológica de resíduos agrícolas e industriais em alimentos ricos em proteínas apresenta a vantagem adicional de tornar o produto final mais acessível, compensando o valor negativo dos resíduos utilizados como substrato na produção de SCP (ANUPAMA, RAVINDRA, 2000). Optar pelo cultivo de fungos e bactérias em materiais de resíduos econômicos revela-se conveniente para a produção de SCP. A rápida taxa de crescimento e o elevado teor protéico (Quadro 3) desses microrganismos os posicionam como principais candidatos a serem explorados como fontes de SCP (ANUPAMA, RAVINDRA, 2000).

Quadro 2 - Composição Química (base seca) de materiais protéicos

Fonte	Proteína (%)	Conteúdo de Cinzas (%)
Fungo	31 - 43	11,5
Alga	41 - 62	9
Levedura	40 - 60	7,5
Bactéria	50 - 65	5

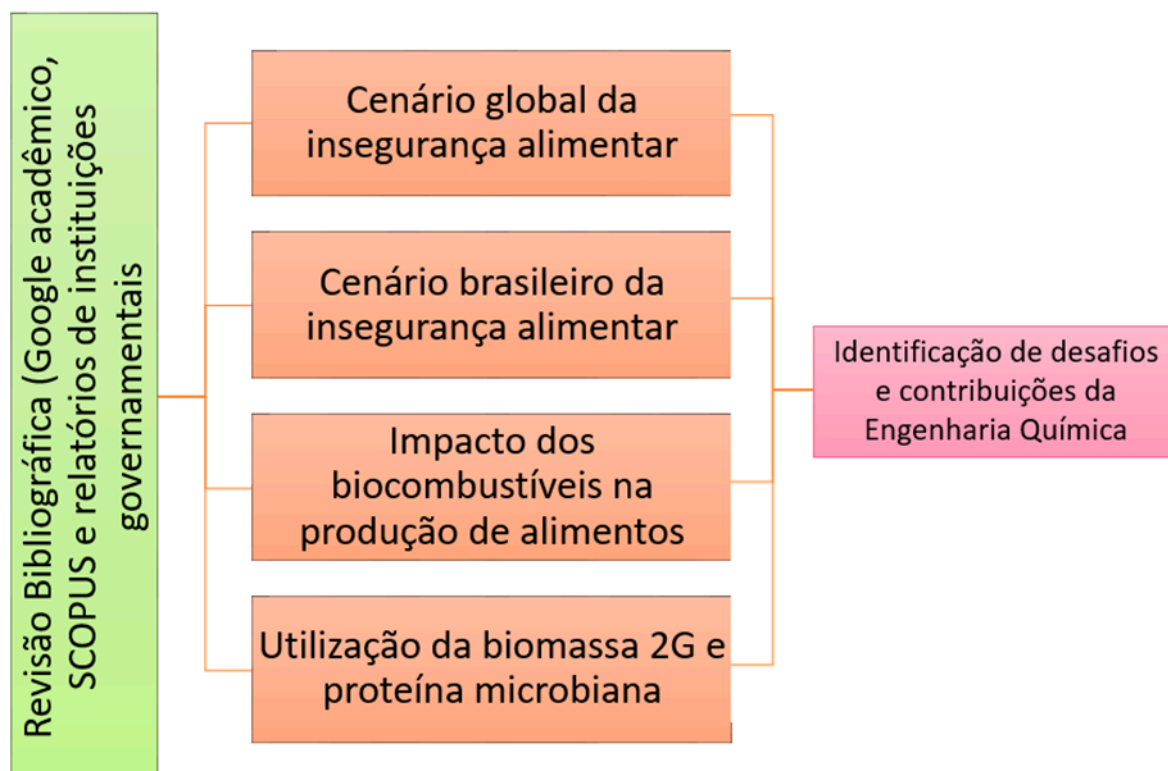
Fonte: adaptado de Kumar *et al*, 2023

Apesar dos inúmeros benefícios, a produção e o consumo de SCP enfrentam desafios e limitações significativas. Um dos principais obstáculos é o custo elevado da produção de SCP, atualmente mais cara do que fontes tradicionais de proteínas. Além disso, a SCP apresenta um sabor distintivo que pode não agradar a todos os consumidores, e surgem preocupações quanto à sua segurança, especialmente relacionadas a possíveis contaminantes e alérgenos (FOOD MICROBIOLOGY ACADEMY, 2023).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho é predominantemente quantitativa e descritiva. A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica exclusivamente teórica, com o intuito de solidificar a base para uma investigação mais aprofundada. Diversas fontes de dados foram exploradas, destacando-se dissertações e artigos reconhecidos na área de estudo. Além disso, revistas conceituadas no setor e publicações de órgãos governamentais foram consultadas para enriquecer a pesquisa. As principais ferramentas de busca utilizadas foram “SCOPUS” e “Google Acadêmico”, juntamente com sites oficiais de instituições governamentais. A revisão bibliográfica buscou não apenas apresentar o tema, mas também promover uma discussão fundamentada em referências teóricas, identificando os principais desafios tecnológicos e possíveis contribuições da Engenharia Química, conforme estrutura apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma da Metodologia Utilizada no Presente Trabalho



Fonte: autoria própria

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 LEVANTAMENTO SOBRE A INSEGURANÇA ALIMENTAR MUNDIAL

Os desafios para erradicar a fome, a insegurança alimentar e todas as formas de desnutrição estão se agravando. De acordo com *World Food Program* (2020), a fome global não é devido a escassez de alimentos. O mundo produz atualmente comida suficiente para alimentar toda a população, porém, um terço da comida produzida é desperdiçada ou perdida antes do consumo. Isso equivale a cerca de 1,3 bilhão de toneladas por ano.

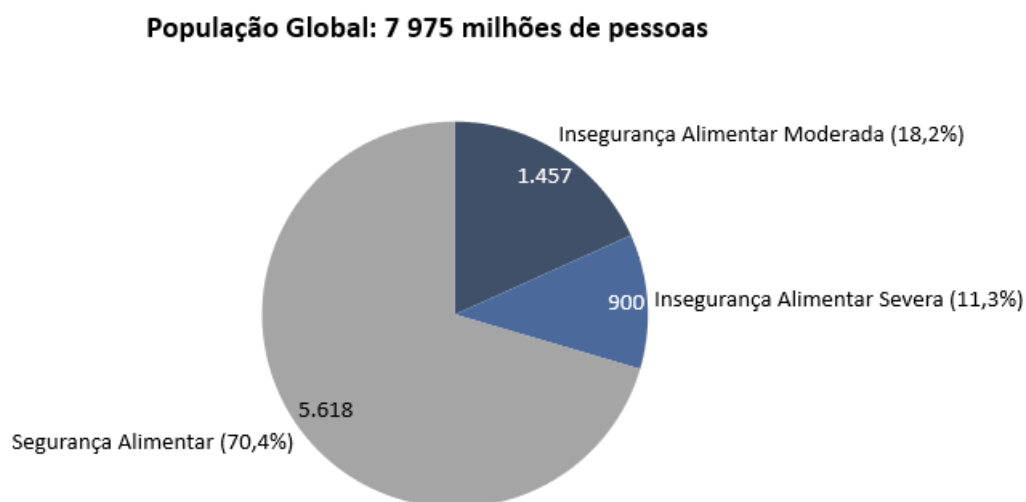
A nível global, aproximadamente 13% dos alimentos produzidos são desperdiçados entre a fase de colheita e a comercialização no varejo, conforme relatado pela UNEP (Índice de Desperdício Alimentar, 2021). Além disso, estima-se que 17% da produção total de alimentos em escala mundial seja perdida em residências, serviços de alimentação e estabelecimentos varejistas.

Em nações com baixa renda, as perdas ocorrem com maior frequência nas etapas iniciais do processo alimentar. Como exemplo, na África Subsaariana, 83% dos alimentos são perdidos durante a produção, manipulação/armazenamento e processamento, enquanto apenas 5% são desperdiçados pelos consumidores, conforme indicado pelo Instituto de Recursos Mundiais. Em contrapartida, na América do Norte e na Oceania, 32% são perdidos nas fases iniciais, e 61% são desperdiçados pelos consumidores (O'SULLIVAN, 2023).

O relatório "O Estado da Segurança Alimentar e Nutrição no Mundo" de 2022 (FAO *et al*, 2022) destaca que a pandemia de COVID-19 acentuou ainda mais as vulnerabilidades em nossos sistemas agroalimentares e as disparidades em nossas sociedades, o que resultou em aumentos adicionais na fome global e na grave insegurança alimentar. As evidências mais recentes disponíveis indicam que o número de pessoas incapazes de custear uma dieta saudável em todo o mundo aumentou em 112 milhões, totalizando aproximadamente 3,1 bilhões de pessoas. Isso reflete os impactos do aumento dos preços dos alimentos para os consumidores durante a pandemia. Esse número pode ser ainda maior quando consideramos os dados relacionados às perdas de renda em 2020 (FAO *et al*, 2022).

Além disso, o conflito contínuo na Ucrânia está perturbando as cadeias de abastecimento e impactando ainda mais os preços de grãos, fertilizantes e energia. No primeiro semestre de 2022, isso resultou em novos aumentos nos preços dos alimentos. Paralelamente, eventos climáticos extremos mais frequentes e severos estão causando interrupções nas cadeias de abastecimento, especialmente em países de baixa renda (FAO *et al*, 2023).

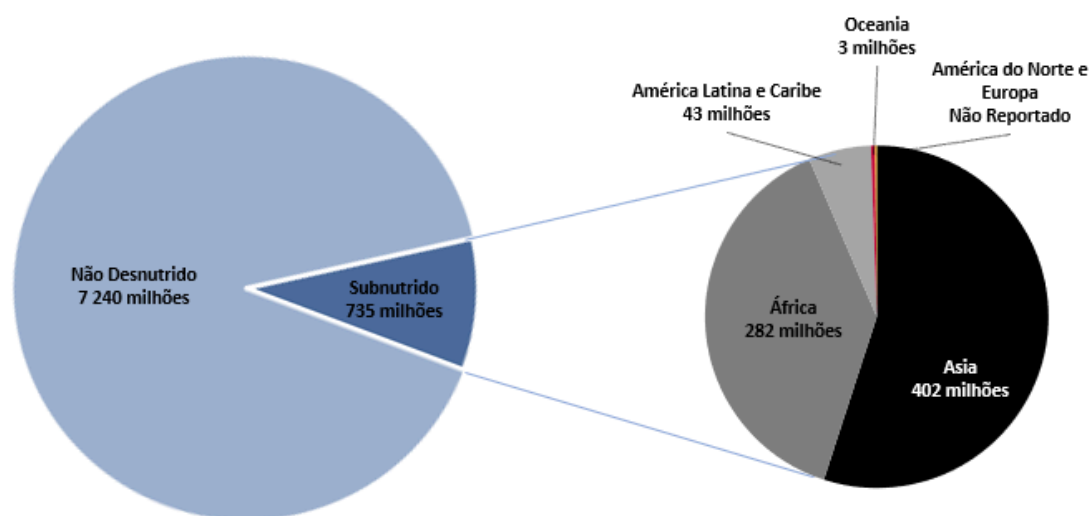
No ano de 2021, aproximadamente 29,6% da população mundial, correspondendo a cerca de 2,4 bilhões de indivíduos, experimentou níveis moderados ou severos de insegurança alimentar (Figura 3). Isso significa que essas pessoas não tiveram acesso a uma quantidade suficiente de comida. Embora o número tenha mantido uma certa estabilidade entre 2020 e 2022, mais de 391 milhões de pessoas adicionais foram afetadas pela insegurança alimentar moderada ou severa em 2022 em comparação com 2019, o ano que antecedeu o desenrolar da pandemia de COVID-19. Das pessoas afetadas por essa insegurança alimentar moderada ou severa, cerca de 38% enfrentaram níveis severos, o que significa que ficaram sem comida e, no pior dos casos, passaram um dia sem se alimentar. A prevalência global da insegurança alimentar severa aumentou de 9,3% para 10,9% entre 2019 e 2020 e alcançou 11,3% em 2022 (FAO *et al*, 2022).

Figura 3 - Gráfico de Fome no Mundo em 2022

Fonte: adaptado de FAO *et al*, 2022

Ao separar os dados por região, fica claro que existem diferenças persistentes entre as regiões do mundo, como mostram os dados apresentados na Figura 4 e no Quadro 3. Embora a proporção de pessoas em situação de insegurança alimentar na Ásia seja menos da metade da registrada na África, a Ásia ainda abriga a maioria das pessoas que enfrentam a fome. Em 2022, uma em cada cinco pessoas na África (19,7% da população) estava em situação de insegurança alimentar, em contraste com 8,5% na Ásia, 6,5% na América Latina e no Caribe, 7% na Oceania e menos de 2,5% na América do Norte e na Europa. Além disso, a África é a região que registrou o maior aumento na proporção de sua população sofrendo com a fome (FAO *et al*, 2023). Desde o lançamento da Agenda de Desenvolvimento Sustentável em 2015, a prevalência da insegurança alimentar na África aumentou em 4,4 pontos percentuais, enquanto na América Latina e no Caribe e na Ásia, os aumentos foram de 2,8 e 1,1 pontos percentuais, respectivamente (FAO *et al*, 2022).

Figura 4 - Gráfico da Fome em diferentes regiões do mundo em 2022



Fonte: adaptado de FAO *et al*, 2023

Quadro 3 - Prevalência De Subnutrição 2018 - 2022

	2018	2019	2020	2021	2022
Mundo	7,6%	7,9%	8,9%	9,3%	9,2%
África	16,6%	17%	18,7%	19,4%	19,7%
África do Norte	6%	5,8%	6,0%	6,9%	7,5%
África Sub-Sahara	19,1%	19,5%	21,6%	22,2%	22,5%
Ásia	7,1%	7,4%	8,5%	8,8%	8,5%
Ásia Central	3,1%	2,8%	3,3%	3,2%	3,0%
Leste Asiático	< 2,5%	< 2,5%	< 2,5%	< 2,5%	< 2,5%
Sudeste Asiático	5,5%	5,3%	5,3%	5,3%	5,0%
Sul da Ásia	12,3%	13,3%	15,6%	16,4%	15,6%
Oeste da Ásia	10,3%	10,3%	10,5%	10,2%	10,8%
América Latina e Caribe	5,9%	5,6%	6,5%	7,0%	6,5%
Caribe	14%	14,2%	15,2%	14,7%	16,3%
América Latina	5,3%	4,9%	5,9%	6,4%	5,8%
América do Sul	5%	4,9%	6,3%	7,0%	6,1%
Oceania	6,4%	6,4%	6,0%	6,6%	7,0%
América do Norte e Europa	< 2,5%	< 2,5%	< 2,5%	< 2,5%	< 2,5%

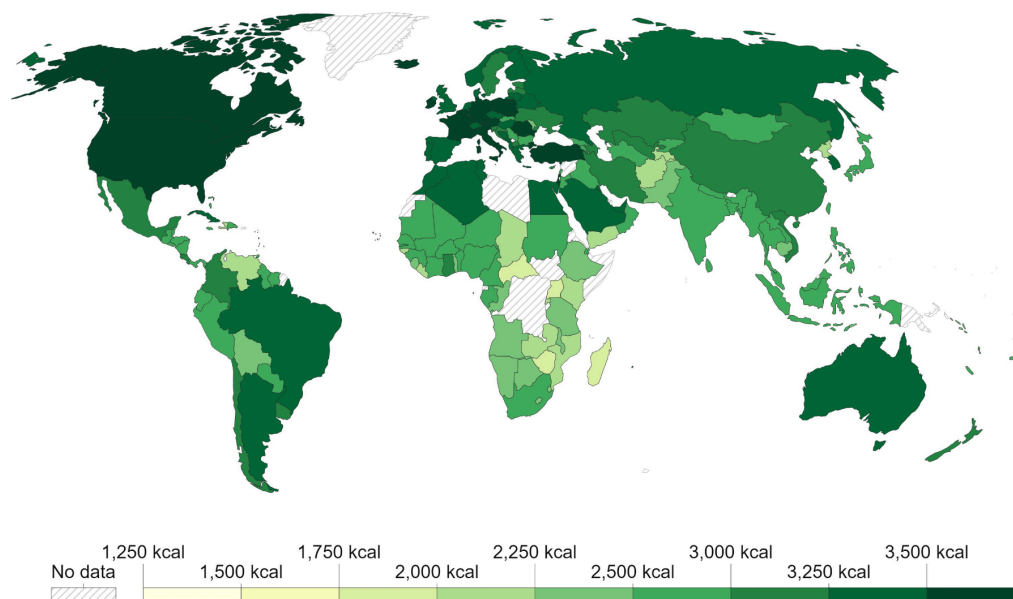
Fonte: dados do relatório FAO *et al*, 2023

É interessante também analisar quais regiões mais produzem alimentos. Uma das medidas mais básicas de abastecimento e segurança alimentar é a quantidade de calorias disponíveis por pessoa. Isso não representa a imagem completa da nutrição, uma dieta saudável necessita de mais do que só energia, mas obter calorias suficientes é um critério básico de segurança alimentar (RITCHIE, 2022). Nos mapas das Figuras 5 e 6 é possível notar que a maioria das regiões onde uma porcentagem maior de pessoas não podem pagar uma dieta com calorias suficientes são regiões com baixa produção de calorias, ou sem dados. Uma dieta é considerada inacessível se custar mais de 52% da renda familiar. O custo de uma dieta suficientemente energética é a maneira mais barata de um indivíduo atender às suas necessidades calóricas usando alimentos básicos em cada país.

Figura 5 - Fornecimento diário de calorias por pessoa, 2018

Daily supply of calories per person, 2018

Daily per capita caloric supply is measured in kilocalories per person per day. This indicates the caloric availability delivered to households but does not necessarily indicate the number of calories actually consumed.



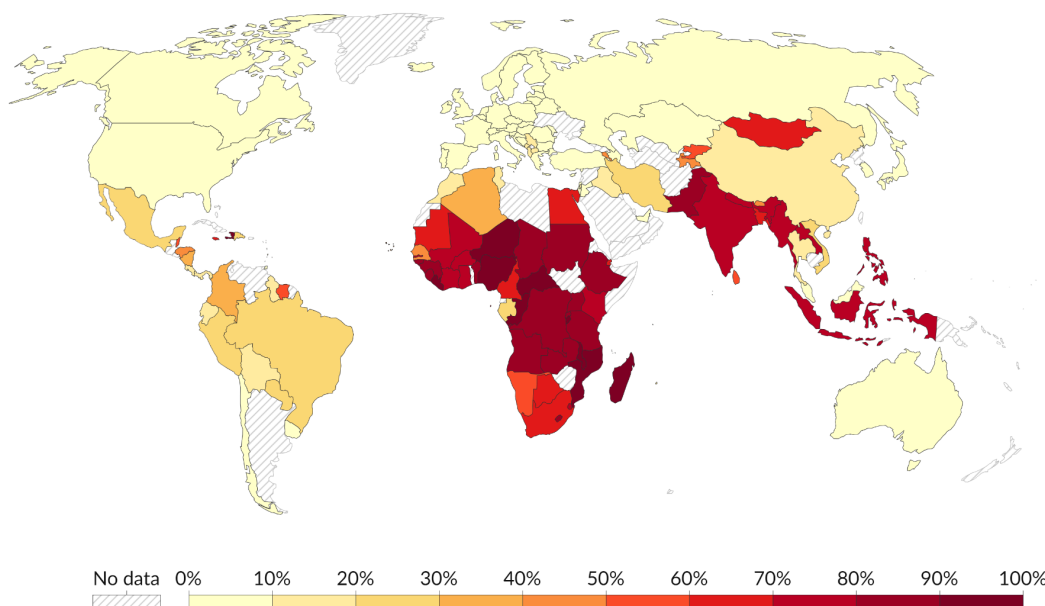
Fonte: RITCHIE, 2018

Figura 6 - Porcentagem da população que não pode pagar uma dieta com calorias suficientes, 2021

Share of population that cannot afford a healthy diet, 2021



A diet is deemed unaffordable if it costs more than 52% of a household's income. The cost of a healthy diet is the lowest-cost set of foods available that would meet requirements in dietary guidelines from governments and public health agencies.



Data source: World Bank, adapted from Herforth et al. (2022)

OurWorldInData.org/food-prices | CC BY

Fonte: RITCHIE, 2021

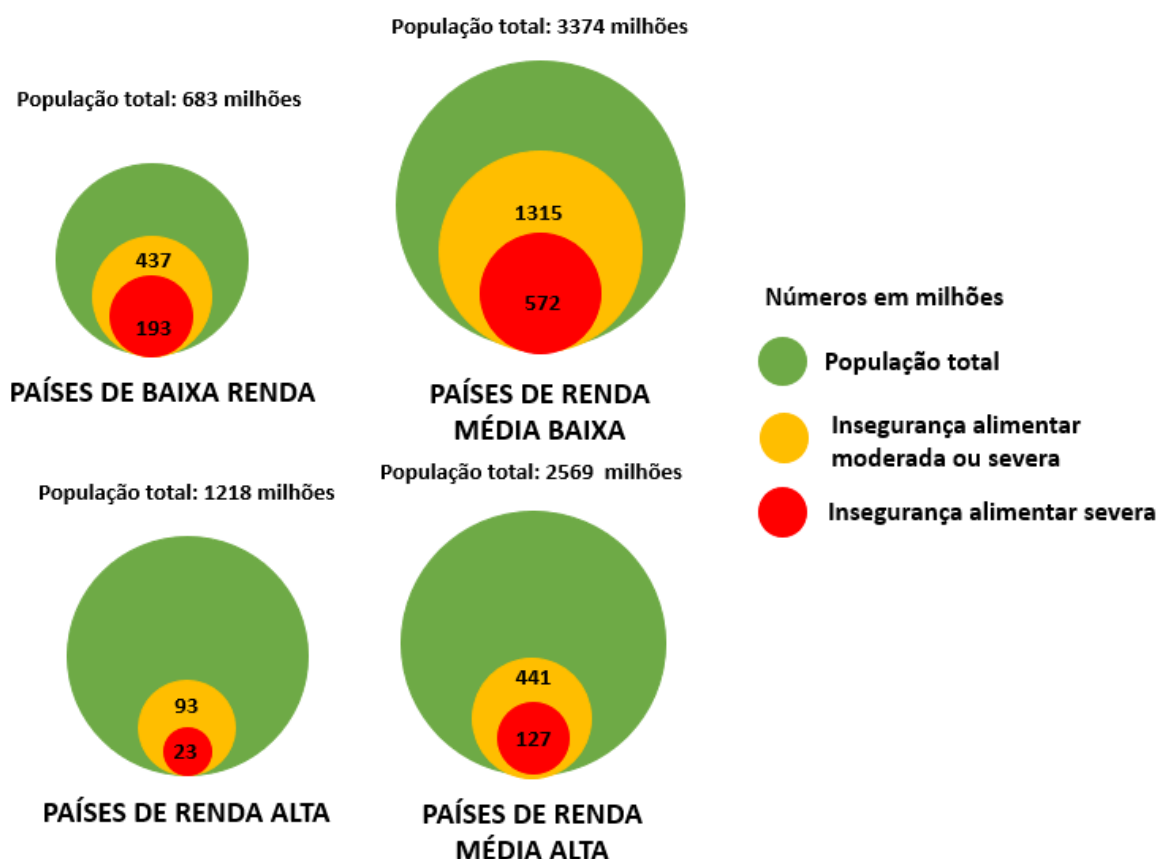
Dados da FAO de 2022 (Figura 7) também mostram diferentes padrões de gravidade da insegurança alimentar quando os países são agrupados por nível de renda. À medida que o nível de renda do país diminui, não só aumenta a prevalência da insegurança alimentar, mas também aumenta a proporção de insegurança alimentar grave em relação ao total combinado de moderada ou grave. Países de renda média baixa, que representam a maior parte da população global, representam mais da metade das pessoas em situação de insegurança alimentar no mundo.

Contudo, os países de renda baixa sofrem com um fardo muito maior. Com uma população combinada de apenas 683 milhões, cerca de 437 milhões de pessoas com insegurança alimentar viviam nesses países em 2021 – 64 por cento

da população desse grupo de rendimentos do país. E grande parte destas pessoas - 193 milhões, o que equivale a 44% da população sofrendo com insegurança alimentar nestas regiões – sofria de grave insegurança alimentar (FAO *et al*, 2022).

Em contraste, em países de renda alta viviam 93 milhões de indivíduos em situação de insegurança alimentar (menos de 8 por cento da população do grupo de rendimento desse país) e uma proporção menor de pessoas em situação de insegurança alimentar nesses países sofria de insegurança alimentar grave: 25% do total , o que equivale a 23 milhões de pessoas (FAO *et al*, 2022).

Figura 7 - Gráfico de insegurança alimentar separados por renda do país, 2021



Fonte: adaptado de FAO *et al*, 2022

Outro dado importante para a segurança alimentar é a taxa de obesidade. Os dados mais atuais são os de 2016, ano em que 676 milhões de adultos estavam

obesos. Desse número, 35% são de países de alta renda, 38% de países de renda média alta, 24% de países de renda média baixa e 3% de países de baixa renda (FAO, 2023). A segurança alimentar nem sempre implica uma dieta nutritiva, como demonstrado pelo fato de que a maioria dos adultos obesos no mundo reside em países de renda alta ou média-alta. Frequentemente, pessoas com excesso de peso consomem alimentos com alto teor calórico e baixo valor nutricional.

5.1.1 Segurança Alimentar no Brasil

Focando o estudo no cenário nacional, uma pesquisa global conduzida pela FGV Social e publicada em 2022 (NERI, 2022), revelou que em comparação com 120 países, tanto em desenvolvimento quanto desenvolvidos, a insegurança alimentar no Brasil em 2021 ultrapassou quatro vezes a média global. O número de pessoas que enfrentam dificuldades para adquirir alimentos para si e suas famílias tem aumentado nos últimos anos, como foi destacado na pesquisa. É enfatizado que milhões de brasileiros não conseguem garantir três refeições diárias, comparando esse grupo de pessoas a uma população equivalente a toda a França ou até mesmo à Inglaterra.

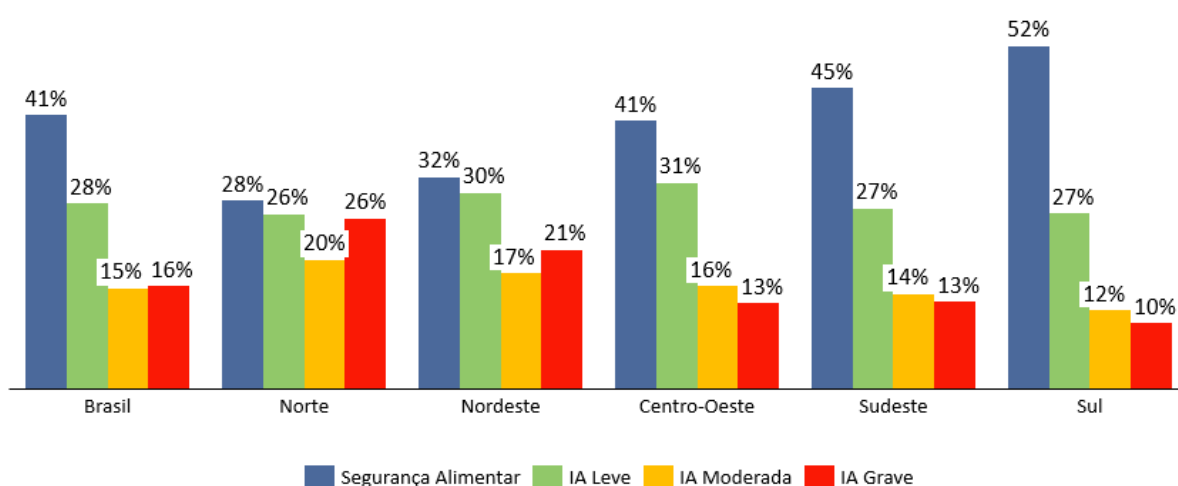
O Brasil continua enfrentando dificuldades em relação à má nutrição e à fome, segundo os dados apresentados na edição de 2023 do relatório O Estado da Segurança Alimentar e Nutrição no mundo redigido pela FAO. Conforme apresentado no relatório, uma das questões predominantes é a dificuldade de acesso a alimentos apropriados e ricos em nutrientes. Apesar de o Brasil se destacar como um dos principais produtores globais de alimentos, permanecem disparidades substanciais no que diz respeito à disponibilidade desses produtos. Muitos lares no Brasil enfrentam desafios ao tentar obter uma quantidade adequada e variada de alimentos para satisfazer suas necessidades nutricionais essenciais (FAO *et al*, 2023).

Entre 2020 e 2022, a subalimentação crônica, que representa o nível mais extremo da insegurança alimentar, afetava 4,7% da população brasileira, totalizando 10,1 milhões de pessoas que enfrentam a fome no país (PENSSAN, 2022). Durante esse período, um em cada dez brasileiros (9,9%) estava vivenciando uma situação

de insegurança alimentar severa. Além disso, quase um terço (32,8%) da população brasileira encontra-se nas categorias de insegurança alimentar severa ou moderada, o que equivale a 70,3 milhões de brasileiros. Esses dados indicam um agravamento no acesso à segurança alimentar no país, contrastando com os números anteriores de 2014 a 2016, que apontavam um percentual de 18,3%.

A segurança alimentar brasileira está atrelada à disparidade social e econômica do país. Foi feito o quadro da fome nos estados brasileiros com dados entre novembro de 2021 e abril de 2022, (PENSSAN, 2022). Esses dados, apresentados na Figura 8, evidenciam que, proporcionalmente, os estados do Norte e do Nordeste enfrentam os maiores índices de insegurança alimentar grave. Em Alagoas, 36,7% da população vivencia a falta de alimentos. No Piauí, esse percentual é de 34,3%, enquanto no Amapá atinge 32%. Em termos absolutos, a região Sudeste, sendo a mais populosa do país, apresenta um maior número de pessoas em situação de fome. São 6,8 milhões de pessoas no estado de São Paulo e 2,7 milhões no estado do Rio de Janeiro.

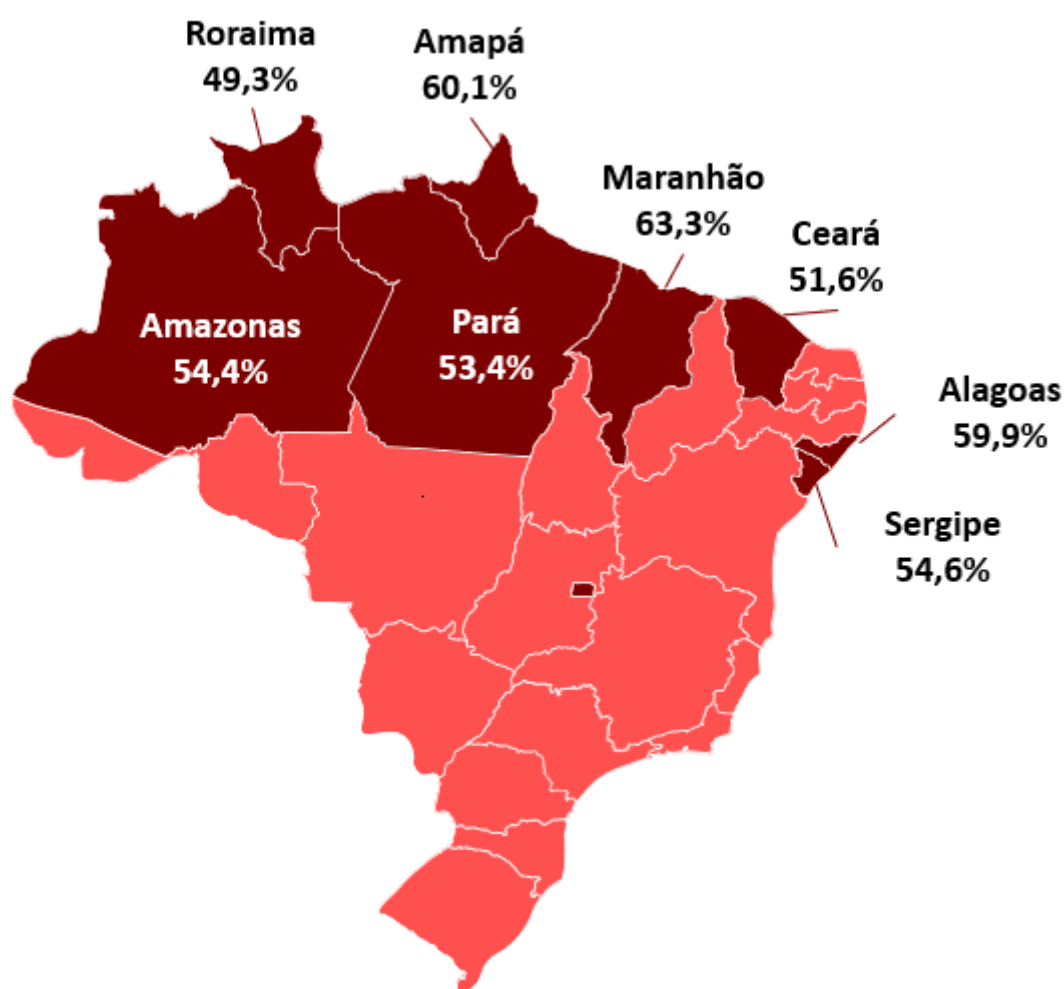
Figura 8 - Distribuição percentual da Segurança Alimentar e dos Níveis de Insegurança Alimentar (IA) no Brasil e Macrorregiões 2021/2022



Fonte: adaptado de PENSSAN, 2022

A Figura 9 destaca a alta proporção de Insegurança Alimentar moderada e grave, que ultrapassa 30,0%, nos lares com a presença de crianças menores de 10 anos, especialmente nos estados do Maranhão (63,3%), Amapá (60,1%), Alagoas (59,9%), Sergipe (54,6%), Amazonas (54,4%), Pará (53,4%), Ceará (51,6%) e Roraima (49,3%) (PENSSAN, 2022).

Figura 9 - Insegurança Alimentar Moderada e Grave nos Estados Brasileiros



Fonte: adaptado de PENSSAN, 2022

Diante do exposto, pode-se afirmar que apesar do panorama desafiador, o Brasil tem implementado medidas positivas para lidar com a insegurança alimentar. Iniciativas governamentais como o Bolsa Família e o Programa de Aquisição de

Alimentos (PAA) têm como propósito combater a fome e a pobreza, além de promover o acesso a alimentos saudáveis para as populações em situação de vulnerabilidade (PENSSAN, 2022).

Apesar de o mundo já produzir alimentos em quantidade suficiente para atender toda a população global, a insegurança alimentar é um problema sério. A distribuição inadequada, as perdas e o desperdício de alimentos contribuem para um cenário em que mais de 2 bilhões de pessoas enfrentam insegurança alimentar moderada ou grave, representando uma porcentagem significativa da população mundial.

Os dados destacam ainda mais como as diferenças econômicas impactam na segurança alimentar. Países de baixa renda possuem 64% da sua população em insegurança alimentar, enquanto países de renda alta possuem menos de 8% da população em insegurança alimentar.

Outro fator que exerce um impacto adverso na produção de alimentos e, conseqüentemente, na segurança alimentar, são as mudanças climáticas. Portanto, é muito importante que o mundo reduza sua dependência de recursos fósseis, uma vez que o aumento da temperatura média da Terra tem repercussões significativas na agricultura.

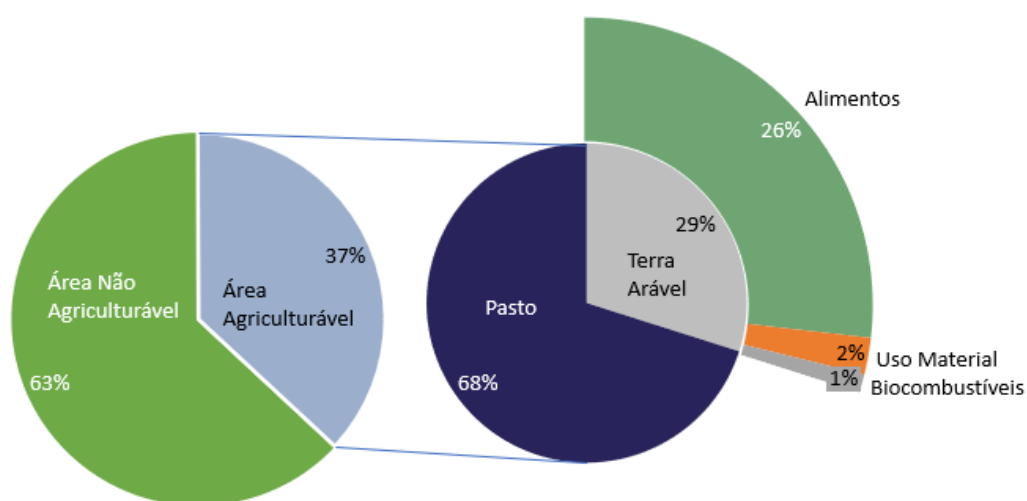
De maneira geral, produtos produzidos a partir de biomassa, que muitas vezes são criticados devido ao uso dos recursos alimentares, são alternativas interessantes para substituir o uso de matérias-primas fósseis, e assim contribuir para a diminuição do efeito estufa e das emissões de carbono, de forma que se torna de grande importância a avaliação do impacto que produção de produtos a partir da biomassa tem sobre a produção de alimentos.

5.2 IMPACTO DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA DISPONIBILIDADE E ACESSIBILIDADE DE ALIMENTOS

O uso de culturas cultivadas em terras aráveis - tanto alimentícias quanto não alimentícias - para fins materiais é uma prática ancestral e um componente importante da economia tradicional (DAMMER *et al*, 2023).

Como mostrado na Figura 10, o cultivo mundial de alimentos, ração e pastagem representa cerca de 94% da área agrícola global. A biomassa cultivada exclusivamente para uso material contribui com aproximadamente 2%, e 1% é atribuível aos biocombustíveis (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2020)

Figura 10 - Distribuição Global do solo



Fonte: EUROPEAN BIOPLASTICS, 2020 (adaptado)

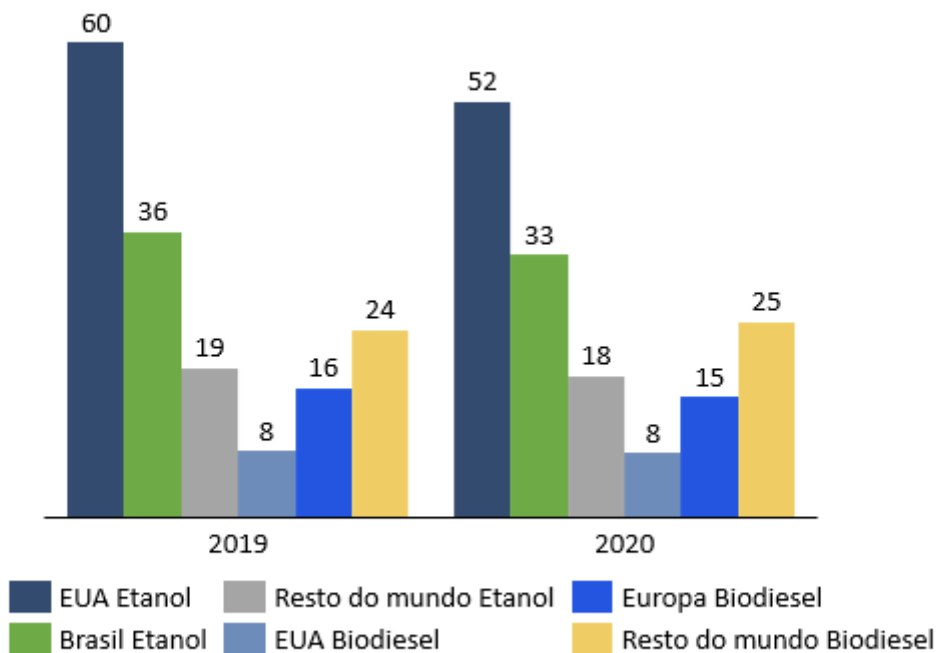
Segundo a *European Bioplastics* (2020), a produção global de bioplásticos em 2019 foi de 2,2 milhões de toneladas, ou seja, 0,6% da produção global de plásticos (~350 milhões de toneladas por ano). Isso equivale a aproximadamente 0,8 milhões de hectares de terra, então a área requerida para o cultivo da matéria-prima necessária para a produção atual de bioplásticos representa um pouco mais de 0,01% da extensão total da área agrícola global, que é de 5 bilhões de hectares.

A previsão é que até 2027, a produção total de bioplásticos alcance 6,3 milhões de toneladas, supondo um crescimento contínuo e robusto do mercado de bioplásticos (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2020). Isso representa 0,06% da área agrícola global. Esta projeção não contempla o esperado aumento na contribuição de resíduos alimentares, cultivos não alimentares ou biomassa celulósica, o que

resultará em uma demanda menor de terra para a produção de bioplásticos em comparação com a quantidade previamente mencionada.

Observando a produção de etanol e biodiesel mundialmente no ano de 2020, os dados publicados pela *International Energy Agency* (IEA) em 2021 apresentados na Figura 11 mostram que os países que mais produzem esses biocombustíveis são Brasil, Estados Unidos e Europa.

Figura 11 - Produção de biocombustíveis por país/região 2019 - 2020 em bilhões de litros



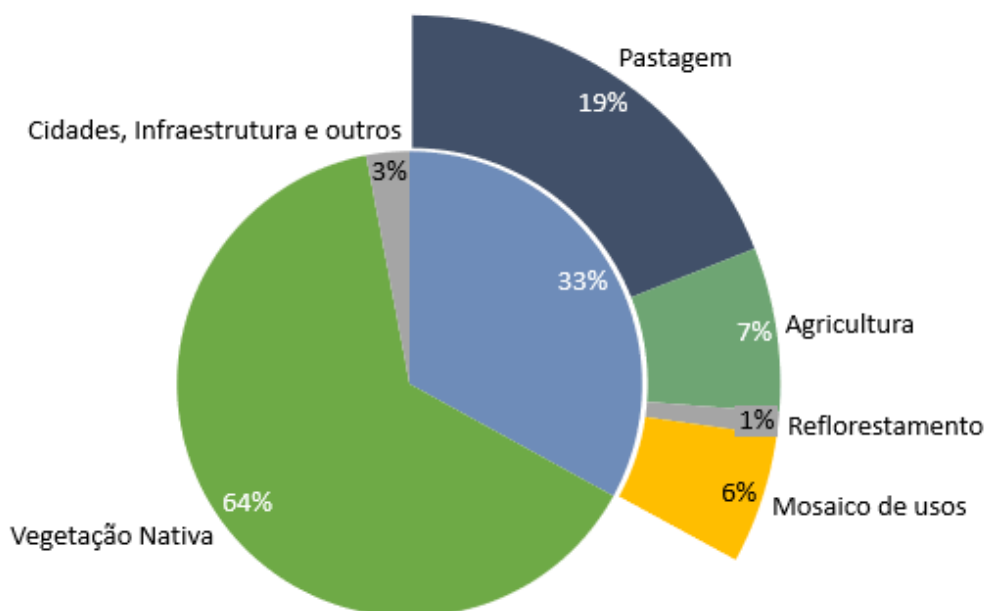
Fonte: IEA, 2021 (adaptado)

Olhando para o cenário nacional, os dados do Anuário estatístico da ANP (2020b) apresentam que as regiões que mais produzem biodiesel, que é produzido principalmente a partir de soja no Brasil, são Centro-Oeste e Sul. Já o etanol são as regiões Sudeste e Centro-Oeste (CONAB, 2021).

Segundo Lessa (2007), o custo de produção do etanol de cana é inferior ao do etanol de milho, indicando que o Brasil continuará a produzir milho para alimentação, destacando-se simultaneamente na produção de bioenergia. Porém, segundo Forest *et al* (2014), no caso do Brasil, a falta de preocupação do governo com o zoneamento ecológico econômico poderá desencadear problemas na produção de culturas alimentares.

Avaliando dados do cenário brasileiro, em 2022, 64% das terras do país são cobertas por vegetação nativa, e 33% é usado para cultivo (MAPBIOMASS, 2023). Segundo a publicação “Mapa Anual De Uso E Cobertura Do Solo No Brasil De 1985 A 2022”, da MapBiomass (2023), essa área voltada para cultivo é representada por pastagem (19%), agricultura (7,18%), reflorestamento (1,03%) e mosaico de usos (5,68%), como apresentado na Figura 12.

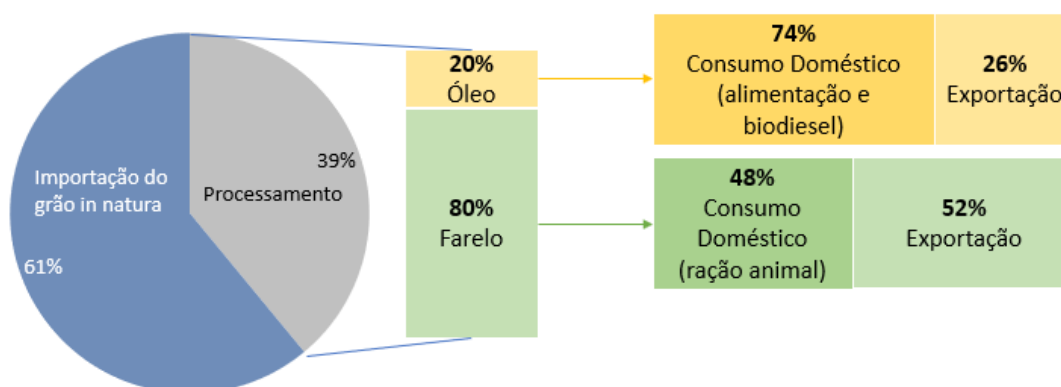
Figura 12 - Uso de Terras no Brasil, 2022



Fonte: autoria própria, dados da MAPBIOMASS, 2023

Nesta mesma publicação, é feita a separação do solo também pelas culturas plantadas, sendo essas lideradas por soja (4,63%) e cana de açúcar (1,08%). A grande produção de soja está ligada a grande versatilidade do grão, que pode ser usada para a produção de óleos vegetais, criação animal e em dietas veganas e vegetarianas, e também para produzir biodiesel. É o principal grão de exportação do país, e é a principal matéria-prima para a produção de biodiesel no país. Mesmo sendo o principal insumo para a produção de biodiesel no Brasil, menos de 6% da sua produção de 2022 foi voltada para a produção do biocombustível (Figura 13) (BOSCHIERO, 2023).

Figura 13 - Uso da soja brasileira, 2022



Fonte: BOSCHIERO, 2023 (adaptado)

Já o principal uso da cana-de-açúcar no Brasil é para a produção de açúcar e álcool. É a principal matéria-prima para a produção de etanol no país, sendo também usada para a produção de etanol de segunda geração E2G (RAÍZEN, 2021).

A discussão em torno do uso de recursos agrícolas para a produção de materiais de origem biológica é de extrema relevância, principalmente quando se pensa no potencial que essa indústria possui. Porém, atualmente, ainda não é possível notar um impacto significativo dessa indústria na produção de alimentos.

Os dados apresentados neste trabalho mostram pouco desvio dos recursos para a produção de bioprodutos. De toda a área agrícola global, 97% é para o cultivo mundial de alimentos, ração e pastagem, enquanto apenas 3% é para uso material.

Os biocombustíveis, que são os bioprodutos que mais atraem atenção do mercado das biorrefinarias, representam apenas 1% do uso de terra arável global, como apresentado pela European Bioplastics (2020). Para comparação, os bioplásticos representam apenas 0,01% da extensão total da área agrícola.

O cenário brasileiro apresenta um comportamento similar. Dos 33% da área usada para cultivo, 19% é usado para pasto, e 7% para agricultura. As principais culturas cultivadas no Brasil são soja e cana-de-açúcar, a soja tendo uma produção muito mais significativa. Ambas culturas são usadas, entre outras finalidades, para a produção de etanol e biodiesel, respectivamente.

No cenário brasileiro, é interessante destacar que, apesar de a soja ser a principal cultura cultivada no país, sua grande produção não está diretamente relacionada à produção de biodiesel. Isso é enfatizado pela área de cultivo da cana-de-açúcar, que ocupa aproximadamente 14% da área utilizada pela soja, e representa uma produção muito maior de biocombustíveis.

Uma das questões levantadas com o crescimento da indústria de biocombustíveis, foi o receio de agricultores diminuírem o cultivo de outras culturas para aumentarem a produção de soja e de cana-de-açúcar. Baseado no estudo feito por Pauli *et al* (2020), existe um aumento da área cultivada dessas culturas ao relacionar com a produção de biodiesel e etanol, porém não há indícios que as culturas que tiveram suas áreas substituídas tenham sua oferta de produtos impactada negativamente.

A grande produção de etanol no país está associada às condições climáticas favoráveis para o cultivo extensivo da cana-de-açúcar, e também é um biocombustível de menor impacto ambiental, com um balanço energético muito melhor que o do milho, por exemplo.

Além disso, devido ao RenovaBio e seus créditos (CBIOs), os biocombustíveis atraem um interesse econômico, já que podem ser negociados e vendidos na bolsa, além de compensar as emissões de carbono das empresas.

Associando esses dados de regiões que mais produzem biocombustíveis no Brasil e no mundo, é possível notar que não há uma relação direta entre insegurança alimentar e produção de biocombustíveis. Regiões como Estados Unidos, Brasil e Europa são as principais produtoras de etanol e biodiesel, mas os dados da FAO mostram que não são as principais regiões sofrendo com a insegurança alimentar.

De forma similar, no cenário nacional, as regiões do Brasil que mais produzem biocombustíveis são Centro-Oeste, Sul e Sudeste, enquanto as regiões com maior porcentagem de insegurança alimentar são o Norte e o Nordeste.

É interessante ressaltar que as disparidades entre os estados estão diretamente associadas às diversas manifestações de desigualdades sociais, as quais resultam dos processos históricos amplamente reconhecidos que influenciaram as dinâmicas populacionais, estruturas socioeconômicas e políticas do país. Os resultados apresentados nesta análise podem fornecer subsídios para a compreensão das realidades específicas de cada região e estado brasileiro, servindo, por conseguinte, como base para a elaboração de políticas públicas mais eficazes.

A estabilidade de mercado que os bioprodutos proporcionam aos agricultores também é benéfica, dessa forma, devido a renda consistente, eles possuem segurança de investir em tecnologias que melhorem os rendimentos das culturas, aumentando a produção sem necessariamente expandir o uso das terras.

Porém, de maneira geral, cerca de 28% da área agrícola global é dedicada à produção de alimentos que acabam sendo perdidos ou desperdiçados. Ao contrastar esse valor com a área destinada à produção de biocombustíveis, torna-se evidente que o desperdício exerce um impacto consideravelmente mais significativo.

Além da área utilizada, todos os recursos empregados no cultivo são desperdiçados, representando quantidades consideráveis. Frequentemente, a discussão se concentra no impacto do desvio da produção para outros fins, enquanto o desperdício e a perda de alimentos surgem como um dos principais impulsionadores da fome, demandando maior atenção.

Nas regiões de baixa renda, as causas do desperdício de alimentos frequentemente estão associadas à infraestrutura inadequada, à falta de equipamentos adequados ou à ausência de armazenamento refrigerado. Essas questões afetam de maneira desproporcional os habitantes de nações de baixa renda, uma vez que as perdas nas colheitas resultam na redução da renda dos agricultores e no aumento dos preços para os consumidores.

Mesmo que a produção de biocombustíveis possa ter um crescimento significativo no futuro, esse crescimento será gradual, e acompanhado de desenvolvimentos tecnológicos (DAMMER *et al*, 2023). O problema do desperdício é agora, e precisa ser abordado de maneira adequada.

5.3 POSSÍVEIS ALTERNATIVAS E SEUS DESAFIOS DO PONTO DE VISTA DA ENGENHARIA QUÍMICA

Para lidar com a insegurança alimentar e também combater as emissões de gases de efeito estufa, é preciso um conjunto de soluções. E essas estratégias vão variar de acordo com a região e devem ser aplicadas de forma coerente. Por exemplo, um país que não tem o ambiente viável para o cultivo de cana-de-açúcar não conseguirá produzir etanol a partir dessa cultura, e terá que buscar outras alternativas, como etanol a partir de trigo ou beterraba, conforme acontece na Europa.

Além de combustíveis que sejam menos prejudiciais ao meio ambiente, questões como diminuir o desperdício e melhor acesso a alimentos de qualidade podem e devem ser estudadas.

Um exemplo de biocombustível que é uma boa solução é o E2G, que já é estudado e comercializado, porém possui altos custos atrelados a sua produção, o que é um gargalo importante para o aumento desse mercado (RAMOS *et al*, 2021). No Brasil, os produtores de E2G se beneficiam dos créditos gerados por esse biocombustível, mas só isso não é suficiente para a expansão da produção, já que no mercado ele não se diferencia do etanol convencional, logo o preço não condiz com o que é gasto para produzi-lo.

Essa tecnologia precisa ser otimizada, e profissionais, como engenheiros químicos, têm um importante papel a desempenhar. Etapas de pré-tratamento mais eficientes melhorariam a desconstrução celular, minimizando a produção de inibidores, aumentando o rendimento desta etapa.

Outra etapa que encarece a rota produtiva é a hidrólise enzimática, uma vez que as enzimas são solúveis em água, então só podem ser usadas uma vez no processo (PROPEQ, 2023). Para isso, é importante selecionar e melhorar os microrganismos.

Uma outra solução apresentada na revisão bibliográfica deste trabalho foi a SCP. À medida que a população cresce, a procura por alimentos cresce também, e a proteína microbiana começou a ser estudada justamente para suprir a lacuna entre a oferta e a demanda de alimentos ricos em proteínas. Porém, o custo de produção da SCP ainda é mais alto do que as fontes tradicionais de proteína.

A produção de SCP pode ser realizada pelo processo representado na Figura 14 por meio do cultivo em massa de microrganismos unicelulares. A fermentação pode ser realizada em batelada, batelada alimentada ou contínua. Em geral, o caldo final de fermentação compreende 1 a 5% de sólidos, os quais são separados, lavados, secos e utilizados como estão ou misturados com outros materiais. Para secar o material, são empregados métodos de secagem por tambor ou por pulverização, considerando o menor custo operacional de converter o produto em forma de pó. O produto final está livre de células, é rico em valor nutricional e tem cor clara (KUMAR *et al*, 2023).

Figura 14 - Diagrama esquemático do processo de produção de Single Cell Protein (SCP)



Fonte: adaptado de Kumar *et al*, 2023

A fermentação deve ser conduzida em condições axênicas para evitar qualquer crescimento microbiano indesejado, pois tal crescimento pode contaminar a SCP e ter consequências adversas para a saúde humana. Existem três tipos relatados de fermentação para a produção de SCP: submersa, semi-sólida e de estado sólido. A fermentação submersa apresenta um melhor controle no manuseio do processo, porém requer altos custos de capital e operacionais (KUMAR *et al*, 2023).

A fermentação é um procedimento bioquímico extremamente delicado que requer a utilização de fermentadores totalmente automatizados, assegurando um controle rigoroso. Além das características dos microrganismos representarem um papel importante na produtividade e rendimento, como por exemplo ampla tolerância ao pH, alta digestibilidade e elevado valor nutricional, os parâmetros do processo

também têm grande influência, como temperatura, pH do meio e taxa de aeração. Adicionalmente, outros quesitos como a fonte de carbono e nitrogênio utilizada para cultivar os microrganismos (KUMAR *et al*, 2023). A cepa microbiana também deve apresentar a capacidade de ser cultivada em diversas fontes de carbono, tolerância a alta densidade celular, adequado processamento subsequente, estabilidade durante o cultivo, ser não patogênica e não tóxica, sendo classificada como GRAS (geralmente reconhecida como segura) (KUMAR *et al*, 2023).

Os profissionais da área, como engenheiros químicos, são responsáveis por projetar e otimizar os biorreatores, desenvolver e implementar estratégias para maximizar o rendimento e a qualidade da proteína, e garantir que a SCP produzida seja segura para o consumo (FOOD MICROBIOLOGY ACADEMY, 2023).

No âmbito de um futuro sustentável, a SCP detém o potencial para desempenhar um papel crucial. Com o contínuo crescimento da população global, a demanda por proteína aumentará, exercendo pressão sobre as fontes convencionais, como carne e soja. A SCP surge como uma alternativa sustentável, demandando menos recursos e causando menor impacto ambiental (FOOD MICROBIOLOGY ACADEMY, 2023).

Apesar dos inúmeros benefícios, a produção e o consumo de SCP enfrentam desafios e limitações significativas. Um dos principais obstáculos é o custo elevado da produção de SCP, atualmente mais cara do que fontes tradicionais de proteínas. Além disso, a SCP apresenta um sabor distintivo que pode não agradar a todos os consumidores, e surgem preocupações quanto à sua segurança, especialmente relacionadas a possíveis contaminantes e alérgenos (FOOD MICROBIOLOGY ACADEMY, 2023).

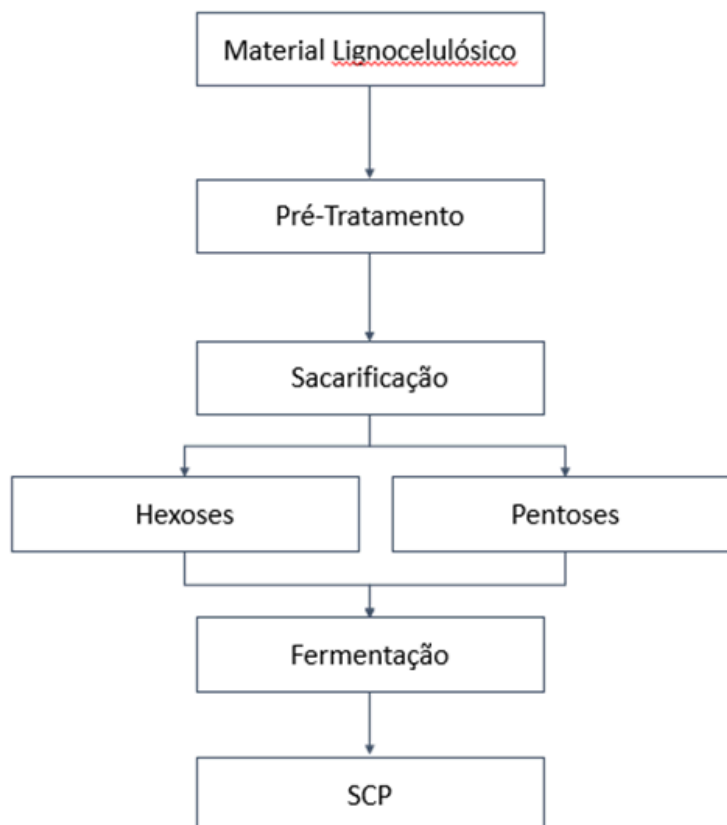
Segundo KUMAR *et al* (2023), recentemente vários resíduos têm sido explorados como fonte de carbono para a produção de SCP. Dentre eles estão resíduos de alimentos, resíduos aquícolas e resíduos agrícolas, sendo o último uma fonte de carbono muito disponível e mais barata para a produção de SCP. Dentre os resíduos agrícolas, a biomassa lignocelulósica, como palha e bagaço da cana, possui alta disponibilidade e baixo custo, se tornando uma interessante

matéria-prima para a produção de SCP. Resíduos de frutas são considerados LCM com algumas variações, por serem muito semelhantes (KUMAR *et al*, 2023).

Em relação ao uso de biomassa 2G, um dos desafios é referente ao pré-tratamento. Açúcares presentes nas paredes celulares das plantas são muito difíceis de extrair, pois o material lignocelulósico, que contém mais de 60% de açúcares fermentáveis, é recalcitrante e altamente cristalino. É necessário então um processo de pré-tratamento para solubilizar os açúcares e abrir a fibra para ação enzimática microbiana. Já os resíduos de frutas são compostos por carboidratos como pectina insolúvel, celulose e hemiceluloses ricas em ácido galacturônico, arabinose e galactose. Esses resíduos de frutas precisam de um pré-tratamento de baixa severidade para o processamento, pois contêm alguns compostos antimicrobianos que podem inibir o crescimento dos microrganismos. Esse processo funciona como esterilização da matéria-prima, removendo os compostos antimicrobianos das cascas e podendo ser utilizado como fonte de carbono para a produção de proteínas (KUMAR *et al*, 2023).

A Figura 15 contém o diagrama de blocos para a produção de SCP a partir de biomassa. A biomassa pré-tratada deve ser condicionada para realizar a fermentação e produzir SCP, pois o pré-tratamento gera inibidores de microrganismos fermentativos. Após o pré-tratamento é necessário realizar sacarificação enzimática usando celulasas para liberar todos os açúcares presentes na biomassa pré-tratada, pois os microrganismos não consomem polímeros como celulose, amido, hemicelulose e pectina. Essas celulasas são várias enzimas, que também adicionam ao custo de produção (KUMAR *et al*, 2023).

Figura 15 - Diagrama de blocos da conversão de biomassa para Single Cell Protein (SCP)



Fonte: Kumar *et al*, 2023 (adaptado)

De acordo com Kumar *et al* (2023), a produção de SCP a partir de biomassa pode não ser possível para o consumo humano, devido a vários desafios. Dentre eles estão: o custo de produção, desenvolver microrganismos que possam trabalhar em uma faixa mais ampla de parâmetros do processo e a impossibilidade de obter a proteína pura, pois parte dos inibidores e compostos da biomassa acompanharão a proteína. Porém, pode ser uma ótima fonte de proteína para animais e pesca (KUMAR *et al*, 2023).

Diante do exposto, profissionais como engenheiros químicos desempenham um papel importante no desenvolvimento dessa tecnologia. Otimização dos pré-tratamentos é fundamental para reduzir os custos do processo. Se a ideia é que

essas proteínas sejam mais acessíveis, elas não podem ser mais caras do que as proteínas tradicionais.

5.4 DESAFIOS TECNOLÓGICOS DO PONTO DE VISTA DA ENGENHARIA QUÍMICA

Pensando no comportamento atual da sociedade, o crescimento da demanda por alimentos também resultaria em um aumento do desperdício, a menos que medidas sejam tomadas. E essas medidas devem ser de acordo com as etapas onde esse desperdício ocorre.

Em países subdesenvolvidos, esse desperdício é principalmente na produção, devido a falta de acesso a refrigeradores, armazenamentos de qualidade, tecnologia e investimento. Já em países desenvolvidos, a maior parte do desperdício ocorre no consumo, seja em casa ou nos próprios mercados.

A engenharia química desempenha um papel crucial na criação, desenvolvimento e implementação de processos e tecnologias para conter o desperdício de alimentos (CONSEQ). Algumas maneiras pelas quais a engenharia química pode contribuir para reduzir o desperdício de alimentos são, em diversas etapas:

- Monitoramento e Previsão de Demanda: Tecnologias de monitoramento de demanda promovem a otimização da gestão de estoque e redução de perdas por obsolescência.
- Eficiência no Processo de Produção: Implementação de práticas e tecnologias que reduzem perdas durante e após a colheita, através de uma melhor eficiência na produção agrícola.
- Processamento de alimentos: Utilizar técnicas para a conservação dos alimentos, como congelamento, desidratação, refrigeração e embalagens inovadoras que possam preservar o alimento por mais tempo. Desenvolvimento de tecnologias de processamento que aumentem a durabilidade dos alimentos sem comprometer sua qualidade.

- Controle de Qualidade: Usar sistemas de monitoramento e controle de qualidade para garantir que os alimentos atendam aos padrões desejados, e dessa forma diminuir os alimentos descartados por defeitos ou deterioração.
- Tecnologias de Embalagem Sustentável: Desenvolvimento de embalagens que protejam contra contaminações, embalagens biodegradáveis e comestíveis, que prolonguem a vida útil dos alimentos.
- Tecnologias de armazenamento: Desenvolvimento de sistemas de armazenamento eficientes com controle de temperatura e umidade para minimizar o estrago e a perda dos alimentos durante o transporte e estocagem.
- Logística e Cadeia de Abastecimento: Implementação de sistemas de rastreabilidade, planejamento eficiente da logística, para reduzir o tempo entre a colheita e a distribuição, e minimizar as perdas associadas à deterioração durante o transporte.
- Reciclagem e Valorização de Resíduos: Desenvolvimento de produtos com valor agregado a partir de subprodutos, como biogás, e transformam partes comumente descartadas em novos produtos.

Para mitigar grande parte desses tópicos, o poder público poderá contribuir. É importante incentivos financeiros para o desenvolvimento de tecnologia, e também garantir saneamento básico, fornecimento de água de qualidade e auxílio alimentar para as populações em situações de insegurança alimentar.

6. CONCLUSÃO

Os dados analisados ao longo deste estudo não indicaram um impacto significativo da produção de biocombustíveis na segurança alimentar, pelo menos não no cenário atual. Embora a expansão desse mercado no futuro possa vir a ter repercussões mais expressivas, é importante notar que tal crescimento ocorreria de maneira gradual, não fornecendo evidências sólidas para sustentar a ideia de um impacto substancial.

Por outro lado, os dados destacam claramente que as perdas e desperdícios de alimentos têm um impacto considerável, oferecendo uma área vasta para a engenharia química explorar soluções inovadoras.

Tecnologias como E2G e proteínas microbianas apresentam-se como alternativas promissoras no controle do aquecimento global e no aumento da demanda de alimentos, embora ainda precisem de um desenvolvimento mais aprofundado e aprimoramento.

Entretanto, é crucial mencionar que essas indústrias enfrentam desafios significativos, principalmente relacionados aos custos de produção elevados, o que as torna dependentes de substanciais investimentos e incentivos. Isso, por sua vez, pode desacelerar o progresso neste setor.

Por fim, o governo desempenha um papel importante no conjunto de soluções. É de extrema importância que o poder público invista em pesquisas e adote medidas para garantir o saneamento básico, fornecer assistência alimentar, assegurar o acesso a água de qualidade e promover uma distribuição mais eficiente de alimentos. Essas ações são fundamentais para abordar efetivamente os desafios relacionados à segurança alimentar e ao desperdício de alimentos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudos que desenvolvam e proponham alternativas baratas e sustentáveis, compatíveis com a realidade dos países subdesenvolvidos, com o objetivo de melhorar a cadeia de distribuição e a vida útil dos alimentos nas prateleiras.
- Integração de Culturas Energéticas e Alimentares: Explorar estratégias para integrar culturas utilizadas na produção de bioetanol com culturas alimentares, buscando otimizar o uso da terra e dos recursos.

REFERÊNCIAS

ALFANO *et al.* **The future of second-generation biomass.** McKinsey & Company. 2016. Disponível em:
<[https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/the-future-of-second-generation-biomass#/>](https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/the-future-of-second-generation-biomass#/).

Andretti *et al.* **Ecological study of the association between socioeconomic inequality and food deserts and swamps around schools in Rio de Janeiro, Brazil.** *BMC Public Health* 23, 120. 2023.
<https://doi.org/10.1186/s12889-023-14990-8>

ANP- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico 2020b.**
<<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2020>>

BOSCHIERO, B. **Subprodutos da soja: conheça os destinos e usos da soja brasileira.** 2023. Disponível em:
<<https://agroadvance.com.br/blog-subprodutos-da-soja/>>

BRASIL. **O RenovaBio. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.** 2023 Disponível em:
<<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/funcionamento>>. .

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia - MME. RenovaBio.** Disponível em:
<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1#:~:text=O%20RenovaBio,biocombust%C3%ADveis%20na%20matriz%20energ%C3%A9tica%20brasileira.>

CANILHA *et al.* **Bioconversion of Sugarcane Biomass into Ethanol: An Overview about Composition, Pretreatment Methods, Detoxification of Hydrolysates, Enzymatic Saccharification, and Ethanol Fermentation.** 2012.

CHANDEL *et al.* **Brazilian biorefineries from second generation biomass: critical insights from industry and future perspectives.** 2021.

CHERUBINI, F. **The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals.** 2010.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de Cana-de-açúcar.** 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar Safra 2012/2013 - Quarto Levantamento.** 2013.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar Safra 2022/2023 - Quarto Levantamento.** 2023.

CONSEQ. **A engenharia química na área de alimentos.** Disponível em: <<https://conseqconsultoria.com.br/engenharia-quimica/>>

DAMMER *et al.* **The Use of Food and Feed Crops for Bio-based Materials and the Related Effects on Food Security.** Renewable Carbon Initiative (ed.), Hürth 2023;

DURANTE - DI FAVARI, I. **Biorrefinarias: A utilização de lodo de esgoto para a produção de ácidos graxos voláteis, polihidroxicanoatos e biocrude.** 2023.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Renewable Feedstock.** 2020. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/feedstock/>>

FAO *et al.* **The State of Food Security and Nutrition in the World.** 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0639en>

FAO *et al.* **The State of Food Security and Nutrition in the World 2023.** Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. 2023. <https://doi.org/10.4060/cc3017en>

FLEXOR, Georges (2007). **A Conturbada Trajetória do Álcool Combustível no Brasil e seus Desafios Atuais.** Rio de Janeiro, CPDA/UFRRJ: OPPA, nº2.

FOOD MICROBIOLOGY ACADEMY. **From microbes to meals: Understanding the benefits and challenges of single cell protein for a sustainable future.** 2023.

Disponível em:

<<https://foodmicrobiology.academy/2023/04/05/from-microbes-to-meals-understanding-the-benefits-and-challenges-of-single-cell-protein-for-a-sustainable-future/>>.

FOREST et al. **Segurança alimentar e sua relação com a expansão do programa de biocombustíveis.** Revista de Política Agrícola, Ano XXIII – n. 3, jul./ago./set. 2014.

Greenpeace (2019) - **Greenpeace. Throwing Away The Future: How Companies Still Have It Wrong On Plastic Pollution “Solutions”.** 2019. Disponível em:

<<https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/2019/09/report-throwing-away-the-future-false-solutions-plastic-pollution-2019.pdf>>

IEA. **Renewable Energy Market Update.** 2021.

KUMAR *et al.* **Opportunities and challenges in single-cell protein production using lignocellulosic material.** Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2023.

Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bbb.2563>>.

LESSA. **Etanol, geopolítica e nação.** 2007.

MACHADO *et al.* **Contextualização, mercado e gargalos de P&D do etanol lignocelulósico.** 2016. Disponível em:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1054229>>

MAPBIOMASS. **Annual Land Use And Land Cover Mapping Of Brazil - Collection 8.** 2023. Disponível em:

<https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/Fact_ing_versao-final.pdf>

MELO, N. **ETANOL 2G: PROCESSO PRODUTIVO E SEU CONTEXTO ATUAL NO BRASIL.** 2020.

MONTES, A. C. R. **Avaliação do processo de obtenção de etanol de 2a geração utilizando bagaço de cana.** 2017. Dissertação (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

Neri, Marcelo C. **Insegurança Alimentar no Brasil: Pandemia, Tendências e Comparações Internacionais**. 2022. FGV Social. Disponível em <<https://cps.fgv.br/FomeNaPandemia>>

O'SULLIVAN, L. Fact Sheet: **Global Food Waste, Management, and Environmental Impact**. 2023. Disponível em: <<https://en.reset.org/global-food-waste-and-its-environmental-impact-09122018/>>.

PAULI *et al.* **A segurança alimentar e nutricional (san) vem sofrendo restrições pela produção de biocombustíveis? Uma análise a partir do modelo de zockun**. RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico, v. 2, n. 46, 2020.

PENSSAN. **Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia da Covid-19 no Brasil**. 2022.

PRAJ INDUSTRIES. **Bioproducts: Sustainable Solutions for a Greener Environment**. 2023. Disponível em: <[PROPEQ. **Etanol de segunda geração: o combustível do futuro?** 2023. Disponível em: <<https://propeq.com/etanol-de-segunda-geracao/>>.](https://www.praj.net/blog/bioproducts-sustainable-solutions-for-a-greener-environment/#:~:text=Bioproducts%20provide%20sustainable%20alternatives%20to,promotion%20of%20a%20circular%20economy.>>.</p></div><div data-bbox=)

RAÍZEN **Etanol de segunda geração: potencial e oportunidades**. 2023. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/blog/etanol-de-segunda-geracao/>>.

RAÍZEN. **Cana-de-açúcar: tudo sobre sua importância e versatilidade**. 2021. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/blog/cana-de-acucar/>>

RAMOS *et al.* **Enzymatic catalysis as a tool in biofuels production in Brazil: Current status and perspectives**. 2021.

RATHMAN; SZKLO; SCHAEFFER. **Land use competition for production of food and liquid biofuels: An analysis of the arguments in the current debate**. 2010.

RITCHIE, Hannah. **Daily calorie supply: Data sources and definitions**. Our World in Data. 2022. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/calorie-supply-sources>>.

RITCHIE, Hannah. **Three billion people cannot afford a healthy diet.** Our World in Data. 2021. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/diet-affordability#article-citation>>.

ROITMAN, Tamar. PROGRAMAS INTERNACIONAIS DE INCENTIVO AOS BIOCOMBUSTÍVEIS E O RENOVABIO. 2019. Disponível em: <<https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/c3cefe1e-6d61-4635-b823-31a9a5d1a270/content>>

SADHUKHAN 2014 - SADHUKHAN, J.; SIEW NG K.; HERNANDEZ E. M. **Biorefineries and Chemical Processes: Design, Integration and Sustainability Analysis.** John Wiley & Sons, Ltd., 2014.

TOMEI, Julia ; HELLIWELL, Richard. **Food versus fuel? Going beyond biofuels.** *Land Use Policy*, v. 56, p. 320–326, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837715003579>>

UNEP. **ÍNDICE DE DESPERDÍCIO ALIMENTAR RELATÓRIO 2021.**

URBANCHUK, John M. (2008). **Food and Feed vs. Fuel: Renewable Fuels Perspective.** Texas Ag Forum.

US DEPARTMENT OF ENERGY. **Bioproduct Basics.** Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/bioenergy/bioproduct-basics#:~:text=Bio%2Dbased%20chemicals%20and%20materials,%2C%20lubricants%2C%20and%20industrial%20chemicals>>.

USDA. **Biorefinery, Renewable Chemical, and Biobased Product Manufacturing Assistance Program.** 2022. Disponível em: <https://www.rd.usda.gov/sites/default/files/fact-sheet/508_RD_FS_RBS_Biorefinery.pdf>.

VIDAL. **Produção E Uso De Biocombustíveis No Brasil.** 2021

World Food Program USA. **To Combat Climate Change, Join the Fight Against Hunger.** 2022. Disponível em: <<https://www.wfpusa.org/articles/combat-climate-change-start-joining-fight-against-hunger/>>.

WORLD FOOD PROGRAMME. **5 facts about food waste and hunger**. 2020.

Disponível em: <<https://www.wfp.org/stories/5-facts-about-food-waste-and-hunger>>.

ZIERMMERN; SEGAR. **To Combat Climate Change, Start by Joining the Fight Against Hunger**. World Food Program USA. 2022.

ANUPAMA ; RAVINDRA. **Value-added food: Biotechnology Advances**, v. 18, n. 6, p. 459–479, 2000. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975000000458>>

RATHMAN; SZKLO; SCHAEFFER. **Land use competition for production of food and liquid biofuels: An analysis of the arguments in the current debate**. 2010.

PEREIRA *et al* **BALANÇO ENERGÉTICO DE BIOCOMBUSTÍVEIS**. 2016.