



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**



JARYLLAINE HOTT FILGUEIRAS REAL

**AVALIAÇÃO DA FERMENTAÇÃO CONJUNTA DE MELAÇO DE SOJA E
CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL**

**UBERLÂNDIA - MG
2021**



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**



JARYLLAINE HOTT FILGUEIRAS REAL

**AVALIAÇÃO DA FERMENTAÇÃO CONJUNTA DE MELAÇO DE SOJA E
CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL**

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química.

Orientadora: Larissa Nayhara Soares Santana
Falleiros

**AVALIAÇÃO DA FERMENTAÇÃO CONJUNTA DE MELAÇO DE SOJA E
CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE ETANOL**

Monografia de graduação apresentada à
Universidade Federal de Uberlândia como parte
dos requisitos necessários para a aprovação na
disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do
curso de Engenharia Química.

Uberlândia, 01 de Outubro de 2021

Prof.^a. Dr.^a Larissa Nayhara Soares Santana Falleiros
(Orientadora - FEQUI/UFU)

Prof. Dr. Thamayne Valadares de Oliveira
(FEQUI/UFU)

Msc. Carla Cristina de Sousa
(Doutorando PPGEQ/FEQUI/UFU)

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.” Josué 1:9

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, pela bondade e misericórdia que sempre me acompanharam. Gratidão por chegar até aqui, por me dar forças para eu nunca desistir dos meus objetivos por mais difíceis que eles sejam e me fazer entender que os sonhos d'Ele são sempre muito maiores que os meus.

Aos meus pais, Jairo e Maria Luzia, pela confiança e amor, mesmo à distância, nunca me deixaram sentir sozinha, sempre me proporcionaram o melhor para que eu me sentisse bem durante toda essa jornada.

Aos meus irmãos, Judylleno e Jullyane, minhas maiores inspirações, agradeço o apoio e força imensuráveis, sem vocês essa conquista não seria possível.

A todos meus familiares, que sempre foram meu porto seguro, meu agradecimento por sempre se fazerem presentes na minha vida, me dando todo amor e carinho.

Aos meus amigos, por toda ajuda e por sempre me ouvir, em especial às minhas companheiras de república, por me acolherem e serem uma família pra mim em Uberlândia.

A orientadora Larissa, não apenas pelos conhecimentos técnicos adquiridos, mas principalmente por ser uma pessoa incrível, gentil e solícita. Meu muito obrigado por ter caminhado comigo na conclusão dessa etapa da minha vida.

Ao Ivan por salvar a pátria e me ajudar a formatar o trabalho.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia por ter me dado todo o suporte necessário para que eu pudesse me tornar uma profissional qualificada.

A todos que, de alguma forma, me apoiaram na realização deste sonho.

RESUMO

A preocupação com a utilização de combustíveis não renováveis tem despertado cada vez mais o interesse pela produção de etanol a partir de recursos sustentáveis. A utilização de resíduos agroindustriais como substratos para fermentação alcoólica têm sido fontes de pesquisas recentes. Do processo produtivo da farinha de soja gera-se um subproduto rico em carboidratos denominado melaço de soja, o qual ainda possui baixo aproveitamento e quando descartado gera danos ao meio ambiente. O Brasil ocupa primeiro lugar no ranking de produção de soja e cana-de-açúcar, sendo estas culturas agrícolas de grande importância econômica para o país. Devido ao alto volume de produção e disponibilidade, o objetivo do presente trabalho foi estudar através de uma revisão bibliográfica, a viabilidade da associação de melaço de soja com cana-de-açúcar, já predominantemente utilizada para produção de bioetanol. A partir do levantamento feito tem-se que o melaço de soja é um substrato promissor para a produção de etanol, entretanto, é necessário passar pelo processo de hidrólise, a qual pode elevar os custos de produção. Diante disso, o melaço de soja possui um elevado potencial para produção de etanol assim como, se associado ao caldo de cana-de-açúcar, o rendimento de etanol é aumentado, porém, é necessário haver mais estudos que confirmem a viabilidade econômica para que tal metodologia seja empregada nas indústrias beneficiadoras de soja e cana-de-açúcar.

Palavras-chave: melaço de soja, cana-de-açúcar, etanol

ABSTRACT

The concern with the use of non-renewable fuels has increasingly aroused interest in the production of ethanol from sustainable resources. The use of agro-industrial residues as substrates for alcoholic fermentation has been a source of recent research. The production process of soy flour generates a by-product rich in carbohydrates called soy molasses, which still has low utilization and when discarded it causes damage to the environment. Brazil occupies first place in the ranking of soy and sugarcane production, with these agricultural crops of great economic importance for the country. Due to the high volume of production and availability, the objective of the present work was to study, through a literature review, the viability of associating soy molasses with sugarcane, already predominantly used for bioethanol production. Based on the survey, soy molasses is a promising substrate for ethanol production, however, it is necessary to go through the hydrolysis process, which can increase production costs. Therefore, soy molasses has a high potential for ethanol production as well as, if associated with sugarcane juice, the ethanol yield is increased, however, more studies are needed to confirm the economic viability so that such methodology is used in the soy and sugarcane processing industries.

Key words: soy molasses, sugar cane, ethanol

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Balanço de massa do processo de produção de melaço de soja.....	11
Figura 2: Comparativo de evolução da produção média da cana-de-açúcar nos últimos 1 anos segundo CONB e ÚNICA	16
Figura 3: Evolução da produtividade média da cana de açúcar nos últimos 15 anos segundo o CONAB	17
Figura 4: Comparação entre as produções obtidas em junho de 2020 e as estimativas de produção para os principais produtos agrícolas em junho de 2021	18
Figura 5: Composição do colmo da cana de açúcar	19
Figura 6: Representação interna e lateral da emente de soja. (a) visão interna (b) visão lateral..	20
Figura 7: Fluxograma simplificado da produção integrada de açúcar e etanol na indústria sucroenergética	23
Figura 8: Processamento para obtenção do óleo bruto e do farelo desengordurado	24
Figura 9: Estrutura molecular dos principais açúcares do melaço de soja	25
Figura 10: Mecanismo de hidrólise ácida nas ligações glicosídicas	28
Figura 11: Ligações glicosídicas das estruturas de sacarose, rafinose e estaquiose e as enzimas invertase e o galactosidase, que hidrolisam as ligações	30
Tabela 1: Comparação da composição química da soja (Base seca).....	21
Tabela 2: Composição do melaço de soja <i>in natura</i>	26

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	10
1.1 – Objetivos.....	13
2 – MATÉRIAS-PRIMAS	14
2.1 – Cana-de-açúcar e soja	14
2.2 – Contexto econômico no Brasil.....	15
2.3 – Composição e propriedades	19
2.4 – Processo de beneficiamento.....	22
3 – MELAÇO DE SOJA	24
3.1 – Obtenção e aproveitamento do melaço de soja.....	24
4 – UTILIZAÇÃO DO MELAÇO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL	27
4.1 – Hidrólise do melaço de soja.....	27
4.1.1 – Hidrólise Ácida	28
4.1.2 – Hidrólise Enzimática.....	29
4.2 – Fermentação e obtenção de etanol	30
5 – PERSPECTIVAS DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO MELAÇO DE SOJA..	32
.....	
6 – ASSOCIAÇÃO DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL.....	33
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
8 – REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado uma das principais potências mundiais cuja economia está baseada na agricultura. Esse setor é um dos que mais contribui para o crescimento do PIB nacional e corresponde a 21% da soma de todas as riquezas produzidas no país (EMBRAPA, 2021). No ano de 2020 o Brasil liderou a produção de soja com 125 milhões de toneladas e a produção de cana-de-açúcar, ocupando 8.616 hectares de área plantada (CONAB, 2021).

Do processamento da soja obtém-se um importante produto, o farelo de soja. Por ser rico em proteínas, esse produto é utilizado na alimentação de bovinos, entretanto, sua composição contém grande quantidade de carboidratos e a maioria destes são açúcares de cadeia longa, como rafinose e estaquiose (SANNI et al., 1997), cuja presença reduz seu valor nutricional, uma vez que os animais não possuem enzimas necessárias para hidrolisar esses compostos.

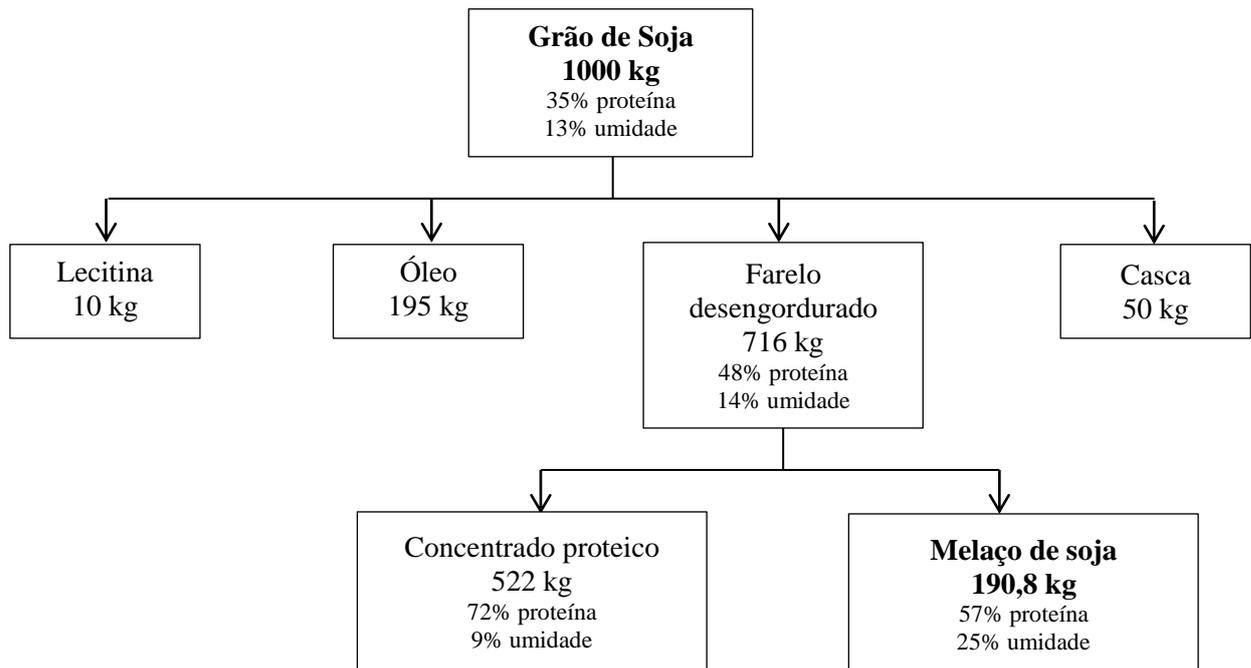
Dessa forma, a remoção de carboidratos indesejáveis do farelo de soja é feita para obter seu enriquecimento proteico e digestibilidade, gerando grandes quantidades de melaço de soja, por vezes considerado como resíduo (SILVA, 2010; PAULA, 2015) sem tratamento adequado ou como fonte de energia, destinado à queima em caldeiras industriais (SIQUEIRA et al., 2008).

Segundo JOHNSON et al. (1992) esse subproduto é um líquido viscoso, de cor marrom escura, rico em carboidratos e possui baixo valor agregado, devido à falta de métodos para aplicações em larga escala que resultem na valorização e utilização sustentável dessa biomassa.

O aproveitamento de subprodutos para a obtenção de produtos com valor agregado é uma interessante alternativa para redução do descarte de resíduos poluentes, além de ser uma forma de valorização econômica para as indústrias (DAMASCENO et al., 2003). Portanto, o aproveitamento do melaço de soja pode ser uma alternativa interessante do ponto de vista econômico para as indústrias processadoras de soja.

SIQUEIRA et al., (2008) apresentaram um balanço de massa da produção do melaço de soja. Segundo o estudo apresentado, 1 tonelada de soja, gera cerca de 191 kg de melaço de soja, como segue apresentado na Figura 1. De acordo com a produção de soja descrita pela CONAB em 2020 e seguindo o balanço de massa referente ao processamento da soja, a produção de melaço foi de aproximadamente 23,85 milhões de toneladas no respectivo ano.

Figura 1: Balanço de massa do processo de produção de melaço de soja



Fonte: Adaptado de Siqueira et al. (2008)

A estimativa da produção mundial de soja até 2050 é de 515 milhões de toneladas, quase o dobro do que é produzido atualmente, segundo a FAO (Food And Agriculture Organization). Nesse contexto, devido à grande quantidade de grãos produzidos atualmente somados à expectativa de expansão da produção de soja e seus derivados, torna-se imprescindível à destinação correta desses subprodutos, ainda com limitada perspectiva de mercado.

Como uma alternativa sustentável tem-se a produção de etanol a partir do melaço de soja. SIQUEIRA et al., (2008) concluíram após análises que o melaço de soja é uma matéria-prima atrativa para a produção de bioetanol. O bioetanol é um importante combustível renovável, contribuindo para a redução dos impactos ambientais negativos gerados pela utilização dos combustíveis fósseis (CARDONA e SÁNCHEZ, 2007) que, além disso, são recursos esgotáveis.

Atualmente, a cana-de-açúcar é uma das melhores fontes de energia renováveis, apresentando grande importância na produção de etanol, através da consolidada indústria sucroenergética (MAULE et al., 2001). Diante disso, estuda-se a possibilidade da produção de etanol a partir da fermentação conjunta de melaço de soja, um substrato rico em carboidratos fermentescíveis, e cana-de-açúcar, já comumente utilizada na produção do combustível. Essa associação poderia ser realizada tanto utilizando o melaço de soja como um aditivo

enriquecedor de açúcares na indústria sucroenergética, quanto nas unidades processadoras de soja, para produção de etanol, o qual pode ter uso destinado na própria planta, como por exemplo, na extração de farelo de soja desengordurado para obtenção do concentrado proteico.

1.1. Objetivos

Objetivo Geral: O presente trabalho possui como objetivo principal realizar uma revisão bibliográfica para avaliar a viabilidade da associação do melaço de soja e cana-de-açúcar na fermentação alcoólica para produção de etanol.

Objetivos Específicos:

- Apresentar a composição das matérias-primas cana-de-açúcar e soja;
- Discorrer sobre o panorama atual econômico dessas culturas agrícolas;
- Expor o aproveitamento do melaço de soja no processo industrial;
- Descrever os principais tipos de hidrólise do melaço de soja;
- Descrever o processo de obtenção do etanol através do melaço de soja pontuando suas principais perspectivas;
- Indicar a viabilidade da fermentação conjunta de melaço de soja e cana-de-açúcar para produção de etanol.

2. MATÉRIAS-PRIMAS

2.1. Cana-de-açúcar e soja

A cana-de-açúcar é uma planta que pertence ao gênero *Saccharum* e foi descrita por Linnaeus em 1753 como *Saccharum officinarum* (CHEN e CHOU, 1993). Possui como características formato fino e cilíndrico, podendo alcançar até seis metros de altura. É utilizada para a obtenção de dois produtos essenciais para a economia mundial: o açúcar e o etanol, utilizado como combustível para abastecer veículos.

Atualmente o Brasil ocupa o primeiro lugar no ranking de produção de cana-de-açúcar do mundo, produzindo 75.965 kg/ha em 2020, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021). A produção de sacarose e açúcares não redutores, utilizados como fonte de energia para a própria indústria sucroalcooleira, compõe o rendimento econômico da cana-de-açúcar (TOPPA et al., 2010).

Além da cana-de-açúcar, outra cultura agrícola de grande importância econômica é a soja. A leguminosa de nome científico *Glycine max* (SANTOS et al., 2010; BRUNINI et al., 2016) possui origem asiática e um vasto portfólio de produtos obtidos através de seu processamento, como proteínas para rações animais, óleo vegetal e alimentos como o queijo tofu, proteína pasteurizada, molho shoyu, leite de soja, entre outros (SILVA, 2011).

MACHADO (1999) ao estudar sobre a soja, concluiu ser uma planta com grande diversidade genética e morfológica e, devido a isso, existirem diferentes tamanhos, formatos e composições químicas a depender da região de cultivo.

Além disso, a soja é um alimento com elevada carga proteica (ROJAS et al., 2014), componente importante na alimentação humana e de animais e constitui um dos produtos de maior importância na economia brasileira, ocupando lugar de destaque nas exportações do país (CONAB, 2021).

Em 1999, BELLAVER e SNIZEK afirmaram que a soja seria considerada um dos principais alimentos para a população do futuro, devido às suas qualidades nutricionais, alta produção e facilidade de adaptação às áreas de cultivo. Entretanto, apesar da produção mundial ter aumentado significativamente nos últimos anos, seu consumo e utilização em diversos setores industriais ainda são pouco explorados. No Brasil, estimativas da CONAB apontam que apenas 37,23% da soja produzida no ano de 2021 serão para consumo interno, enquanto o restante será destinado à exportação.

2.2. Contexto econômico no Brasil

Entre todas as regiões do globo, talvez a mais apropriada à agricultura seja o Brasil, pois que na sua vasta extensão acham-se climas, terrenos e exposições de quantas qualidades é possível imaginar, de forma que dificilmente nos poderemos lembrar, de uma espécie de vegetal, ou de uma sorte de cultura, que não exista já, ou que não possa, para o futuro, introduzir-se neste abençoado país, tão fecundo e variado em produções, ameno em aspectos e ares, tão regado de águas, revestido de matas, e aprazível à vista, que os primeiros descobridores não duvidaram avançar, que tinham por fim deparado com o paraíso terrestre (TAUNAY, 1839).

A cana-de-açúcar faz parte da história do Brasil e teve sua introdução ao território nacional no século 16 pelos colonizadores portugueses. Por ser uma planta de clima tropical, teve grande adaptação ao solo brasileiro, sendo o Brasil o maior produtor mundial, seguido pela Índia e pela China, segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2012; CONAB, 2021).

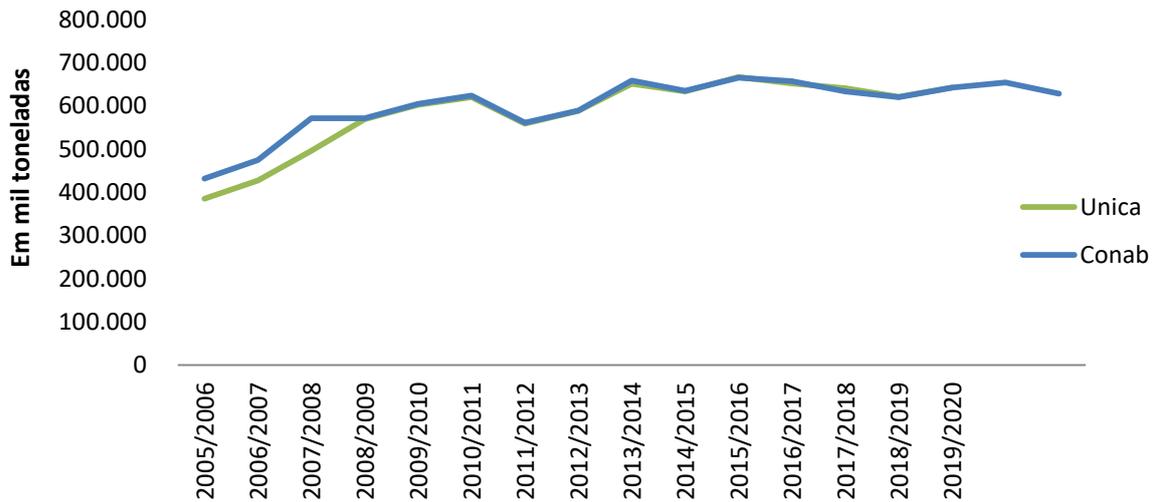
Desde que foi implantada no país, a cultura da cana-de-açúcar se tornou uma das mais importantes e representativas do agronegócio brasileiro. Em relação aos produtos advindos da planta, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar, o qual corresponde por aproximadamente 18% da produção e 36% do comércio mundial do produto, segundo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2020), seguido pela Tailândia, segunda maior exportadora do mundo e pela Índia, segundo maior produtor global. No que diz respeito ao etanol, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020), afirma que o país bateu recorde histórico na produção, produzindo 35,6 bilhões de litros na safra 2019/20.

Destaca-se também a importância da cana-de-açúcar na década de 1970, quando ocorreu a maior crise mundial do petróleo e houve a criação do Programa Nacional do Álcool, o Proálcool, em 1975, para incentivar a produção de álcool combustível advindo da cana-de-açúcar (FONTANETTI e BUENO, 2017). O objetivo do programa foi desenvolver técnicas e aperfeiçoar os insumos para a produção de álcool etílico e a partir de então a indústria canavieira passou por diversas transformações e melhorias (ANDRADE et al., 2010).

A Figura 2 demonstra que a produção da cana-de-açúcar no Brasil esteve em constante oscilação nos últimos 15 anos, através dos dados obtidos pelo CONAB e pela União da

Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA). O gráfico aponta que houve crescimento na produção de cana-de-açúcar na safra 2019/20.

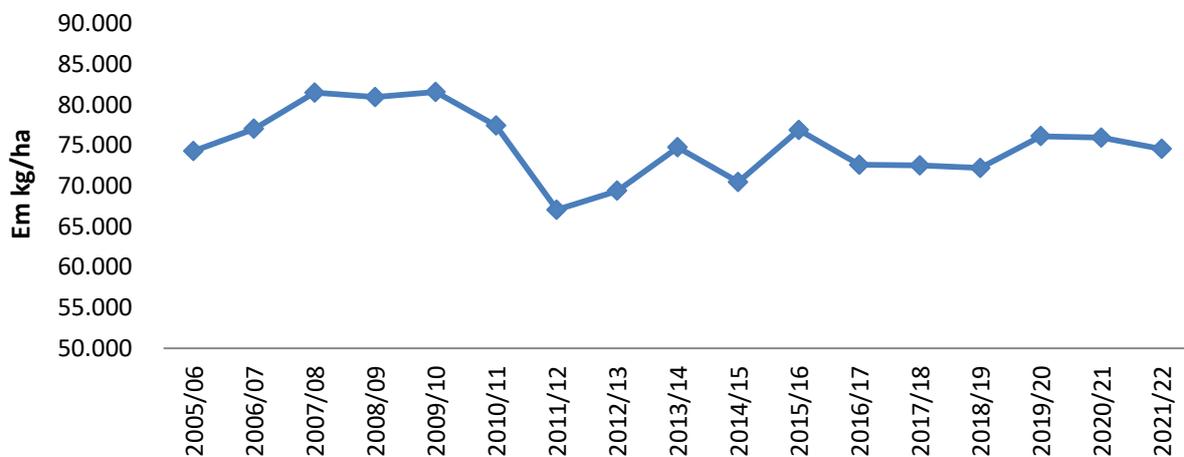
Figura 2: Comparativo de evolução da produção média da cana-de-açúcar nos últimos 15 anos segundo CONAB e UNICA



Fonte: Adaptado de UNICA (2021) e CONAB (2021)

Esse perfil oscilatório pode ser comprovado pelos dados de produtividade do CONAB, com estimativa sobre a safra 2021/22 feitos em maio de 2021, apresentados na Figura 3. Os dados de produtividade para safra 2020/21 foram de 75.965 kg/ha e a expectativa para o ano de 2022 é que a produção diminua em 2%, equivalente a 74.576 kg/ha (CONAB, 2021).

Figura 3: Evolução da produtividade média da cana-de-açúcar nos últimos 15 anos segundo o CONAB



Fonte: Adaptado de CONAB (2021)

Alguns fatores contribuem para que a produção de cana-de-açúcar seja bastante dinâmica como, por exemplo, fatores climáticos e disponibilidade hídrica. MARCHIORI (2004) inferiu que umidade do solo, temperatura, luminosidade, nutrientes minerais e floração são aspectos que influenciam no crescimento e produtividade da cana-de-açúcar.

Ao contrário da cana-de-açúcar, a história da soja no Brasil iniciou bem mais tarde. Sua introdução ocorreu no ano de 1901, quando iniciaram os primeiros cultivos em Campinas e a distribuição de sementes para produtores paulistas. A partir de então, o grão começou a ser mais facilmente encontrado no país, principalmente após a intensificação da migração japonesa, no ano de 1908 (APROSOJA, 2021).

No final da década de 60, dois fatores internos contribuíram para o interesse na soja como um produto comercial, fato que mais tarde influenciou no cenário mundial de produção do grão. O trigo era a principal cultura do sul do Brasil e a soja surgiu como uma opção de suceder à safra do trigo. O segundo fator é que o país também iniciava um esforço para produção de suínos e aves, gerando demanda por farelo de soja. Dessa forma, em 1966, a produção comercial de soja já era uma necessidade estratégica, sendo produzidas cerca de 500 mil toneladas do grão (EMBRAPA SOJA, 2021).

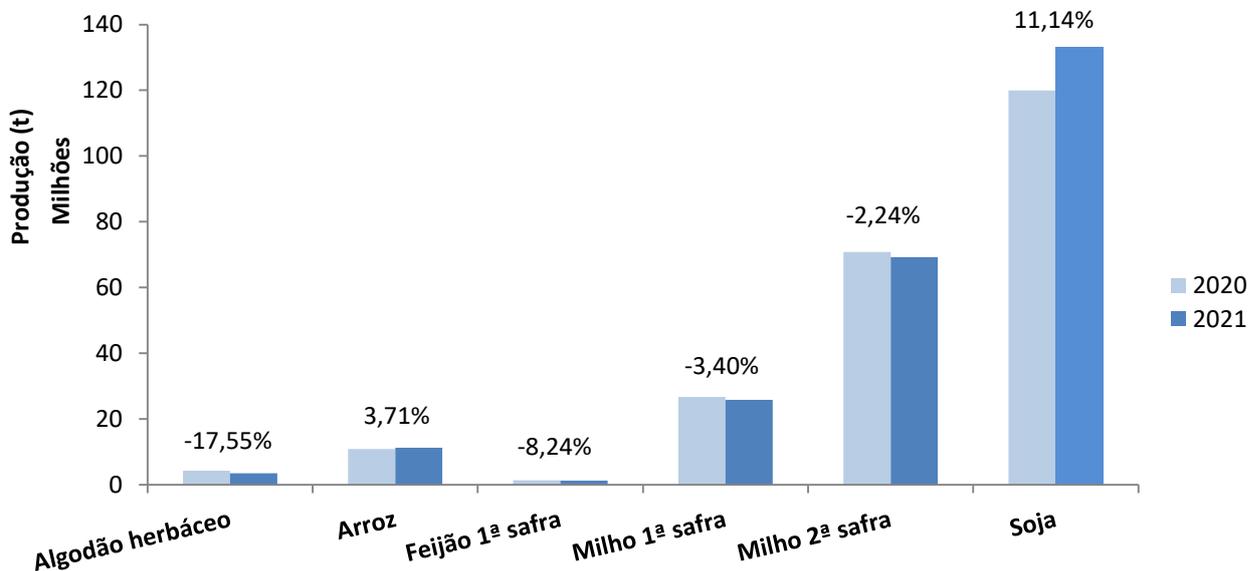
Nos anos 1970 ocorreu a expansão da soja no Brasil, quando a indústria de óleo começou a ser ampliada. O aumento da demanda advinda de outros países é outro fator que determinou a produção em grande escala da sojicultura, que visava à exportação.

Num contexto recente de produção do grão, na safra 2018/19 os Estados Unidos lideravam como maior produtor de soja do mundo. Esse cenário mudou no ano seguinte, quando o Brasil alcançou a maior produção de grãos de soja da história, na safra 2019/20 e alcançou o primeiro lugar na produção global, equivalente a quase 125 milhões de toneladas (CONAB, 2020). A expectativa para a safra 2020/21 é que o Brasil continue liderando o ranking com uma produção estimada em 133 milhões de toneladas (APROSOJA, 2021).

Em novembro de 2020, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizou o segundo prognóstico de produção para a safra de 2021. Nos cálculos das projeções foram utilizadas as médias dos resultados obtidos nos últimos cinco anos. Espera-se um aumento de 11,14% ou 13,36 milhões de toneladas para produção do grão de soja (IBGE, 2020).

A Figura 4 apresenta um gráfico comparativo da produção de culturas agrícolas, em milhões de toneladas, durante o ano de 2020 e da expectativa para o ano de 2021, segundo os dados do IBGE.

Figura 4: Comparação entre as produções obtidas em junho de 2020 e as estimativas de produção para os principais produtos agrícolas em junho de 2021



Fonte: Adaptado de IBGE, 2020

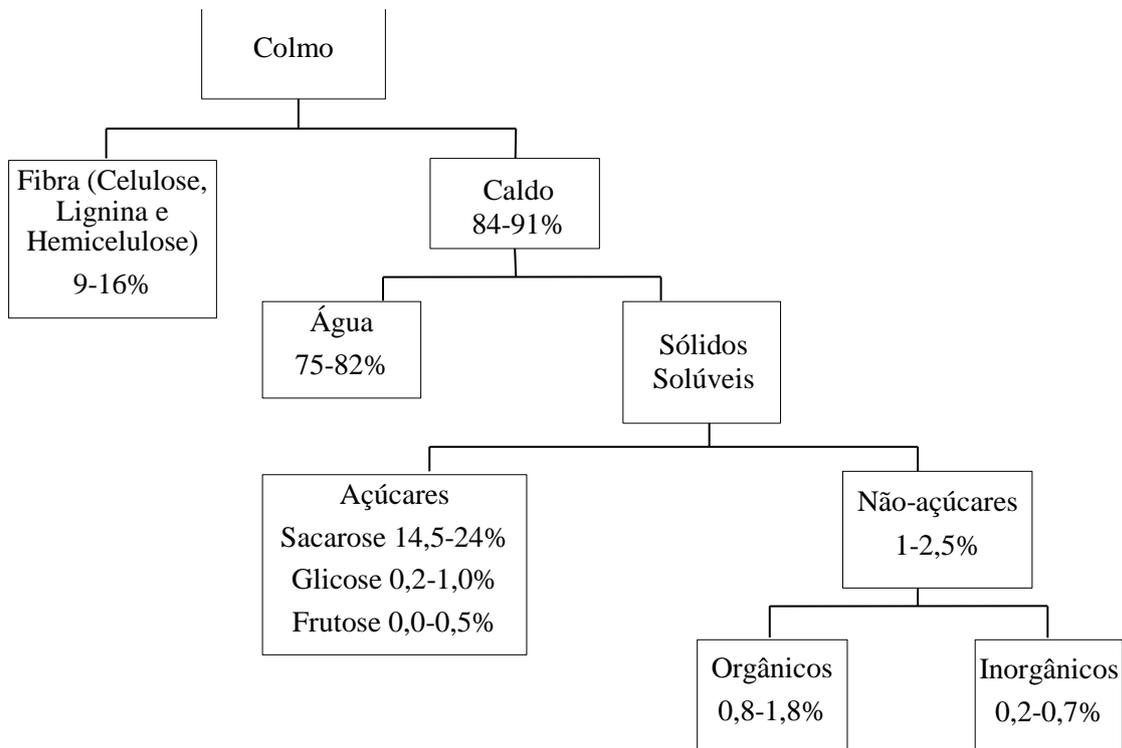
Com relação à estimativa de área a ser colhida em 2021, a do grão de soja apresenta aumento de 4,67% em relação ao ano de 2020 (IBGE, 2020). Tais dados comprovam que a soja é o grão que atualmente apresenta maior expectativa de crescimento dentre os principais produtos agrícolas.

2.3. Composição e propriedades

Existem diversas variedades cultivadas de cana-de-açúcar e as características adequadas variam em função do mercado e de interesses industriais. A composição química do colmo de uma cana madura possui cerca de 70% de água, 15% de fibras, 13% de sacarose e 2% de substâncias diversas (FAO, 2012).

O colmo é o principal componente da cana, a partir dele ocorre a extração do caldo para produção de açúcar e álcool. O caldo é composto de água e sólidos solúveis, como açúcares, cinzas, materiais nitrogenados e outros. A fibra constitui todo material insolúvel em água, tais como celulose, lignina e hemicelulose. Na Figura 5 tem-se um fluxograma da composição centesimal do colmo da cana de açúcar.

Figura 5: Composição do colmo da cana de açúcar



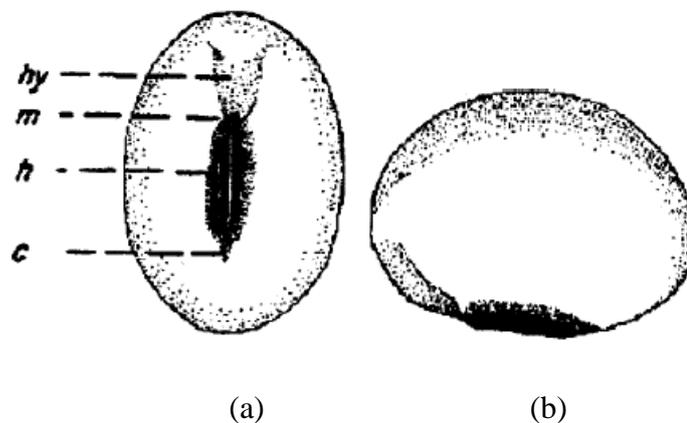
Fonte: Adaptado de Chen; Chou (1993)

A composição da cana-de-açúcar pode variar de acordo com o tipo de maturação, manejo, condições climáticas, tipo de solo, fertilizantes aplicados, condições de transporte e armazenamento, entre outros (MACHADO, 2012).

A cana-de-açúcar apresenta potencial geneticamente favorável para acúmulo de açúcares, especialmente na forma de sacarose. Sob condições ideais de cultivo este potencial é otimizado, através de práticas que oferecem boas condições para a cultura da cana (SANTOS et al., 2010).

Diferente da cana-de-açúcar, o grão de soja é rico não somente em açúcares, mas também em lipídeos e proteínas. A Figura 6 mostra a visão externa e interna da semente leguminosa. ERICKSSON (1995) investigou sobre o processamento e utilização da soja e afirmou que a parte interna do grão é composta pelo hilo (h), que possui em seu final um pequeno encaixe chamado chalaza (c), na outra extremidade, o chamada micrópilo (m) e acima deste encontra-se o hipocótilo (hy).

Figura 6: Representação interna e lateral da semente de soja. (a) visão interna (b) visão lateral



Fonte: Erickson (1995)

Das propriedades encontradas na soja, a proteína se destaca por sua grande importância para a alimentação, principalmente a de bovinos, entretanto, o fato do grão também ser rico em carboidratos tem gerado interesse em estudos que avaliam o aproveitamento desses compostos na cadeia produtiva. Análises da geração de um novo subproduto, conhecido como melaço, rico em monossacarídeos, estruturas que compõem os carboidratos têm sido feitas recentemente (GRIJÓ e MELO, 2017).

Com relação à composição percentual do grão de soja, foram colhidos alguns dados de diferentes estudos. De acordo com COSTA et al. (1974), os grãos maduros contêm cerca de

40,7% de proteína, 22,7% de óleo, 5,8% de cinzas e 30,8% de carboidratos, em base seca. Já ERICKSON (1995) afirma que a composição química varia de acordo com cada componente do grão de soja e considera que o grão contém cerca de 40,3% de proteínas, 21% de lipídeos, 4,8% de resíduo mineral e 33,9% de carboidratos.

Em 1999, VIEIRA et al., analisaram a composição centesimal do grão de soja de origem brasileira. As culturas estudadas foram previamente selecionadas dentre as principais plantadas no Brasil, de acordo com suas características físicas recomendadas para alimentação humana. Os resultados apresentaram composição, em base seca, de 39,52% de proteína, 23,04% de óleo, 5,41% de cinzas e 32,01% de carboidratos.

A Tabela 1 mostra a comparação da composição química do grão de soja obtida pelos diferentes autores.

Tabela 1: Comparação da composição química da soja (Base seca)

Componentes (base seca)	COSTA et al., 1974	ERICKSON, 1995	VIEIRA et al, 1999
Proteínas (%)	40,7	40,3	39,52
Lipídeos (%)	22,7	21,0	23,04
Cinzas (%)	5,8	4,8	5,41
Carboidratos (%)	30,8	33,9	32,01

Fonte: Autoria própria

Diante dos dados apresentados, observa-se que os valores variam pouco. Os valores de proteínas variaram 0,60%, os de lipídeos variaram 1,09%, a composição de cinzas variou 0,50% e os valores de carboidratos variaram 1,56% entre os autores.

RAMALHO et al. (2020) determinou a composição química de oito diferentes genótipos de soja para consumo humano. A concentração de proteínas nas sojas analisadas variou de 41,85 a 48,40%, os lipídios apresentaram em torno de 11,60 a 23,77%. Ao analisar o teor de fibras, verificou-se a ocorrência de uma variação entre 4,30 a 8,14%, os carboidratos variaram entre 16,03 e 29,42% e as cinzas entre 5,30 e 7,28%, aproximadamente.

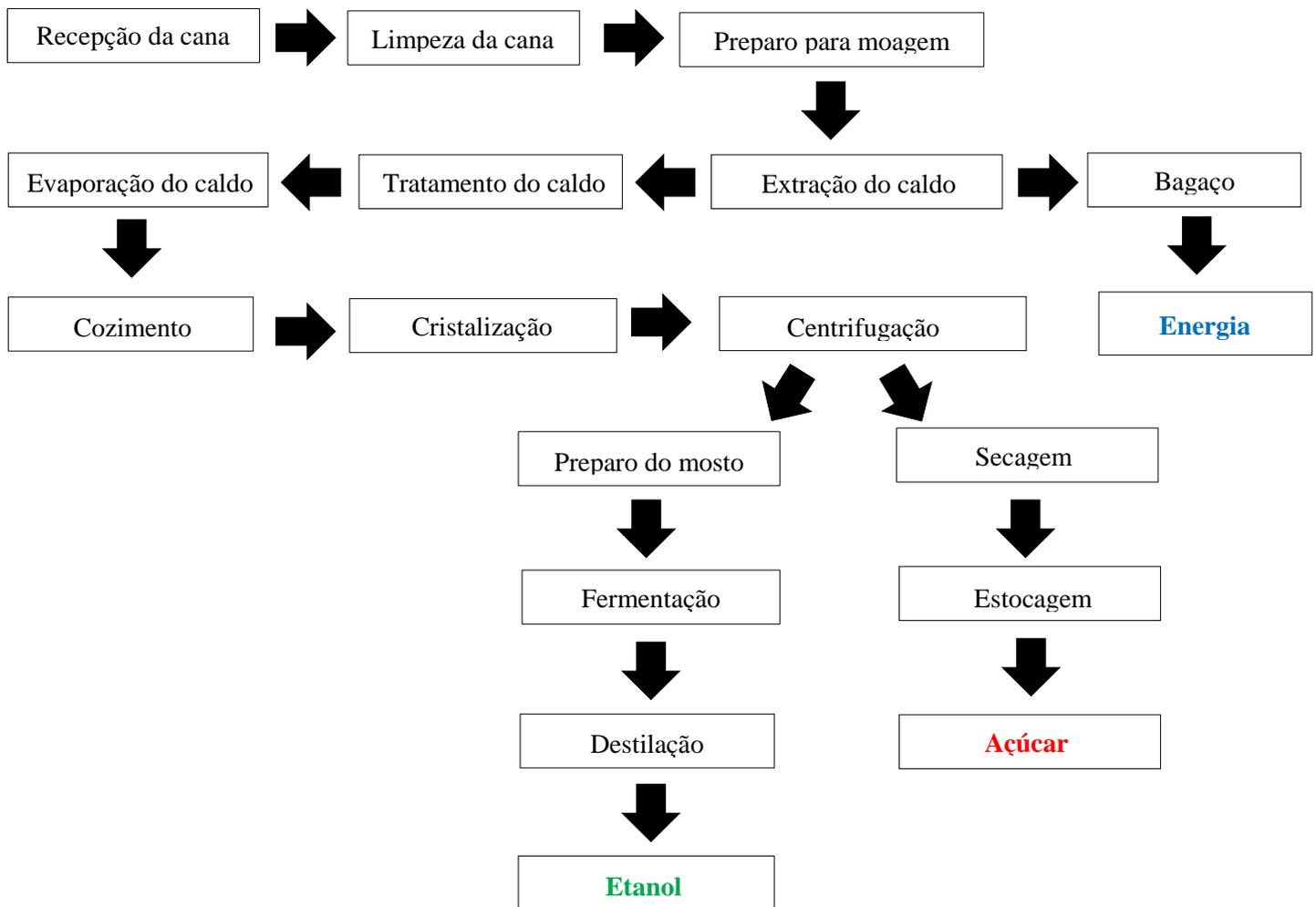
Os valores encontrados se diferem entre as literaturas possivelmente devido às diferenças nos tipos de solo, regiões de plantio e características de cada grão. DIAS et al. (1997) discutiu sobre a grande extensão territorial do Brasil e o cultivo da cana-de-açúcar ocorrer em vários tipos de solos e diferentes condições climáticas, o que resulta na produção de culturas distintas.

2.4. Processo de beneficiamento

Dentre toda a cadeia produtiva dos produtos derivados da cana-de-açúcar, a etapa considerada primordial para que sejam de alta qualidade é a da colheita. Quando algumas exigências ambientais e de manejo não são atendidas geralmente o desenvolvimento da planta fica comprometido e há queda na produtividade, perda na qualidade da cana e conseqüentemente do produto final (GROFF, 2010).

No processo produtivo do açúcar, as etapas industriais são preparo para moagem da cana-de-açúcar, extração, clarificação e evaporação do caldo, cozimento, cristalização da sacarose, separação entre cristais e massa cozida na etapa de centrifugação, secagem e estocagem. Para a produção de álcool segue-se o mesmo processo da produção de açúcar até o estágio de centrifugação, o que difere os dois processos é que após essa etapa tem-se o preparo do mosto, fermentação, destilação e armazenagem, gerando assim o produto etanol. Na Figura 7 tem-se um fluxograma da produção conjunta de açúcar, álcool e energia (ALBARELLI, 2013).

Figura 7: Fluxograma simplificado da produção integrada de açúcar e etanol na indústria sucroenergética



Fonte: Adaptado de Albarelli (2013)

Além do processamento da cana-de-açúcar, outro processo de beneficiamento que tem grande importância econômica no Brasil é o do grão de soja. Suas etapas constituem em recebimento e amostragem, limpeza, descascamento, seguido de secagem e armazenamento. Após essas etapas iniciais, as operações se dividem em diversos produtos e subprodutos (IMCOPA, 2016). Os principais derivados de soja são óleo, margarina, farinha desengordurada, lecitina, molho fermentado (shoyu), extrato hidrossolúvel (leite), queijo (tofu) e concentrado proteico (carne de soja), os quais possuem grande relevância para o público vegano.

Dentre os produtos gerados no beneficiamento da soja, a maior aplicação industrial é na produção de óleo de soja e farelo de soja (PÍPOLO et al., 2015). O farelo é retirado do grão

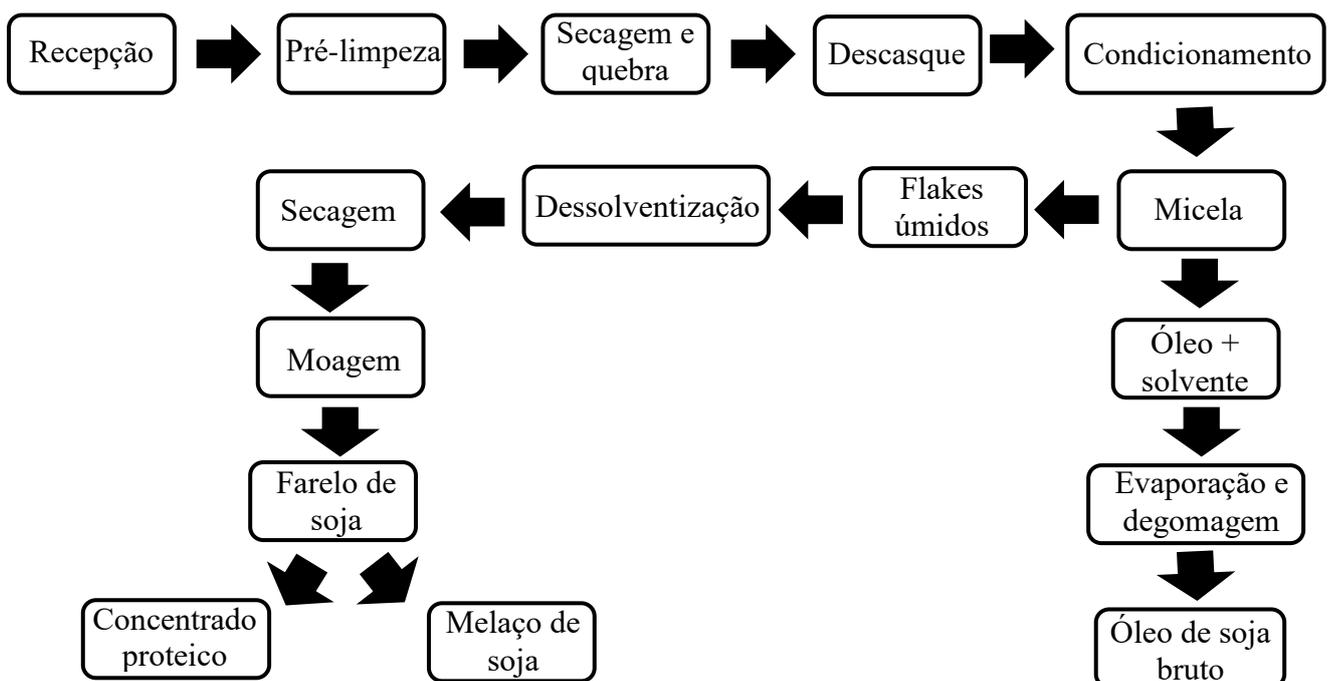
da soja, separando-se toda a gordura e comercializado como ração animal devido aos elevados teores de fibras e proteínas. Durante o processo de obtenção destes derivados da soja são produzidos subprodutos ricos em matéria orgânica, dentre os quais se destaca o melaço de soja.

3. MELAÇO DE SOJA

3.1. Obtenção e aproveitamento do melaço de soja

O melaço de soja é um coproduto viscoso de cor marrom, rico em carboidratos (LOMAN e JU, 2016), gerado durante a obtenção do extrato proteico de soja. É um xarope no qual os açúcares são extraídos utilizando-se uma mistura de água e etanol como solvente (SIQUEIRA et al., 2008). O processo consiste na lavagem do farelo de soja desengordurado com o solvente, onde os carboidratos e outros compostos solúveis são extraídos, restando proteína concentrada. A água e o etanol são evaporados e é obtido então o melaço de soja (CALDEIRÃO et al., 2016). O fluxograma geral do processo de beneficiamento da soja para produção do óleo e do farelo de soja, gerando o subproduto, melaço de soja, pode ser observado na Figura 8.

Figura 8: Processamento para obtenção do óleo bruto e do farelo desengordurado

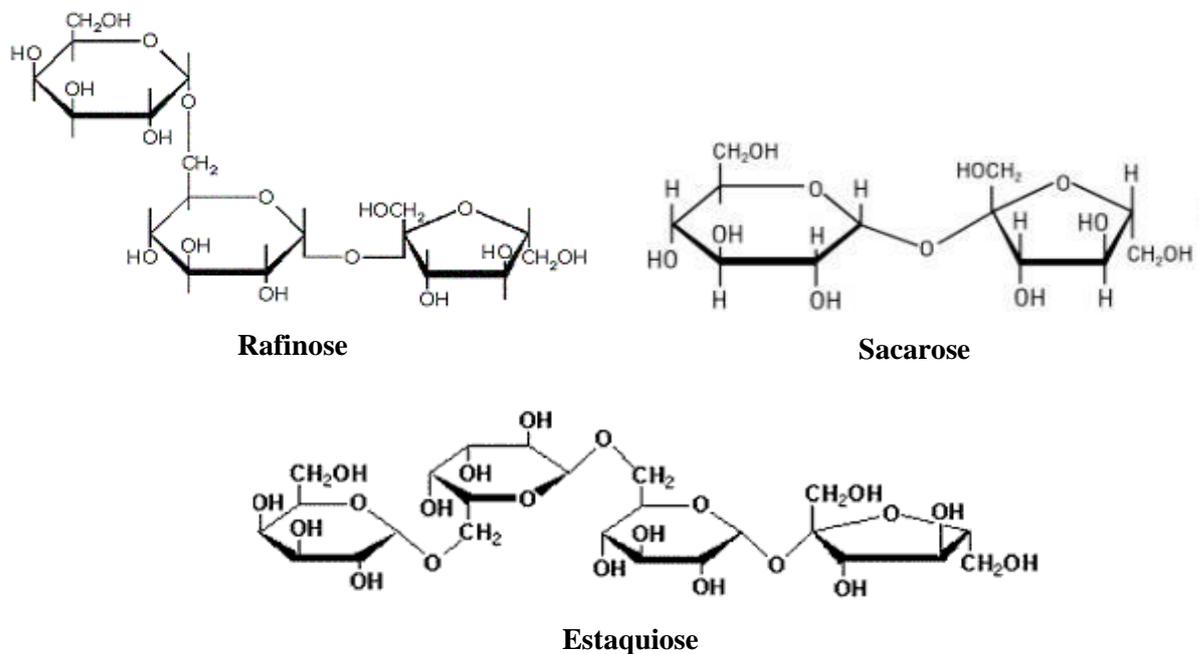


Fonte: Adaptado de Siqueira (2008) e Mandarino; Roessing (2001)

A composição do melão de soja constitui-se em grande parte por carboidratos, além de gorduras, flavonoides, proteínas e minerais. Dentre os açúcares solúveis presentes, o mais representativo é a sacarose, seguida dos oligossacarídeos estaquiiose e rafinose (OLIVEIRA et al., 2010).

LOMAN e JU (2016) descreveram que o melão de soja é composto de carboidratos solúveis, proteínas, lipídeos e cinzas, sendo que os carboidratos mais encontrados no melão são sacarose (28%), estaquiiose (18%) e rafinose (9%) em relação peso/volume. Na Figura 9 estão representadas as estruturas químicas destes açúcares.

Figura 9: Estrutura molecular dos principais açúcares do melão de soja



Fonte: A autora, 2021

SIQUEIRA et al., (2008) analisaram o substrato em base seca e obteve 57,3% de carboidratos totais, 21,2% de lipídeos, 3,36% de cinzas, 9,44% de proteínas e 5,57% de fibras. Na Tabela 2, tem-se a composição descrita por RODRIGUES et al. (2019) que analisaram o melão de soja in natura, fornecido por uma empresa processadora de soja, e obtiveram a concentração de carboidratos totais, proteína e fibra, além disso, também apresentaram a concentração de minerais presentes no substrato.

Tabela 2: Composição do melão de soja in natura

Componentes	Concentração
Glicose	9,4 g/L
Frutose	10,1 g/L
Galactose	4,93 g/L
Sacarose	76,2 g/L
Rafinose	26,19 g/L
Estaquiase	80,6 g/L
Cálcio	24,55 mg/100mL
Fósforo	60,16 mg/100mL
Magnésio	302,97 mg/100mL
Potássio	2.211 mg/100mL
Enxofre	0,33 mg/100mL
Sódio	526,7 mg/100mL
Cobre	2,14 mg/100mL
Zinco	4,98 mg/100mL
Proteína bruta	50,0 g/kg (mínimo)
Fibra bruta	3,0 g/kg (máximo)

Fonte: Adaptado de Rodrigues et al. (2019)

A maior parte do melão de soja produzido no Brasil é destinado à alimentação animal no enriquecimento de rações (SIQUEIRA et al., 2008), entretanto, alguns estudos têm sido feitos para averiguar sua utilização na produção de etanol e biogás. MONTELONGO; CHASSY; MCCORD, (1993) estudaram a produção do ácido láctico através da fermentação do melão de soja. ROMÃO et al. (2012) verificaram a obtenção de etanol pelo melão de soja, pelo processo de hidrólise ácida seguida de fermentação. RODRIGUES (2019) analisou a produção de biogás obtida pela digestão anaeróbia do melão de soja.

Apesar disso, nos processos industriais, ainda é usado apenas como fonte de geração de energia para a própria indústria (CALDEIRÃO et al., 2016), como, por exemplo, combustível em caldeiras (SIQUEIRA et al., 2008). Outro fator negativo relacionado ao melão de soja é que, seu descarte no meio ambiente causa problemas ambientais, devido à sua composição nutricional. Segundo LOMAN e JU (2016), o melão de soja é considerado um resíduo de produção e sua degradação pode poluir o ar, pela formação de gases da matéria

orgânica e o excesso de nitrogênio pode contaminar os lençóis freáticos (SCHOPF; ERBINO; PUVOGEL, 2014).

Os elevados teores de carboidratos presentes no melaço de soja tornam essa biomassa atrativa para aplicações em diferentes bioprocessos industriais, podendo contribuir para a redução dos custos de processo (BRAUNEGG et al., 2004). A utilização do melaço de soja como substrato eficiente para a obtenção de diferentes bioprodutos de interesse industrial como, por exemplo, o etanol tem sido demonstrado na literatura científica (SIQUEIRA et al., 2008; LETTI et al., 2012; SCHNEIDER, 2016; RODRIGUES, 2020).

4. UTILIZAÇÃO DO MELAÇO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

4.1. Hidrólise do melaço de soja

A hidrólise é a primeira etapa do processo metabólico de obtenção do etanol. Consiste na conversão do material particulado a compostos solúveis, que serão, posteriormente, hidrolisados a monômeros simples. O melaço de soja possui alta viscosidade e parte dos carboidratos presentes são oligossacarídeos não metabolizáveis por microrganismos, sendo necessário realizar o pré-tratamento da hidrólise para aumentar o teor de açúcares redutores (CHAGAS et al., 2017).

MACHADO (1999), em seu estudo sobre a produção de etanol a partir do melaço de soja utilizando seis diferentes cepas de leveduras, inferiu que parte dos carboidratos presentes no melaço de soja não é fermentada por esses microrganismos, tendo em vista esse problema, analisou a hidrólise dos carboidratos do melaço de soja a fim de se obter uma maior conversão.

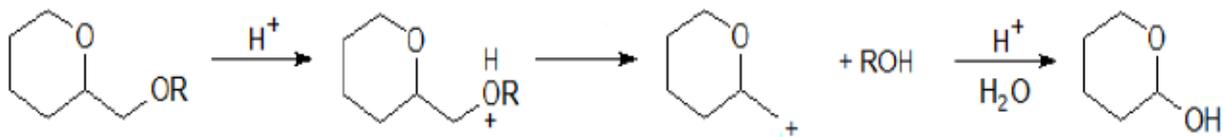
Existem dois tipos de hidrólise que podem ser feitas para a produção de etanol, precedendo à fermentação alcoólica, a hidrólise ácida e hidrólise enzimática. SIQUEIRA (2008) relatou que as hidrólises enzimática e ácida são alternativas para aumentar o rendimento do etanol a partir do melaço de soja açúcares. A hidrólise ácida apresenta a vantagem de ser mais rápida, porém, pode causar corrosão em equipamentos, além disso, há a necessidade de neutralização (SANTANA, 2007). Na hidrólise enzimática, enzimas de origem vegetal ou microbiana podem ser usadas. Nos últimos anos, o interesse pela hidrólise enzimática de carboidratos, em alternativa à hidrólise ácida aumentou significativamente

(PARAZZI et al., 2017), por ser mais branda e menos suscetível à formação de produtos indesejados (ROJAS, 2014).

4.1.1. Hidrólise Ácida

A hidrólise ácida é o processo de quebra de carboidratos complexos como é o caso dos açúcares estaquiose, rafinose e sacarose em açúcares simples como glicose, maltose, frutose e xilose (ANWAR et al., 2014). O esquema da hidrólise ácida em substâncias glicosídicas pode ser representado pela Figura 10. A reação de hidrólise ácida ou química é promovida por um ácido usado como catalisador, diluído, pois em altas concentrações, a reação pode se tornar agressiva ou gerar produtos indesejáveis. As concentrações dependem da quantidade de ácido utilizado e podem variar de soluções fracas a soluções mais concentradas (GURGEL, 2010).

Figura 10: Mecanismo de hidrólise ácida nas ligações glicosídicas



Fonte: RIBEIRO e SERAVALLI (2007)

Os ácidos mais comumente empregados em processos de hidrólise química são o sulfúrico e clorídrico, entretanto, também podem ser utilizados ácido fluorídrico, acético, nítrico e fosfórico (CARDONA et al., 2010; XIANG, 2002).

MACHADO (1999) utilizou a hidrólise ácida para produção de etanol a partir do melaço de soja, e descreveu o processo como sendo: redução de pH do melaço de soja a 3,0 utilizando ácido clorídrico ou sulfúrico; introdução do melaço de soja em autoclave a 101 °C por 15 minutos; arrefecimento do substrato e ajuste do pH na faixa de 5 a 6. A quantidade de açúcares redutores presentes no melaço de soja bruto foi de 1,97 g/L, enquanto o de melaço de soja hidrolisado apresentou 47,22 g/L de açúcares redutores. Portanto, o tratamento aplicado ao substrato disponibilizou uma grande quantidade de açúcares para fermentação, contribuindo para maior eficiência do processo de produção de etanol.

ROMÃO (2012) avaliaram a utilização de melaço de soja em diferentes condições de hidrólise para a produção de etanol por fermentação submersa. Estes autores avaliaram o uso de ácido clorídrico, nítrico e sulfúrico, a proporção de melaço de soja e tempo de hidrólise e

verificaram que o melaço diluído em proporção de 1:4 (m/m), submetido a um processo de hidrólise durante 20 minutos, com uso de ácido nítrico foram as melhores condições para a disponibilização de açúcares fermentescíveis e maior produtividade de etanol. A concentração total de etanol obtida na fermentação foi de 108,8 g/L, apresentando um rendimento total em relação ao substrato consumido de 73,8%.

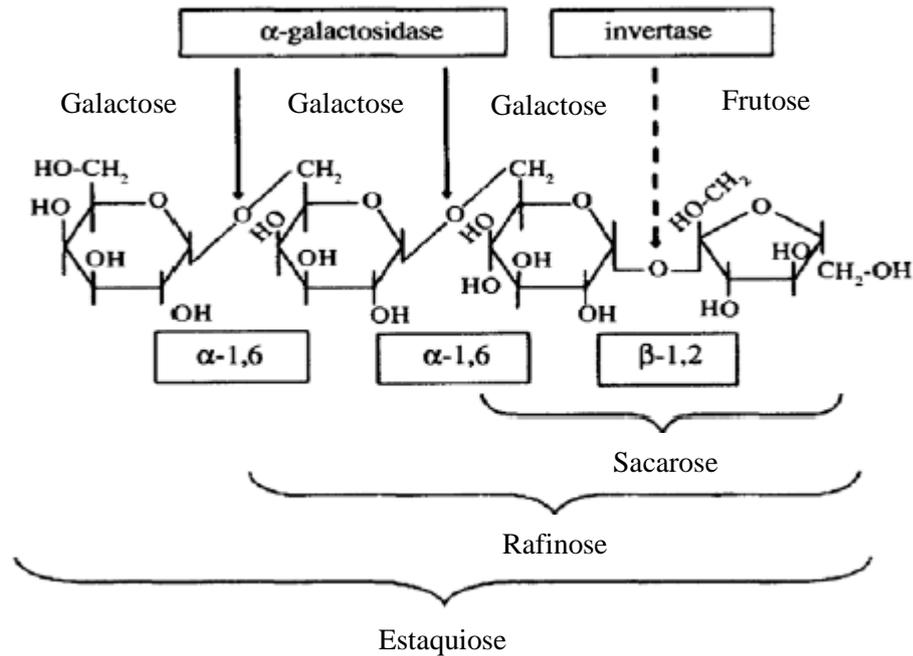
SIQUEIRA et al. (2008) avaliaram os ácidos nítrico, fosfórico, sulfúrico e clorídrico como catalisadores na hidrólise de melaço de soja, visando o aumento dos açúcares fermentescíveis para a produção de etanol por diferentes cepas de *Saccharomyces cerevisiae* e *Zymomonas mobilis*. O ácido sulfúrico foi selecionado como mais adequado para a sacarificação do melaço de soja. A hidrólise enzimática do melaço pela enzima α -1,6-galactosidase proporcionou um aumento de 20% no rendimento de açúcares totais. No entanto, a melhoria do rendimento não compensou o custo adicional.

4.1.2. Hidrólise Enzimática

Além da hidrólise ácida, os açúcares também podem ser hidrolisados por enzimas. A hidrólise de oligossacarídeos gera açúcares redutores e sacarose, um açúcar fermentescível, por meio da ação de enzimas α -galactosidases e de invertases (CALLEGARI, 2003).

SILVA et al. (2011) estudaram a produção de etanol por fermentação do melaço de soja utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* nas condições in natura, hidrólise enzimática por α -galactosidase, a qual hidrolisa as ligações α -1,6 presentes nos oligossacarídeos como a rafinose e a estaquiose representadas na Figura 10, e posterior fermentação. Os autores também avaliaram a obtenção de etanol por uma terceira condição, a de hidrólise enzimática e fermentação simultâneas.

Figura 11: Ligações glicosídicas das estruturas de sacarose, rafinose e estaquiiose e as enzimas invertase e α -galactosidase, que hidrolisam as ligações



Fonte: Adaptado de SANADA et al. (2009)

Ao comparar as duas fermentações, com hidrólise enzimática separada e simultânea, os autores verificaram que na hidrólise separada, a produção de etanol foi de 54,6 g/L e o rendimento de 67,5%, cerca de 9,4% superior em relação aos obtidos para hidrólise e fermentação simultâneas, os quais foram 49,9 g/L de etanol e rendimento de 62,0%. Além disso, concluíram que o melaço de soja mostrou-se um substrato potencial para a produção de etanol em bioreator nas três condições estudadas (SILVA et al., 2011).

SIQUEIRA et al., (2008) avaliaram a hidrólise ácida para liberar açúcares fermentáveis e a metodologia utilizada proporcionou um aumento de 17% no rendimento do etanol, entretanto, devido às severas condições exigidas, tais como, ácido clorídrico a 10% (v/v), pH 0,1 e temperatura de 100 °C durante 60 minutos, o processo demonstrou ser economicamente inviável.

4.2. Fermentação e obtenção do etanol

A produção de etanol é um processo anaeróbico e a formação de produto está interligada ao crescimento celular (SILVA, 2011). É realizada na maioria das vezes em condições não estéreis ou semi-estéreis. Em um processo não estéril as próprias condições de fermentação, tais como pH ácido, pressão osmótica elevada, evitam a ocorrência de

contaminação. No caso da fermentação semi-estéril é feito um tratamento térmico para diminuir a contaminação do meio.

Além dos contaminantes, outro quesito que influencia o processo de fermentação é a presença de inibidores. As grandes frações de dióxido de carbono liberadas na fermentação causam aumento de pressão dentro do biorreator e conseqüente parada precoce da fermentação, logo, deve ser eliminado. Em excesso, esse componente também altera a ação de enzimas e estrutura da membrana celular (MACHADO, 1999).

SILVA (2011) inferiu que o melaço de soja é uma solução com elevado teor de açúcares, como estas substâncias são geralmente concentradas por evaporação, ocorre formação de inibidores por decomposição térmica dos açúcares, sendo possível converter apenas de 80 a 95% dos açúcares em etanol, dependendo do melaço utilizado.

Segundo esse autor, a fermentação alcoólica pode ser conduzida por leveduras, bactérias e fungos. Para produção de altas concentrações de etanol, o uso de leveduras é a melhor opção, devido a sua resistência ao etanol e a altas concentrações de açúcares. Além disso, esses microrganismos têm características essenciais para que a reação ocorra de maneira eficiente, tais como temperatura ótima de crescimento alta, resistência ao stress mecânico e químico e especificidade na produção do etanol. O processo ocorre de forma mais lenta, porém, proporciona um ambiente menos exposto a contaminações, com pH de valores baixos. MACHADO (1999); SILVA (2011); SIQUEIRA et al., (2008); ROMÃO (2012) foram autores que utilizaram leveduras para produzir etanol a partir do melaço de soja.

Dentre as leveduras existentes, a *Saccharomyces cerevisiae* é a mais utilizada na fermentação industrial (MACHADO, 1999), empregando a glicólise como principal rota para catabolizar açúcares (LIMA; BASSO; AMORIM; 2001). Em sua tese, MACHADO (1999) relatou 55% de produtividade de álcool utilizando melaço de soja, nas condições de pH igual a 6,0, temperatura de 30 °C e utilização da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

SCHNEIDER (2016) estudou a utilização do melaço de soja para produção de etanol por meio de processos fermentativos utilizando a levedura comercial *Saccharomyces cerevisiae* CAT-1. Nas condições de concentração inicial de inóculo de 14,77 g/L e concentração inicial de açúcar total de 146,43 g/L, a autora obteve teor alcoólico de $4,51 \pm 0,23$ °GL, em 36 horas de fermentação.

No processo de fermentação da cana-de-açúcar é utilizado *Saccharomyces cerevisiae*. Duas cepas importantes, CAT-1 e PE-2, foram isoladas e responsáveis por quase 60% da produção total de etanol no Brasil. No entanto, na última década o substrato fermentativo foi modificado, uma vez que novas safras de cana-de-açúcar foram desenvolvidas, o melaço de

cana começou a ser usado no lugar do caldo de cana e a queima de cana-de-açúcar antes da colheita passou a ser proibida. Como consequência, essas cepas estão sendo substituídas por novas leveduras, mais adaptadas às condições de fermentação, com características importantes, como, por exemplo, termo tolerância e tolerância ao etanol que, quando em excesso, possui efeito inibitório ao metabolismo microbiano (DE SOUZA et al., 2018).

CRUZ (2019) estudou o perfil fermentativo de duas linhagens industriais da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, Y-904 e Ethanol Red, em processos de fermentação conduzidos em batelada repetida. A mesma autora estudou em 2015, a resistência de *Saccharomyces cerevisiae* Y904 ao etanol em um processo de fermentação alcoólica operado em batelada alimentada. Foram determinados os valores ótimos de 240,35 g/L e 26 °C, condições que permitiram experimentalmente uma produtividade de 6,0 g/L.h, um rendimento de 93% e um teor alcoólico de 113,6 g/L, após 10 h de fermentação.

5. PERSPECTIVAS DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO MELAÇO DE SOJA

Segundo SARKAR et al., (2012), vários estudos têm analisado a possibilidade de consumir a biomassa produzida por processos industriais para produzir bioetanol de segunda geração. Este biocombustível apresenta potencial poluidor reduzido em relação à gasolina.

Na composição do melaço de soja são encontrados oligossacarídeos e fibras insolúveis que encarecem sua utilização ao requerer pré-tratamentos para liberação dos monômeros fermentescíveis para serem utilizados na conversão (LOMAN; JU, 2016). Tal tratamento acarreta um aumento significativo nos custos envolvidos nos processos industriais, limitando a sua utilização como matéria-prima.

SIQUEIRA et al. (2008) ampliaram o processo de fermentação do melaço em escala de bancada para escala industrial, obtendo 162,7 L de etanol por tonelada de melaço seco. Porém, foi necessário um pré-tratamento do melaço, além da aplicação de antibióticos para o controle da contaminação do fermento e dispersante para controle de espuma, tornando o processo dispendioso e ainda mais complexo.

Segundo MAIORELLA (1985), as decomposições dos açúcares causadas principalmente pela desidratação podem contribuir para reduzir a produção de etanol. A presença de sais de cálcio bem como a formação de substâncias tóxicas geradas durante a

concentração do melaço podem causar inibição ao metabolismo microbiano, e podem ser fatores influenciáveis.

Devido a custos e variáveis, ainda não existem processos consolidados para a utilização do melaço de soja e sua utilização como matéria-prima para fins industriais ainda é limitada (CHENG et al., 2017).

6. ASSOCIAÇÃO DE SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

A avaliação da associação do melaço de soja com outro substrato é tema de estudos. BRINGHETI et al., (2007) estudaram a fermentação do amido residual de indústria produtora de farinha de mandioca enriquecido com melaço de cana-de-açúcar. Os autores afirmaram que a adição de melaço ao resíduo de mandioca em doses a partir de 10% levou a um aumento no teor de açúcares no mosto, promovendo uma maior produção de etanol, equivalente a 112% em relação à solução sem o aditivo.

Uma interessante alternativa de associação do melaço de soja é sua fermentação em conjunto com caldo de cana-de-açúcar. No Brasil, as empresas produtoras de etanol utilizam majoritariamente como substrato a cana-de-açúcar, embora esta matéria-prima não esteja disponível para colheita durante três meses do ano (MACHADO, 1999). Seria vantajoso para as empresas produtoras de etanol possuir o melaço de soja como fonte de açúcar disponível durante todo o ano. Desta forma, MACHADO, (1999) inferiu que o melaço pode ser utilizado em conjunto com o caldo de cana e em períodos onde não haja produção de cana-de-açúcar, poderia ser fermentado sozinho.

Em seu estudo, observou o efeito da adição de cana-de-açúcar ao melaço de soja, em variadas proporções, em plantas industriais que processam melaço de cana por processo fermentativo para obtenção de etanol, utilizando todas as condições de processo usadas na cana-de-açúcar.

Com base nos resultados obtidos, o autor pôde concluir que o caldo de cana quando misturado ao melaço de soja, em proporções adequadas, resulta em ganho de produtividade, quando comparada à fermentação destes substratos separadamente. A mistura de 10 a 50% de carboidratos de melaço de soja com carboidratos provenientes da cana-de-açúcar (ou seja, 10% de açúcares da soja e 90% de açúcares de cana) apresenta uma maior produtividade (na ordem de 33,45 a 37,19%) de etanol quando comparado à fermentação apenas da cana-de-

açúcar. Além disso, o autor inferiu que os ganhos obtidos são resultantes da fração proteica e lipídica da soja (MACHADO, 1999).

Segundo DUARTE et. al (1997) o óleo de soja quando adicionado a meios de cultura pode aumentar a viabilidade celular. Isto ocorre, pois o microrganismo não tem capacidade de sintetizar ácidos graxos e esteróis em anaerobiose, necessitando do ciclo do ácido cítrico por aerobiose. Os ácidos graxos e esteróis são importantes para a formação de novas células de leveduras e conseqüentemente para maior produção de etanol.

SOUSA; GONÇALVES; FALLEIROS (2018) investigaram o uso do melaço de cana-de-açúcar e permeado de soro de leite para obter bioetanol por fermentação com a levedura termo tolerante *Kluyveromyces marxianus*. A associação no meio de fermentação levou a concentrações mais elevadas de etanol, cerca de 49,11 g/L, na proporção de 80% de soro de leite e 20% melaço de cana-de-açúcar, concluindo que o aproveitamento dos resíduos agroindustriais na fermentação ocasiona uma aplicação industrial viável e vantajosa por serem subprodutos de baixo custo.

Existem também outras alternativas de se produzir etanol por meio da associação de substratos. Estudos feitos avaliam o potencial aproveitamento de resíduos nos processos produtivos ou a utilização de culturas alimentares, largamente disponíveis no Brasil. FARIAS (2015) produziu etanol via fermentação utilizando os subprodutos soro de leite e água de maceração de milho. Neste estudo, dois meios fermentativos, um deles contendo 100% de milhocina e o outro 25% de soro de leite com 75% de milhocina, ambos suplementados com glicose foram considerados os melhores para produção de bioetanol atingindo-se eficiência de fermentação em torno de 90% para ambos.

SILVA (2013) desenvolveu um processo de produção de etanol utilizando conjuntamente, a batata-doce, o milho e a mandioca. Explorou-se a fermentação das três matérias-primas em diferentes combinações e os resultados dos ensaios mostraram que a faixa ótima para máximo rendimento de açúcares redutores ocorreu quando 0,36 ml de α -amilase e 10,18 ml de glicoamilase foram utilizados por kg de amido (base seca), e que a condição otimizada para fermentação da mistura foi de 2,25% de levedura e 24 horas de fermentação, sob a qual se obteve o maior rendimento de etanol. Quando se compararam as diferentes combinações das matérias-primas, verificou-se que a mistura das amiláceas batata-doce, o milho e a mandioca, produziu o maior volume de etanol, com valor médio igual a 13301,62 L/ha.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao pesquisar trabalhos na literatura, não foram encontrados estudos aprofundados vinculados à fermentação conjunta de melaço de soja e cana-de-açúcar para a produção de etanol. Cabe ressaltar a dificuldade em encontrar trabalhos que avaliaram a associação de melaço de soja e cana-de-açúcar, bem como a associação dessas matérias-primas a outros substratos e, principalmente em encontrar estudos sobre a viabilidade econômica do aproveitamento do melaço de soja.

De acordo com o levantamento bibliográfico feito, diversos estudos apontam a viabilidade do melaço de soja para produção de etanol, devido às características favoráveis dessa matéria-prima. Com este trabalho foi possível apresentar a composição do melaço de soja e seu grande potencial de carboidratos para fermentação, entretanto, ainda não há um método consolidado na indústria, devido à necessidade de pré-tratamento por hidrólise e custos associados.

Além disso, uma vez que o melaço de soja é um resíduo agroindustrial de grande volume, sugere-se que seu aproveitamento continue sendo fonte de estudos, com destaque para metodologia da produção de etanol em escala industrial e para a promissora produção de etanol através da fermentação conjunta do melaço de soja com a cana-de-açúcar.

A produção de etanol é possível também de ocorrer a partir da fermentação de outros substratos, como milho, batata doce, mandioca. Diante disso, depreende-se que a produção de etanol de segunda geração depende não somente da viabilidade técnica, mas também da viabilidade econômica e do interesse por parte das indústrias processadoras de culturas agrícolas.

REFERÊNCIAS

- ALBARELLI, J. Q. **Produção de açúcar e etanol de primeira e segunda geração: simulação, integração energética e análise econômica.** Tese de doutorado. Campinas (SP), Unicamp. 2013.
- ANDRADE, E. T. de, CARVALHO, S. R. G. de e SOUZA, L. F. de (2010). Programa Do Proálcool E O Etanol No Brasil. **Engevista**. 11(2), pp. 127–136. doi: 10.22409/engevista.v11i2.236.
- ANWAR Z., GULFRAZ M., IRSHAD M. Agro-industrial lignocellulosic biomass a key to unlock the future bio-energy: a brief review. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**. v. 7, i. 2, p. 163–173, 2014.
- APROSOJA. **Associação dos produtores de soja.** Apresenta texto sobre a soja. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>>. Acesso em: 9 Mai 2021.
- BELLAVER, C.; SNIZEK, J.P.N. Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves. CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, Londrina, PR. **Anais. EMBRAPA-SPI**. p.183-199, 1999.
- BRAUNEGG, G.; BONA, R.; KOLLER, M. Sustainable polymer production. **Polym.-Plant. Technol.** v. 43, p.1779-1793, 2004.
- BRINGHENTI, L.; CABELLO, C.; URBANO, L. H. Fermentação alcoólica de substrato amiláceo hidrolisado enriquecido com melão de cana. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 429-432, mar./abr., 2007.
- BRUNINI, M. A.; BARROS, M. A.; PEREIRA, M.; CERQUEIRA, J. B.; MENEZES, P. T. R.; FURTADO, I. R. 2016. Qualidade de grãos de onze cultivares de soja. **Nucleus Animalium**, São Paulo, v. 8, n. 2.
- CALDEIRÃO, L.; TANAKA, C.; IDA, E.; SPINOSA, W. Modeling and kinetic study of bioethanol production from soy protein concentrate by-product. **Food Science and Technology** (Campinas), v. 36, n. 2, p. 369–374, 2016.
- CARDONA, C.A., QUINTERO, J.A., PAZ, I.C. Production of bioethanol from sugarcane bagasse: status and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 101, i. 13, p. 4754–4766, 2010.
- CARDONA, C.A., SÁNCHEZ, O.J., 2007. Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities. **Biores. Technol.** 98, 2415–2457.
- CALLEGARI, C.M. **Hidrólise de Oligossacarídeos de Rafinose presentes em produtos de soja, por α -galactosidases.** 2003. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CHAGAS, B. S. et al., Produção de celulose bacteriana a partir de melão de soja hidrolisado. **Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio**, IX, São Carlos, 2017.
- CHEN, J.C.P. and CHOU, C.C. (1993) **Cane Sugar Handbook: A Manual for Cane Sugar**

Manufacturer and Chemists. John Willey and Sons, Inc., New York, 401-403.

CHENG, C.; ZHOU, Y.; LIN, M.; WEI, P.; YANG, S. T.. Polymalic acid fermentation by *Aureobasidium pullulans* for malic acid production from soybean hull and soy molasses: fermentation kinetics and economic analysis. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 23, p. 166-174, 2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2020. **Levantamentos de safra**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 25 Maio 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 9 Mai 2021.

COSTA, S.I.; MIYA, E.E.; FUJITA, J.T. Composição química e qualidades organolépticas e nutricionais das principais variedades de soja cultivadas no Estado de São Paulo. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.5, p.305- 319, 1974.

CRUZ, M. L. **Avaliação de condições operacionais na fermentação alcoólica VHG empregando diferentes cepas de *Saccharomyces cerevisiae***. 2019. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.321>.

DAMASCENO, S.; CEREDA, M. P.; PASTORE, G. M. M.; OLIVEIRA, J. G. Production of volatile compounds by *Geotrichum fragrans* using cassava wastewater as substrate. **Process Biochemistry**, v. 39, p. 411-414, 2003.

DE SOUZA, J.P., DO PRADO, C.D., ELEUTHERIO E.C.A., Bonatto, D., MALAVAZI, I., DE CUNHA, A.F., 2018. Improvement of Brazilian bioethanol production e challenges and perspectives on the identification and genetic modification of new strains of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts isolated during ethanol process. **Fungal. Biol.** 122, 583 e 591.

DIAS, F.L.F. **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1997. 64p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

DUARTE et al. Effect of soy oil on the carbohydrate reserves of *Saccharomyces uvarum* IZ 1904 in fermentative conditions. **Revista de Microbiologia**, São Paulo, v.28, p.17-22, 1997.

EMBRAPA. **A agricultura brasileira**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 22 Jul 2021.

EMBRAPA SOJA. **Histórico da Soja no Brasil**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>>. Acesso em: 9 Mai 2021.

ERICKSON, D. R. **Composition of soybeans and soybeans products. In: Practical handbook of soybean processing and utilization**. Ed ERICKSON, D. R. American Soybean Association, St Louis, Missouri and American Oil Chemists' Society, Champaign, Illinois, 1995.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crop yield response to water**. Italy: FAO, 2012.

FARIAS, F. O.; **Produção de etanol de segunda geração a partir do soro do leite e água de maceração de milho**. Ponta Grossa, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Área de Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

FONTANETTI, C. S.; BUENO, O. C. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. 1. ed. Bauru: Canal 6, 2017. Disponível em: <http://www.canal6.com.br/livros_loja/Ebook_Cana.pdf>. Acesso em: 16 Mai de 2021.

GONÇALVES, L. C.; DE ANDRADE, A. P. C.; RIBEIRO, G. P.; SEIBEL, N. F. Composição química e propriedades tecnológicas de duas cultivares de soja. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, i.1, p. 33-40, 2014.

GRIJÓ, D. R.; MELO, B. N. Análise do potencial do melaço como novo subproduto na indústria da soja. **Blucher Proceedings**, 2017.

GROFF, A. M. **Fatores de Produção Agropecuária: Apostila, transparências e notas de aulas**. Campo Mourão: PP, Departamento de Engenharia de Produção, FECILCAM, 2010.

GURGEL, L. V. A. **Hidrólise ácida de bagaço de cana-de-açúcar**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Química) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2020_nov.pdf>. Acesso em: 9 Mai 2021.

IMCOPA. **Apresenta texto sobre Soja**. Disponível em <<http://www.imcopa.com.br/index.php>> Acesso em: 15 Mai. 2021.

JOHNSON, L.A. MYERS, D.J. BURDEN, D.J. Soy protein's history, prospectis in food. **Feed. Inform.** v 3. p 429-444. 1992.

LETTI, L. A. J.; KARPI S.G.; WOICIECHOWSKI, A. L.; SOCCOL, R.C. Ethanol production from soybean molasses by *Zymomonas mobilis*. **Biomass and Bioenergy**, [S. l.], v. 44, p. 80-86, 2012.

LIMA, U.A.; BASSO, L.C.; AMORIM, H.V. Produção de etanol. In: LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. Biotecnologia industrial: Processos fermentativos e enzimáticos. 1. ed. São Paulo: **Edgard Blücher**, 2001. cap. 1, p. 1-40.

LOMAN, A. A.; JU, L.K. Soybean carbohydrate as fermentation feedstock for production of biofuels and value-added chemicals, **Process Biochem**, 2016.

MACHADO, R. P. **Produção do etanol a partir do melaço de soja**. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

MACHADOP, S. S. **Tecnologia da Fabricação do Açúcar**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

MAIORELLA, B.L.; BLANCH, H. W.; WILKE, C. R. Feed component inhibition of

ethanolic fermentations by *Saccharomyces cerevisiae*. **Biotechnology and bioengineering**, 1984.

MANDARINO, M. G.; ROESSING, A. C. Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos. Londrina: **Embrapa Soja**, 2001 40p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n. 171).

MARCHIORI, Luis Fernando Sanglade. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. 275 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), USP, Piracicaba, 2004.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2016. **Relação das unidades produtoras cadastradas no departamento da cana-de-açúcar e agroenergia**. Brasília: MAPA. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/Orientacoes_Tecnicas/Usinas%20e%20Destilarias%20Cadastradas/DADOS_PRODUTORES_23-08-2013.pdf>. Acesso em: 9 Jun. 2021.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; JR., G. B. M.; Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, v.58, n.2, p.295-301, abr./jun. 2001.

MONTELONGO, J. L.; CHASSY, B. M.; MCCORD, J. D. Lactobacillus salivarius for Conversion into Lactic Acid of Soy Molasses. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 4, p. 863–866, 1993.

OLIVEIRA, M. A. DE; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; MANDARINO, J. M. G.; LEITE, R. S.; CAMPOS FILHO, P. J.; VICENTINI, M. B. Quantificação dos teores de açúcares, oligossacarídeos e amido em genótipos/ cultivares de soja (*Glycine Max (L) Merrill*) especiais utilizados para alimentação humana. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 1, p. 23–29, 2010.

PARAZZI, C.; PAPIN, L.; BELLUCO, A. E. S. Hidrólise enzimática do amido do caldo da cana-de-açúcar na fermentação etanólica. **Revista Ciência, tecnologia e ambiente**. 2017.

PAULA, C. G. 2015. **Suplementação com melaço de soja na dieta de ovinos: parâmetros sanguíneos, consumo, digestibilidade e comportamento ingestivo**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. Dissertação Mestrado.

PÍPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; JUNIOR, A. A. B.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria. **Comunicado Técnico 86 EMBRAPA**, p. 1–16, 2015.

RAMALHO, J. T. RODRIGUES, DE OLIVEIRA, R. da S. A. C. B. Composição química de diferentes genótipos de soja convencionais. **7º Simpósio de Segurança Alimentar**. Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos-RS, 2020.

RODRIGUES, B. C. G. **Aproveitamento do melaço de soja para produção de biometano em reator UASB**. 2019. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, 2019.

ROMÃO, B.B. **Produção De Etanol Por Hidrólise Ácida De Melaço De Soja**. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2012.

ROJAS, M. J.; SIQUEIRA, P. F.; MIRANDA, L. C.; TARDIOLI, P. W.; GIORDANO, R. L. C. Sequential proteolysis and cellulolytic hydrolysis of soybean hulls for oligopeptides and ethanol production. **Industrial Crops and Products**. v.61, p. 202–210, november. 2014.

SANADA, C. T. N. et al., Utilization of soybean vinasse for α -galactosidase production. **Food Research International**. Curitiba, v. 42. p. 476-483, 2009.

SANNI, A.I. ONILUDE, A. A. OGUNDOYE, O. R. Effect of bacterial galactosidase treatment on the nutritional status of soybean seeds and its milk derivative. **Nahrung**. v 41. p 18-21. 1997.

SANTANA, Nívio Batista. **Efficiency of cassava starch hydrolysis by different sources of enzymes and alcoholic-fermentation yield for ethanol production**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos; Tecnologia de Alimentos; Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SANTOS, H. M. C.; OLIVEIRA, M. A.; OLIVEIRA, A. F.; OLIVEIRA, G. B. A. Composição centesimal das cultivares de soja BRS 232, BRS 257 e BRS 258 cultivadas em sistema orgânico. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, Campo Mourão (PR), v.1, n.2, p.117-119, jul./dez., 2010.

SARKAR, N., GHOSH, S.K., BANNERJEE, S., AIKAT, K., 2012. Bioethanol production from agricultural wastes: an overview. **Renew. Energy** 37 (1), 19–27.

SCHENEIDER, K. L. **Otimização das condições ambientais para produção de etanol a partir do melaço de soja**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SCHOPF, N., ERBINO, P. & PUVOGEL, A. Alternative Fuels: Energetic Use of Liquid By-products from Sugar and Soy Processing. **Sugar Tech** 16, 333–338 (2014). <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0291-0>

SILVA, C. R. **Remoção de galactooligossacarídeos em melaço de soja para obtenção de produtos de interesse industrial**. 2010. 60 f. Tese (Doctor Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SILVA, F. A. L. **Fermentação etanólica conjunta da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), Mandioca (*Manihot esculenta*) e Milho (*Zea mays*)**/Fernanda Aparecida Lima Silva. Palmas, 2013. 117f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Tocantins, Mestrado em Agroenergia. Linha de pesquisa: Processos de obtenção de biocombustíveis e avaliação de aproveitamento de seus resíduos. 2013.

SILVA, F. B. **Produção de Etanol a partir de Melaço De Soja Hidrolisado Enzimaticamente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2011.

SIQUEIRA, P. F. et al. (2008) ‘Production of bio-ethanol from soybean molasses by *Saccharomyces cerevisiae* at laboratory, pilot and industrial scales’, **Bioresource Technology**, 99(17), pp. 8156–8163. doi: 10.1016/j.biortech.2008.03.037.

SOUSA, C.C., GONÇALVES, G.T.I., FALLEIROS, L.N.S.S., 2018. Ethanol Production Using Agroindustrial Residues as Fermentation Substrates by *Kluyveromyces marxianus*. **Ind Biotechnol** 14 (6), 308-314.

TAUNAY, C.A. **Manual do Agricultor Brasileiro**. Reedição em 2001. São Paulo: Companhia das Letras, 1839. 328p.

THOLOZAN, J.; SINGHANIA, R. R.; PANDEY, A.; SOCCOL, C. R. Production of bio-ethanol from soybean molasses by *Saccharomyces cerevisiae* at laboratory, pilot and industrial scales. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8156–8163, 2008.

TOPPA, E. V. B. et al. (2010). **Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. Currículo Lattes, 6325, pp. 215–222.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Histórico de produção e moagem**. Disponível em: <<https://observatoriocana.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2>>. Acesso em: 23 Jun 2021.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign Agricultural Service**. Sugar: World Markets and Trade, mai. 2020. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/sugar-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 16. jun. 2020.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e mercado de etanol. **Caderno Setorial ETENE**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 5, n.122, ago. 2020. (Série Caderno Setorial ETENE, n.122).

VIEIRA, C. R.; CABRAL, L. C.; PAULA, A. C. O. de; Composição centesimal e conteúdo de aminoácidos, ácidos graxos e minerais de seis cultivares de soja destinadas à alimentação humana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p.1267-1283, jul. 1999.

XIANG, Q. **Conversion of lignocellulosic substrate into chemicals: kinetic study of dilute acid hydrolysis and lignin utilization**. Tese (Doutorado) - Universidade de Auburn,Alabama.2002.

