



Mapeamento e Avaliação de oportunidades tecnológicas para o reaproveitamento dos subprodutos da soja no Brasil

João Pedro da Silva Monteiro

Monografia em Engenharia Química

Orientador

Prof. Fábio Oroski, D.Sc

Novembro de 2019

Mapeamento e Avaliação de oportunidades tecnológicas para o reaproveitamento dos subprodutos da soja no Brasil

João Pedro da Silva Monteiro

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc.

Fernanda de Souza Cardoso, M.Sc.

Orientado por:

Fábio Oroski, D.Sc.
(Orientador – presidente da banca)

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Novembro de 2019

da Silva Monteiro, João Pedro

Mapeamento e Avaliação de oportunidades tecnológicas para o reaproveitamento dos subprodutos da soja/

João Pedro da Silva Monteiro - Rio de Janeiro, 2019

127 f.

Orientador: Fábio Oroski.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Bacharel em Engenharia Química, 2019.

1. Complexo soja. 2. Okara. 3. Farelo de soja. 4. reaproveitamento tecnológico. I. Fábio Oroski, orient. Título.

AGRADECIMENTOS

É até complicado saber por onde começar os agradecimentos. São muitos os anjos da guarda que passaram pela minha trajetória e me ajudaram de inúmeras formas para possibilitar que eu ao menos eu tivesse a chance de apresentar esse tcc.

Primeiro, gostaria de agradecer à minha família, minha mãe Lenir, meu pai Carlos, minha irmã Maria, minha tia Tânia, meu tio Daniel, meus avôs Monteiro e Oswaldo e minhas avós Neusa e Lenilda. Se eu tive a oportunidade de ser bem-educado, de receber muita motivação nos momentos difíceis foi por causa de vocês. Vocês são a melhor família que qualquer menino poderia pedir, e eu vou sempre me lembrar do amor e do esforço que vocês colocaram todos os dias para que eu pudesse ser alguém melhor. Por isso, eu desejo o meu muito obrigado, amo vocês.

Não posso deixar de agradecer imensamente a todos os meus amigos da vida, da escola e da faculdade. Vocês foram a ajuda e a companhia nos momentos mais difíceis do caminho. A frase “ninguém se forma sozinho” ilustra de forma esplendorosa o poder dos amigos.

Alguns amigos de faculdade são tão especiais que os nomes deles devem ficar gravados. À minha turma 2013.2 querida, em especial, Igor, Duan, Guilherme, Perik, Kuririm, Binho, Satta, Mikinho, Isaa, Jéssica Rodrigues, Jéssica Lima, Camis, Koringa, braguinha e Gean, eu desejo todo o sucesso do mundo e agradeço pelos churrascos e zoeiras. Aos meus amigos de Chimie ParisTech, Renan, Bruna, Ju, Liii, Giu e Van, saibam que vocês são as melhores companhias que eu poderia ter tido durante o período gelado francês. Muito obrigado pelas boas soirées, jantares e viagens que fizemos juntos!! Por fim, aos amigos que se aproximaram mais de mim depois do intercâmbio, Tata, Gaby, Dioguinho, Gabriel, Malu (moça), Erika, Tulhão e JV, vocês foram o incentivo e a motivação para que eu pudesse acabar, de uma vez por todas essa jornada de 6 ano e meio, muito obrigado!

Gostaria de agradecer também a todos meus professores. Vocês são a fonte de inspiração e passagem de conhecimento que permitiram que eu fosse 1% do que vocês representam. Uma vida sem professores é uma vida perdida. Se as pessoas escutassem

somente um pouquinho do que vocês têm a passar, o mundo seria um lugar muito melhor, Obrigado!

Devo agradecer também à Escola de Química e à Chimie ParisTech que foram a minha segunda ou primeira casa durante esses 6 anos e meio de jornada. Fui um aluno privilegiado em poder usufruir do melhor que a universidade pública tem a oferecer em termos de conhecimento.

Agradeço também a todos os profissionais e empresas que acreditaram no meu potencial durante todo esse tempo. O LadQuim, o laboratório de sistemas biológicos imobilizados, o 2PM, a TechnipFMC e a BR distribuidora foi onde eu aprendi que apesar de um trabalho técnico, no final de tudo ainda trabalhamos com pessoas e elas são a base de tudo. Por fim, gostaria de agradecer a toda a banca por me dar o privilégio de apresentar esse trabalho final de curso diante de vocês e ao meu orientador Fábio Oroski, por sempre embarcar e contribuir com todas as minhas ideias e loucuras, muito obrigado!

Resumo da monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Mapeamento e Avaliação de oportunidades tecnológicas para o reaproveitamento dos subprodutos da soja

João Pedro da Silva Monteiro
Novembro, 2019

Orientador: Prof. Fábio Oroski, D.Sc.

O complexo soja representa o produto com maior produção do setor agrícola brasileiro, tendo sido produzidas 117 milhões de toneladas de grãos de soja no biênio 2018/2019, e por esse motivo, é um dos principais produtos da economia brasileira. No processo produtivo de soja, e posteriormente, do óleo e do leite de soja, são gerados subprodutos como o Okara (resíduo do leite) e o farelo de soja (resíduo do óleo de soja). Atualmente, esses resíduos são destinados para a alimentação animal, sobretudo de gado, entretanto, diversos estudos propõem rotas alternativas para a transformação desses subprodutos em produtos de maior valor tecnológico. Dessa forma, esse trabalho objetiva mapear e avaliar as oportunidades tecnológicas para a transformação desses subprodutos da soja no Brasil. Para tal, foi realizada uma pesquisa qualitativa exploratória em bases de artigos científicos a fim de encontrar trabalhos relacionados com o objetivo principal do trabalho. A partir desses documentos as oportunidades tecnológicas foram exploradas e classificadas em termos dos produtos obtidos (final ou intermediário; commodity ou especialidade) e dos desafios tecnológicos e não-tecnológicos. Os resultados encontrados mostraram que existem outras alternativas para a utilização dos subprodutos da soja, em diversos setores industriais, evidenciando o potencial tecnológico do Okara e do farelo. Todavia, essas aplicações apresentam barreiras tecnológicas, tais quais, o escalonamento e a recuperação de produto, e barreiras não-tecnológicas, como a necessidade de investimentos e criação de demanda que dificultam as suas entradas no mercado brasileiro de forma competitiva.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Introdução	6
CAPÍTULO 2 – Revisão Bibliográfica	11
2.1 - Características da soja	11
2.2 - Mercados Mundial e Brasileiro da Soja	13
2.3 - Processo produtivo da soja para obtenção do óleo de soja	18
2.4 - Processo produtivo da soja para obtenção do leite de soja	28
2.5 - Caracterização do farelo de soja e do Okara	29
CAPÍTULO 3 – Metodologia	31
CAPÍTULO 4 – Resultados	38
4.1 - Aplicações Tecnológicas para o Okara	40
4.1.1 - Agroindústria	40
4.1.2 - Indústria de Cosméticos	41
4.1.3 - Indústria Farmacêutica	42
4.1.4 - Indústria de alimentos	43
4.1.5 - Indústria de tratamento de efluentes	49
4.1.6 - Indústria química	50
4.1.7 - Indústria no geral	51
4.2 - Aplicações Tecnológicas para o farelo de soja	58
4.2.1 - Agroindústria	59
4.2.2 - Indústria de biocombustíveis	59
4.2.3 - Indústria de alimentos	61
4.2.4 - Indústria de tratamento de efluentes	63
4.2.5 - Indústria de polímeros	68
4.2.6 - Indústria da construção civil	70
4.2.7 - Indústria no geral	72
CAPÍTULO 5 – Discussão dos resultados	76
5.1 - Classificação e análise dos produtos/aplicações para o Okara	89
5.1.1 - Agroindústria	89
5.1.2 - Indústria de Cosméticos	90
5.1.3 - Indústria farmacêutica	90
5.1.4 - Indústria de alimentos	91

5.1.5 - Indústria de tratamento de efluentes	95
5.1.6 - Indústria química	95
5.1.7 - Indústria no geral	96
5.2 - Classificação e análise dos produtos/aplicações para o farelo de soja	98
5.2.1 - Agroindústria	98
5.2.2 - Indústria de biocombustíveis	99
5.2.3 - Indústria de alimentos	99
5.2.4 - Indústria de tratamento de efluentes	100
5.2.5 - Indústria de polímeros	102
5.2.6 - Indústria da construção civil	103
5.2.7 - Indústria no geral	104
CAPÍTULO 6 – Conclusão	107
Referências	108
ANEXOS	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 - Objetivos da Agenda 2030 da ONU (ONU, 2015).....	7
Figura 2. 1 – Partes do grão da soja traduzido de (<i>OHYAMA et al., 2017</i>).....	11
Figura 2. 2 - Calendário agrícola da soja no Brasil (IMEA, 2015)	12
Figura 2. 3 – Evolução da produção mundial de grãos (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA), 2017, 2018, 2019)	14
Figura 2. 4 - Evolução da produção brasileira de grãos (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA), 2017, 2018, 2019)	15
Figura 2. 5 - Capacidade Instalada de Processamento (Toneladas/dia) - Indústria brasileira de grãos 2018. (ABIOVE, 2019a)	15
Figura 2. 6 - Produção de Soja em grãos mundial em 2018-2019. (CONAB, 2018).....	16
Figura 2. 7 - Evolução do mercado de grãos de soja (1000 t). (CONAB, 2008)	17
Figura 2. 8 - Evolução do mercado de farelo de soja (1000 t). (CONAB, 2018).....	17
Figura 2. 9 - Evolução do mercado de óleo de soja (1000 t). (CONAB, 2018)	17
Figura 2. 10 - Dinâmica da Indústria transformadora de soja no Brasil. (MIZUKAWA, 2008).....	19
Figura 2. 11 - Distribuição do plantio de soja no Brasil (EMBRAPA, 2017).....	20
Figura 2. 12 - Distribuição das indústrias da soja por capacidade instalada (DE OLIVEIRA, 1995).....	20
Figura 2. 13 - Vendas das maiores traders de commodities da agricultura (US\$ Milhões) – Traduzido de(IPES FOOD, 2017)	23
Figura 2. 14 - Fluxograma de transformação da soja (BRANDLI et al., 2009).....	24
Figura 2. 15 - Prensa contínua "expeller" : 1- Motor Elétrico, 2- Redutor, 3- Entrada dos grãos condicionados, 4- rosca helicoidal, 5- cesto, 6- cesto de saída, 7- saída da torta (EMBRAPA TECNICAS, 2001).....	26
Figura 2. 16 - Processo de produção do leite de soja (VONG; LIU, 2016)	29
Figura 3. 1 - Distribuição dos reviews da base Science Direct ao longo dos anos.....	33
Figura 3. 2 - Distribuição dos artigos da base Science Direct ao longo dos anos	34
Figura 3. 3 - Distribuição das publicações ao longo dos anos.....	35
Figura 3. 4 - Distribuição da literatura encontrada sobre rotas tecnológicas para a transformação dos subprodutos da soja por país	36
Figura 3. 5 - Distribuição da literatura encontrada sobre rotas tecnológicas para a transformação do Okara por país.....	37
Figura 3. 6 - Distribuição da literatura encontrada sobre rotas tecnológicas para a transformação do farelo de soja por país	37
Figura 4. 1 - Produtos/aplicações para os subprodutos da soja separados por tipo de indústria	39
Figura 4. 2 - Controle de pragas pelo Iturim A (PHAE et al., 1992)	41
Figura 4. 3 - Rota Sintética para obtenção dos catalisadores C-N (WANG et al., 2015).....	51

Figura 4. 4 - Distribuição dos componentes recuperados na fermentação do Okara (CHUNG et al., 2011).....	56
Figura 4. 5 - Fluxograma para a produção de Bioetanol (CONTRERAS et al., 2019).....	60
Figura 4. 6 - Aplicação da celulose microcristalina em polímeros. Adaptado de (SIRÓ; PLACKETT, 2010)	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. 1 – Produção e estimativa para 2019 de cereais, leguminosas e oleaginosas. (IBGE, 2019).....	8
Tabela 2. 1 – Distribuição em frações (%) dos principais constituintes do grão de soja (GUNSTONE, 2002).....	12
Tabela 2. 2 – Composição média dos subprodutos da soja. (LI; QIAO; LU, 2012; LI et al., 2013).....	30
Tabela 3. 1 – Resultados da pesquisa metodológica	32
Tabela 4. 1 – Biossurfactantes e ramos industriais de aplicação. (BUGAY, 2009).....	58
Tabela 5. 1 – Classificação dos produtos/aplicações do Okara.....	79
Tabela 5. 2 – Classificação dos produtos/aplicações do Okara (continuação).....	80
Tabela 5. 3 – Análise dos produtos/aplicações do Okara	81
Tabela 5. 4 – Análise dos produtos/aplicações do Okara (continuação)	82
Tabela 5. 5 – Análise dos produtos/aplicações do Okara (continuação)	83
Tabela 5. 6 – Análise dos produtos/aplicações do Okara (continuação)	84
Tabela 5. 7 – Classificação dos produtos/aplicações do farelo de soja	85
Tabela 5. 8 – Análise dos produtos/aplicações do farelo de soja	86
Tabela 5. 9 – Análise dos produtos/aplicações do farelo de soja (continuação)	87
Tabela 5. 10 – Análise dos produtos/aplicações do farelo de soja (continuação)	88

CAPÍTULO 1 – Introdução

No mundo, a relevância sobre a questão do desperdício de alimentos vem crescendo porque tanto as empresas quanto os indivíduos estão começando a perceber que as formas de produção e consumo atuais estão pressionando o planeta, trazendo consequências sobre o meio ambiente e a sociedade em geral. (THE WORLD BANK, 2019)

Segundo o último levantamento atualizado no dia 23 de setembro de 2019, as cidades produziram 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos, o que representa uma quantidade diária de 0,74 kg de lixo produzido por pessoa. Segundo as projeções, esse valor tende a aumentar em 70% até 2050, o que representaria uma quantidade anual de 3,4 bilhões de toneladas de resíduos sólidos. Esses valores demonstram como o mundo precisa reavaliar os seus modelos atuais de produção e aproveitamento dos resíduos gerados. (THE WORLD BANK, 2019)

Os resíduos são gerados em grande parte por causa de ineficiências distribuídas ao longo das cadeias produtivas, desde as etapas iniciais de sua produção, até as etapas de distribuição e consumo. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), 54% das perdas de alimentos ocorrem nas operações de produção, armazenamento e transporte. (ELKHALIFA et al., 2019; FAO, 2018)

Na Europa, alguns países já estão começando a mudar os seus sistemas de produção de alimentos para diminuir não somente a perda e o desperdício, mas também repensando como transformar as cadeias produtivas na direção da sustentabilidade desenvolvendo e inserindo produtos a partir de matérias-primas biológicas. Em sua maioria, esses países estão sendo guiados pela Agenda 2030 das Organizações das Nações Unidas. Essa agenda, assinada por todos os países integrantes da ONU, fornece um projeto compartilhado para a paz e a prosperidade para as pessoas e o planeta, agora e no futuro, estabelecendo metas de desenvolvimento sustentável.

São, ao todo, 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ver Figura 1. 1), como uma chamada urgente por todos os países - desenvolvidos e em desenvolvimento - em uma parceria global, para que reconheçam que o combate à pobreza e à fome deve estar alinhado

com estratégias que melhorem a saúde e a educação, reduzindo a desigualdade e estimulando o crescimento econômico - ao mesmo tempo em que combatem a mudança climática. O Brasil faz parte dessa agenda, entretanto ainda carece de políticas públicas de médio e longo prazo, visando uma sociedade mais justa, pacífica e próspera, e por esse motivo está atrasado em relação à evolução comparativamente a outros países. (GRUPO DE TRABALHO DA SOCIEDADE CIVIL, 2018; ONU, 2015)

Figura 1. 1 - Objetivos da Agenda 2030 da ONU (ONU, 2015)



A agenda da ONU está diretamente ligada com o conceito de bioeconomia. A bioeconomia conta com diversas definições, não havendo, portanto, uma definição única, sendo fortemente relacionada aos objetivos desenvolvidos nos trabalhos. Neste trabalho, a bioeconomia é entendida a partir da definição da Comissão Europeia como a produção de recursos biológicos renováveis e a conversão desses recursos e de resíduos em produtos de valor agregado, como alimentos, rações, produtos de base biológica e bioenergia, substituindo as cadeias atuais de produção. (EUROPEAN COMMISSION, 2012)

A transição para uma economia de base biológica sustentável significa que as estruturas e os modos de vida praticados precisam ser revistos. Portanto, é indispensável alinhar a pesquisa em uma base ampla à solução dos desafios tecnológicos e sociais emergentes e integrar cada vez mais, soluções tecnológicas que visam a economia circular¹ e minimizam o desperdício. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017)

O Brasil se destaca no mercado mundial pela produção de produtos ligados ao agronegócio. Entretanto, essa produção de alimentos é destinada em sua grande parte para o mercado de commodities. Dados oficiais do IBGE indicam que a produção anual de alimentos do Brasil em 2018 foi de 226,5 milhões de toneladas de cereais, leguminosas e oleaginosas, devendo crescer 1,9% em 2019, totalizando 230, 7 milhões de toneladas, conforme a Tabela 1. 1. Esse montante é bastante expressivo, levando em consideração as críticas condições de desenvolvimento social do país. Pensando em estabelecer cadeias produtivas mais competitivas e sustentáveis, poderia ser considerada a mudança de destinação dos resíduos produzidos, conversando como o conceito de bioeconomia. (IBGE, 2019)

Tabela 1. 1 - Produção real de 2018 e estimativa para 2019 de cereais, leguminosas e oleaginosas. (IBGE, 2019)

Grande Região	Produção 2018 (t)	Produção 2019 (t)	Variação (%)
Brasil	226.453.181	230.709.705	1,9
Centro-Oeste	101.014.565	102.010.147	1,2
Sul	74.511.490	77.512.584	4,0
Sudeste	22.877.050	23.052.598	0,8
Nordeste	19.112.336	18.851.691	-1,6
Norte	8.937.740	9.282.685	3,8

Dentro do grupo dos cereais, leguminosas e oleaginosas, tem-se como o principal produto agrícola brasileiro, a soja. Esse grão é a oleaginosa mais comercializada do mundo e

¹“A economia circular é uma alternativa que busca redefinir a noção de crescimento, com foco em benefícios para toda a sociedade. Isto envolve dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos, e eliminar resíduos do sistema por princípio. Apoiada por uma transição para fontes de energia renovável, o conceito está baseado em três princípios: Eliminar resíduos e poluição por princípio, Manter produtos e materiais em ciclos de uso e Regenerar sistemas naturais.” (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017)

tem diversas aplicações, dentre elas, a alimentação humana, animal e a produção de combustíveis. Esse assunto será detalhado no capítulo II desse trabalho. (LEMOS et al., 2017)

O Brasil, atualmente, é o maior exportador de soja e seus subprodutos. Isso, economicamente é positivo para o país, entretanto traz algumas consequências, como uma grande geração de subprodutos. Dentre os subprodutos da soja, tem-se o farelo e o Okara, o farelo proveniente da produção do leite da soja. Atualmente, esses produtos são utilizados quase em sua totalidade para a alimentação animal, logo passaram a ser altamente comercializados nos mercados interno e externo. (CONAB, 2018)

Neste trabalho, alguns questionamentos são propostos diante do enorme potencial de valorização desses resíduos no contexto da bioeconomia. Quais aplicações alternativas podem ser desenvolvidas para o melhor aproveitamento desses subprodutos sob o ponto de vista econômico e tecnológico? É possível, no Brasil, uma mudança no destino final desses subprodutos da soja, com a finalidade de utilizá-los de forma mais sustentável, conversando com o conceito de bioeconomia? Qual o grau de desenvolvimento dessas rotas tecnológicas? Esses processos alternativos poderiam incentivar uma mudança dos setores industriais?

Para responder essas perguntas, o objetivo principal do trabalho é mapear e analisar as oportunidades de aproveitamento tecnológico dos subprodutos da soja, de forma a entender as suas principais vantagens e desafios tecnológicos.

Para atender a esse objetivo principal, foram traçados alguns objetivos secundários, tais como:

- Estruturar uma visão geral da indústria da soja no Brasil;
- Entender o mercado e o processo produtivo do complexo soja;
- Caracterizar os subprodutos obtidos na cadeia;
- Realizar uma busca na literatura sobre as rotas tecnológicas alternativas para a valorização dos subprodutos da soja;

- Identificar desafios não-tecnológicos relacionados a essas novas tecnologias.

A literatura é rica em publicações sobre as oportunidades de aproveitamento tecnológico dos subprodutos da soja. Entretanto, há poucos trabalhos que propõem um mapeamento dessas oportunidades. Portanto, se faz interessante a contribuição deste trabalho para mapear e entender como essas oportunidades podem ser discutidas na perspectiva brasileira.

O trabalho será dividido em um capítulo de revisão bibliográfica (capítulo 2), um capítulo de metodologia de pesquisa (capítulo 3), um capítulo com resultados encontrados (capítulo 4), um capítulo com a classificação e discussão desses resultados encontrados na literatura (capítulo 5) e por fim, um capítulo apontando quais são as conclusões e perspectivas futuras para o tema (capítulo 6).

CAPÍTULO 2 – Revisão Bibliográfica

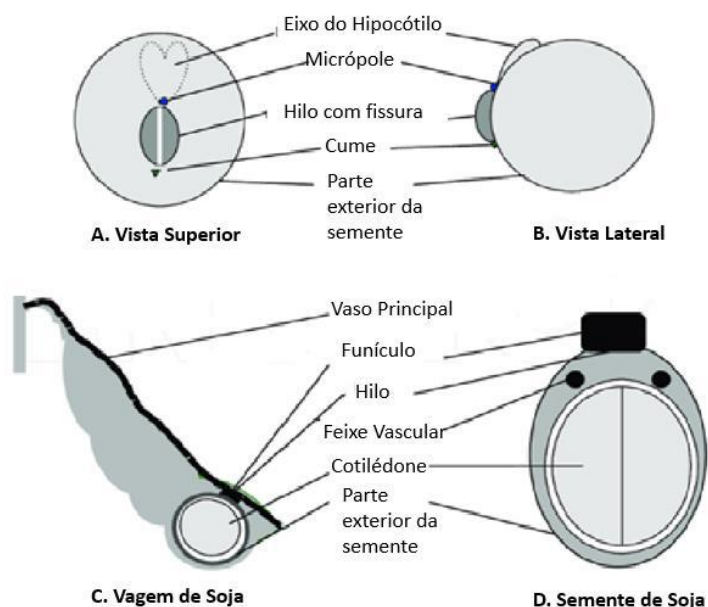
Neste capítulo, será realizada a caracterização da soja, uma apresentação do mercado mundial e do mercado brasileiro do grão com dados sobre a produção, uma breve introdução das maiores empresas relacionadas, tamanho e como estão distribuídas no território brasileiro. O capítulo também apresenta as etapas de processamento do grão para a produção do óleo e do leite de soja, mostrando como os subprodutos/ resíduos são gerados.

2.1 - Características da soja

De origem chinesa, a soja foi trazida para o Brasil no século XIX. Contudo só passou a ser comercializada em 1941, no estado do Rio Grande do Sul, quando foram produzidas 457 toneladas para a venda. (EMBRAPA, 2005)

O complexo soja é caracterizado pela presença de três partes: a planta, o grão e a casca. O grão de soja possui em sua composição diversas estruturas físico-químicas diferentes. Essas características da estrutura do grão permitem variadas destinações e, portanto, múltiplas aplicações na indústria. Esse grão pode ser descrito como uma semente constituída de casca ou casco, cotilédone e germe ou hipocótilo. (GUNSTONE, 2012; OHYAMA et al., 2017)

Figura 2. 1 – Partes do grão da soja (traduzido de *OHYAMA et al., 2017*)



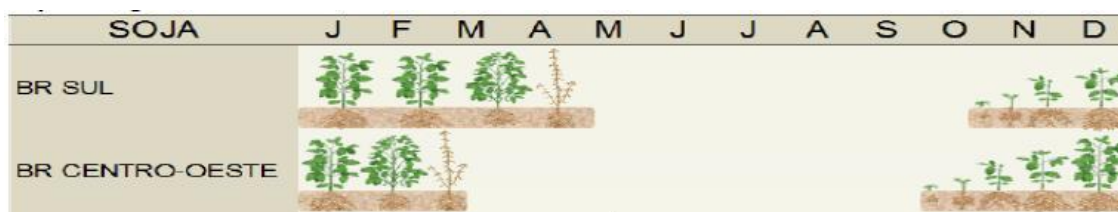
A composição química do grão de soja é basicamente proteína, óleo, carboidratos e cinzas. A Tabela 2. 1 descreve a composição mais detalhada das partes componentes do grão de soja ilustradas na Figura 2. 1, sendo as principais: grão, polpa, casca e hipocotiledon. (GUNSTONE, 2012)

Tabela 2. 1 - Distribuição em frações (%) dos principais constituintes do grão de soja (GUNSTONE, 2002)

Componentes	Fração	Proteína	Óleo	Cinzas	Carboídratos
Semente inteira	100	40,3	21	4,9	33,9
Polpa	90,3	42,8	22,8	5	29,4
Casca	7,3	8,8	1	4,3	85,9
Hipocotiledon	2,4	40,8	11,4	4,4	43,4

A safra brasileira de soja tem o calendário agrícola entre o meio de mês de outubro até meio de abril, como pode ser visto na Figura 2. 2. Após o tempo de cultivo, o grão de soja é obtido dentro de cápsulas de lecitina², que darão origem a parte do farelo de soja. (IMEA, 2015; UBERL et al., 2015)

Figura 2. 2 - Calendário agrícola da soja no Brasil (IMEA, 2015)



A EMBRAPA divide a produção do complexo soja em três tipos: o Sistema Intacta RR2 PROtm, a Soja resistente ao glifosato (Roundup Ready[®]) e o Sistema de Produção Convencional (EMBRAPA, 2017).

²Lecitina: composta pelos fosfolipídios, fosfatidilcolina (maior componente), fosfatidilinositol e fosfatidiletanolamina, pode conter ácidos fosfatídicos livres, ácidos graxos livres, triglicerídeos do óleo, clorofilas, carotenoides, tocoferóis, entre outras substâncias lipossolúveis e algumas substâncias hidrossolúveis que se hidratam rapidamente, como proteínas de baixo peso molecular e açúcares simples. (UBERL et al., 2015)

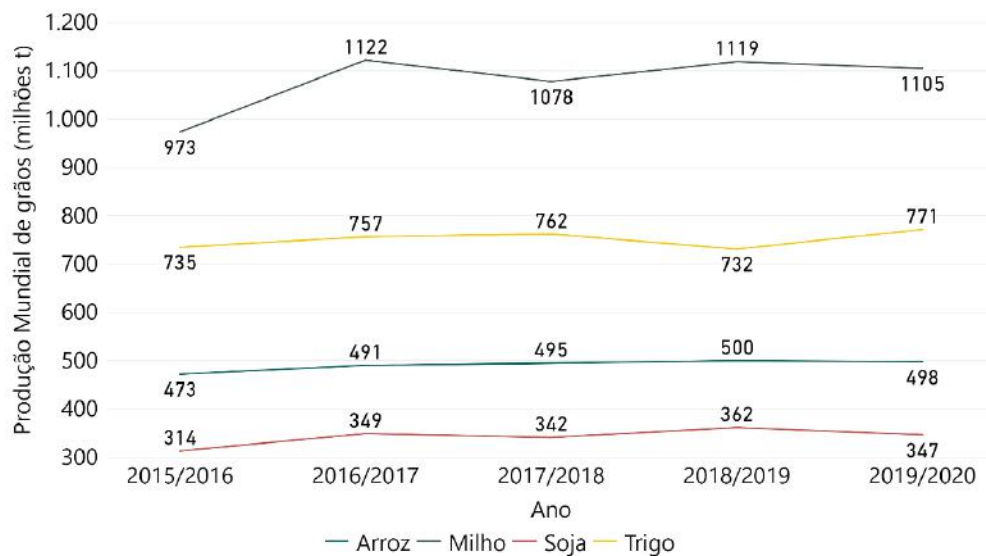
Tanto o tipo Roundup Ready® quanto o Inacta RR2PRO™ são sojas resistentes aos herbicidas à base de glifosato, o que confere um controle maior das ervas daninhas que competem com a cultura da soja, aumentando a produtividade. A diferença entre os dois tipos está no controle de insetos. O sistema Inacta RR2 PRO™ tem um controle adicional contra insetos que garante a potencialização da produtividade. Entretanto, esse controle adicional de pragas vem com uma desvantagem. Segundo os fabricantes do produto, o sistema Inacta tem que ser plantado em refúgio. O refúgio é um sistema criado para tentar controlar a proliferação de insetos resistentes ao próprio sistema. Um inseto pode ser esporadicamente resistente ao sistema, portanto, este não morrerá em contato com a plantação. Caso ele se reproduza com outro inseto que também seja resistente, os seus descendentes serão da mesma forma resistentes causando um problema aos produtores. Portanto, o refúgio consiste em plantar soja RR e convencional ao redor da plantação Inacta, porque desta forma, os insetos resistentes ao sistema Inacta tem maior chance de encontrar um inseto não-resistente, proveniente da soja RR e/ou convencional, e assim, seus descendentes não seriam completamente resistentes ao sistema Inacta e morreriam. Essa técnica dá longevidade à cultura e aumenta a produtividade.

Por fim, a soja convencional representa a parcela não geneticamente modificada, que graças aos avanços tecnológicos, se tornou altamente produtiva. Dessa forma, o produtor pode escolher a opção mais adequada para o seu tipo de lavoura. (EMBRAPA, 2017)

2.2 - Mercados Mundial e Brasileiro da Soja

O mercado mundial de grãos tem predominantemente quatro produtos principais: o milho, o trigo, o arroz e a soja. Dados estatísticos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture, USDA), Figura 2. 3, mostram a evolução da produção mundial desses produtos no período de 2016-2020, (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA), 2017, 2018, 2019)

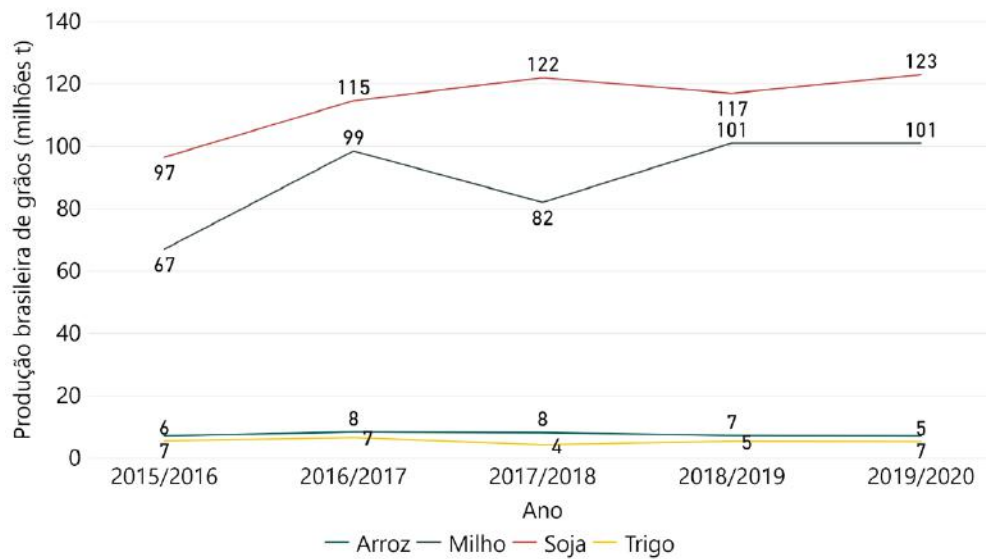
Figura 2. 3 – Evolução da produção mundial de grãos (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA), 2017, 2018, 2019)



Comparativamente, a soja ocupa o quarto lugar no mercado mundial de grãos, evidenciando o quão grande é o comércio de soja no mundo. Segundo os dados apresentados, a soja apresenta uma constância em sua produção, o que garante certa previsibilidade de mercado para esse grão.

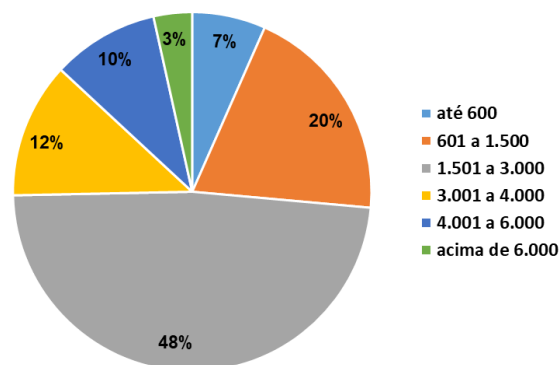
O Brasil é um ator importante desse mercado, devido ao fato de apresentar grande extensão territorial, conforme mencionado anteriormente. No país, a evolução da produção pode ser vista pelo Figura 2. 4. É notável como a soja é o produto agrícola mais produzido do país, correspondendo a aproximadamente um terço da produção mundial, segundo a USDA. (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA), 2017, 2018, 2019)

Figura 2. 4 - Evolução da produção brasileira de grãos (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA), 2017, 2018, 2019)



A Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) fornece dados sobre a capacidade de produção diária da indústria de grãos e como esta capacidade está distribuída pelas unidades processadoras por tamanho, mostrados na Figura 2. 5. No gráfico é possível perceber que a maioria das unidades processadoras é de médio/grande porte, o que vai ao encontro das informações obtidas sobre a distribuição das unidades operacionais entre as empresas, sugerindo um mercado bastante concentrado.

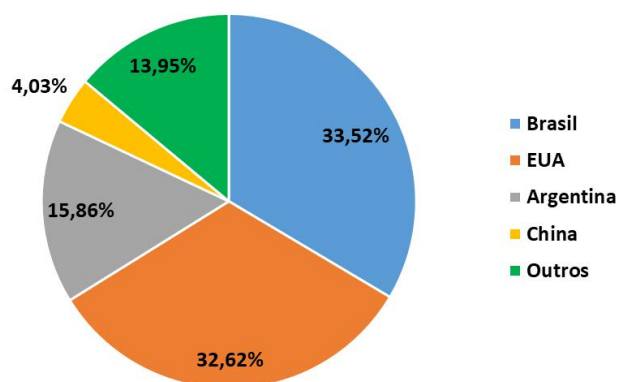
Figura 2. 5 - Capacidade Instalada de Processamento (Toneladas/dia) - Indústria brasileira de grãos 2018. (ABIOVE, 2019a)



A produção e o consumo de soja no Brasil têm sido crescentes. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) de 2018, o complexo soja foi o principal produto exportado pelo país, resultando em divisas de US\$ 30,69 bilhões. Esse resultado representa aproximadamente 14% das exportações brasileiras e coloca a soja a frente de importantes produtos como, por exemplo, o petróleo. (CONAB, 2018)

Em relação à produção mundial, o Brasil tem projeções para ocupar o primeiro lugar na safra 2018 - 2019 com 33,52%, enquanto que os Estados Unidos deteriam o segundo lugar com 32,63%, o que pode ser visto na Figura 2. 6. Esse número bem expressivo denota a importância do produto para a posição do Brasil no comércio mundial. (CONAB, 2018)

Figura 2. 6 - Produção de Soja em grãos mundial em 2018-2019. (CONAB, 2018)



Ao longo dos anos, os grãos e o farelo tiveram aumento nas exportações, enquanto que o óleo teve crescimento no consumo interno. A Figura 2. 7, Figura 2. 8 e Figura 2. 9 mostram essa tendência do mercado. (ABIOVE, 2019a)

Figura 2. 7 - Evolução do mercado de grãos de soja (1000 t). (CONAB, 2018)

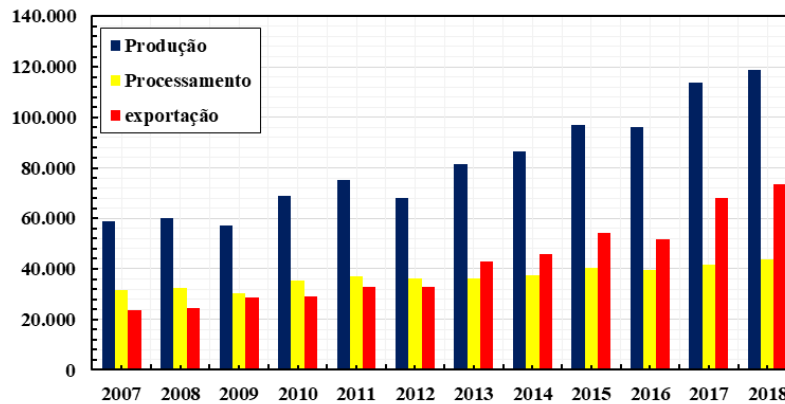


Figura 2. 8 - Evolução do mercado de farelo de soja (1000 t). (CONAB, 2018)

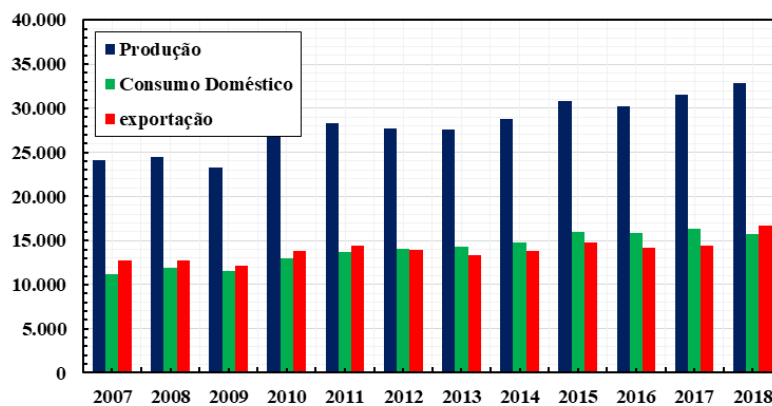
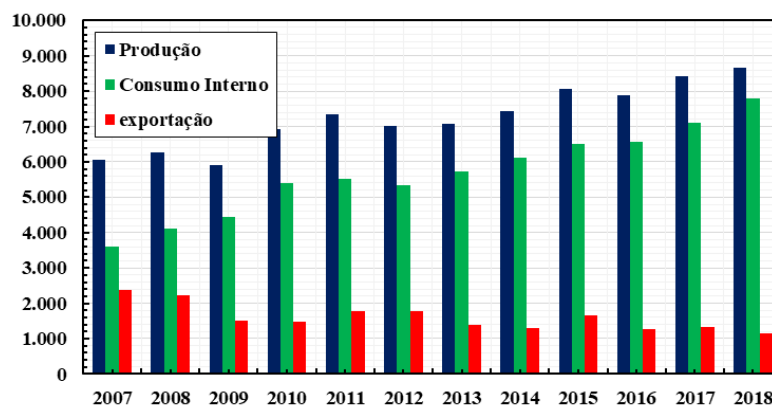


Figura 2. 9 - Evolução do mercado de óleo de soja (1000 t). (CONAB, 2018)



A partir dos dados coletados é possível observar as quantidades de grãos e farelo que são exportadas e o quão importante é o óleo de soja para o mercado interno brasileiro. Em porcentagem de compra, o relatório da CONAB de 2018 indica que a China é o país/região

líder em importação com 50% de todo o complexo soja mundial, seguido pela União Europeia com 10%. Esses dados indicam que esse mercado está concentrado em dois compradores majoritários, sugerindo que uma possível queda em seus volumes de compra afetaria diretamente o mercado de grãos e de farelos (CONAB 2018). Por esse motivo, no cenário em que esses países/regiões encontrem outro produto mais barato que o farelo e consiga substituí-lo como aditivo na alimentação animal, a indústria processadora teria que encontrar rapidamente uma solução alternativa para sua destinação.

Atualmente, a ABIOVE detalha que 47,5% do farelo gerado no Brasil em 2018 foram exportados com a principal função de enriquecimento da alimentação animal, principalmente bovina. Outros 47,4% foram utilizados no mercado nacional, também com a principal finalidade de alimentação animal. Deixando uma porcentagem de 5,1% da geração inicial para o ano seguinte. Esse valor pode parecer irrisório, porém corresponde a uma quantidade de 1.801.779 toneladas de farelo acumuladas. (ABIOVE, 2019a)

O farelo é um resíduo altamente perecível e se não armazenado em local correto, rapidamente perde as suas propriedades, tornando inviável o uso, conforme descrito por WONG et al., (2000). Ou seja, a partir da lavoura e ao longo de toda a cadeia de processamento há perdas de farelo, diminuindo o seu potencial tecnológico associado e com isso a sua rentabilidade. (WONG et al., 2000)

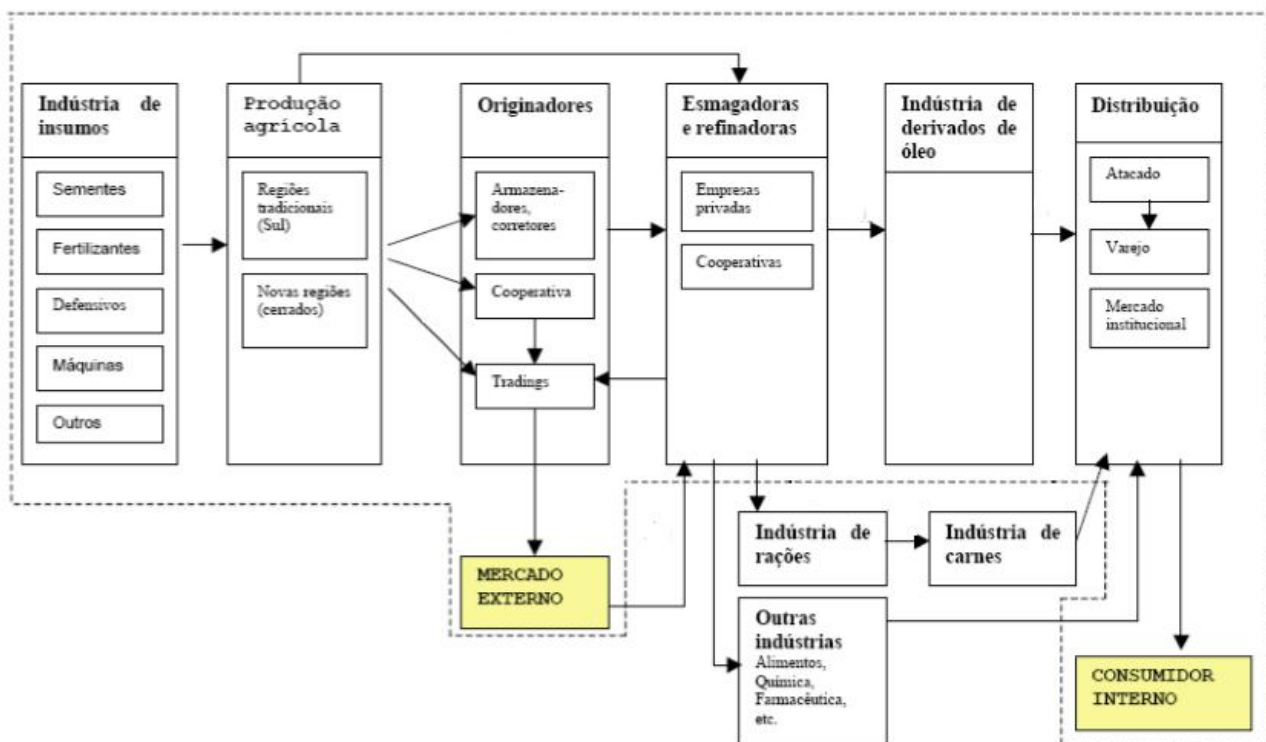
Diante disto, torna-se imprescindível entender como é realizada a obtenção de todos os produtos e em quais estágios da produção os resíduos do complexo soja são gerados, para que seja possível um melhor entendimento de quais rotas tecnológicas poderão ser incorporadas no estudo de oportunidade para o aproveitamento desses resíduos.

2.3 - Processo produtivo da soja para obtenção do óleo de soja

Segundo MIZUKAWA, (2008), a indústria de processamento da soja é uma indústria complexa que inclui diversas etapas tanto para o abastecimento do mercado interno quanto para atender ao mercado externo. O fluxograma da Figura 2.10 mostra como funciona a estrutura dessa indústria, a partir dos fluxos existentes entre as etapas que compõem a cadeia produtiva. (MIZUKAWA, 2008)

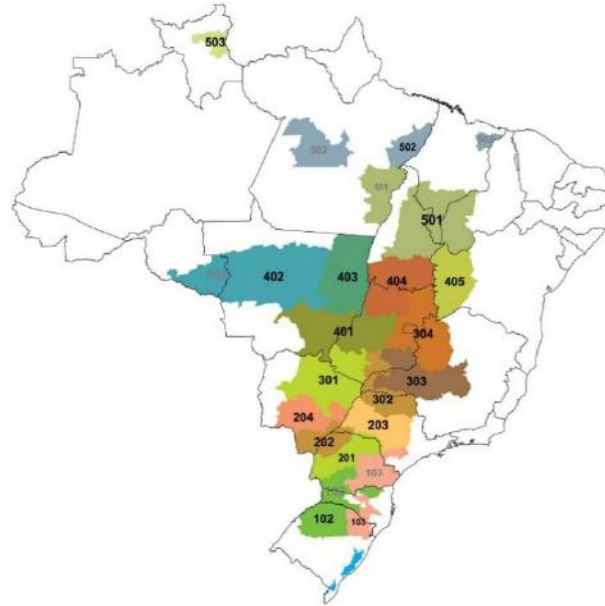
De maneira geral, o processo produtivo de todo o complexo soja envolve diversas indústrias. Primeiro, o processo começa no cultivo e na colheita envolvendo a indústria de fertilizantes, maquinários e sementes. Depois de realizada a colheita, o complexo soja segue para armazenamento e separação da casca, onde parte dos grãos é separada para exportação. Os grãos não exportados seguem para transformação na indústria esmagadora, onde são produzidos o óleo de soja ou o leite de soja e o tofu. Por fim, esses produtos derivados são vendidos no mercado interno e externo e o farelo é destinado para a alimentação animal. (MIZUKAWA, 2008)

Figura 2.10 - Dinâmica da Indústria transformadora de soja no Brasil. (MIZUKAWA, 2008)



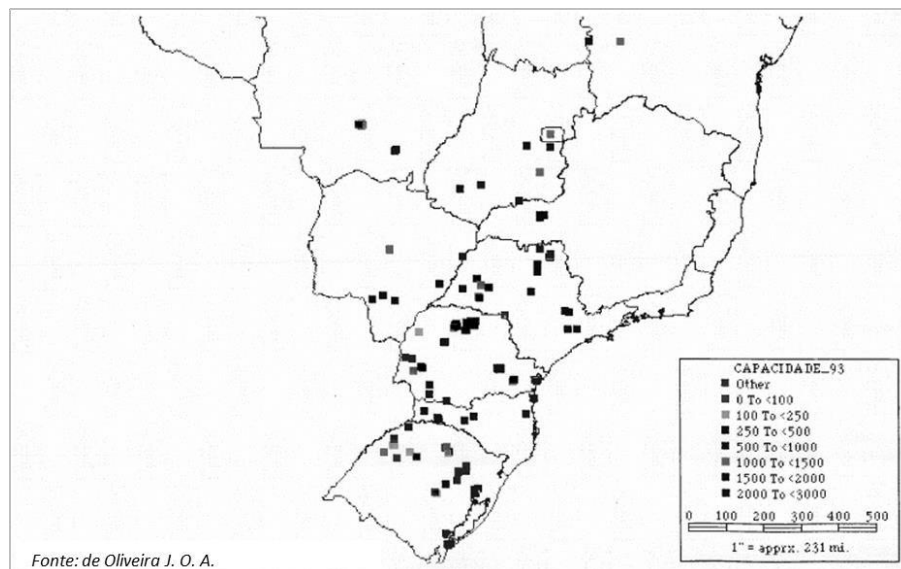
O complexo soja exige uma série de cuidados ainda nas etapas de armazenamento e transporte, antes mesmo de chegar à indústria processadora. A distribuição do plantio da soja no Brasil pode ser vista na Figura 2. 11, mostrando que a sua produção está prioritariamente localizada na região Centro-Oeste do país. (EMBRAPA, 2017)

Figura 2. 11 - Distribuição do plantio de soja no Brasil (EMBRAPA, 2017)



Depois de colhido, o complexo soja segue para a indústria processadora para a geração dos seus principais produtos, subprodutos. A localização das indústrias transformadoras pode ser visualizada na Figura 2. 12. (DE OLIVEIRA, 1995)

Figura 2. 12 - Distribuição das indústrias da soja por capacidade instalada (DE OLIVEIRA, 1995)



Há certa homogeneidade quanto à distribuição da localização das unidades apresentada pelas duas figuras. As indústrias de processamento da soja estão localizadas

perto das plantações por vários motivos, tais como a diminuição no custo do transporte e a agilização requerida para o processo produtivo.

No ano de 2018, a ABIOVE publicou em seu relatório anual de capacidade instalada o número de plantas ativas de soja e as empresas responsáveis. Nesse documento constam atualmente 20 empresas com 35 unidades processadoras ativas. As empresas podem ser vistas no Quadro 2. 1. (ABIOVE, 2019b)

Quadro 2. 1 - Empresas com unidades processadoras ativas no Brasil em 2018. (ABIOVE, 2019a)

Empresas	
ADM	Comigo
Algar Agro	DIP Frangos (Diplomata)
Brejeiro	Dureino
BRF	Giovelli
Bunge	Granol
Camera	Imcopa
Caramuru	Louis Dreyfus Commodities
Cargill	Portal
Coamo	Selecta
Cocamar	Sina

O número de empresas é significativo, sendo que as quatro maiores processadoras multinacionais juntas, Cargill, Archer Daniels Midland (ADM), Bunge e Louis Dreyfus, detém 15 destas unidades processadoras, com destaque para a Cargill com seis unidades e a ADM com a maior unidade da América do Sul.

A Cargill é uma empresa de origem americana que surgiu como um armazém de grãos. Em 1947, teve a sua primeira planta industrial implantada na América do Sul, na Argentina e posteriormente, em 1967 no Brasil. Nos anos 80, a empresa aumentou o seu portfólio para abranger produtos químicos, cacau, café, algodão, ovos, fertilizantes, serviços financeiros, farinha, sucos, malte, carne, melão, amendoim, petróleo, porcos, aves, borracha, sal, aço, perus e lã, além do seu mercado original de grãos, rações, sementes, óleos e milho, firmando-se assim como um grande ator no Brasil. Atualmente, a empresa atua em mais de 70 países com mais de 155.000 funcionários. No Brasil, a empresa tem mais de 130 escritórios espalhados. (CARGILL, [s.d.]

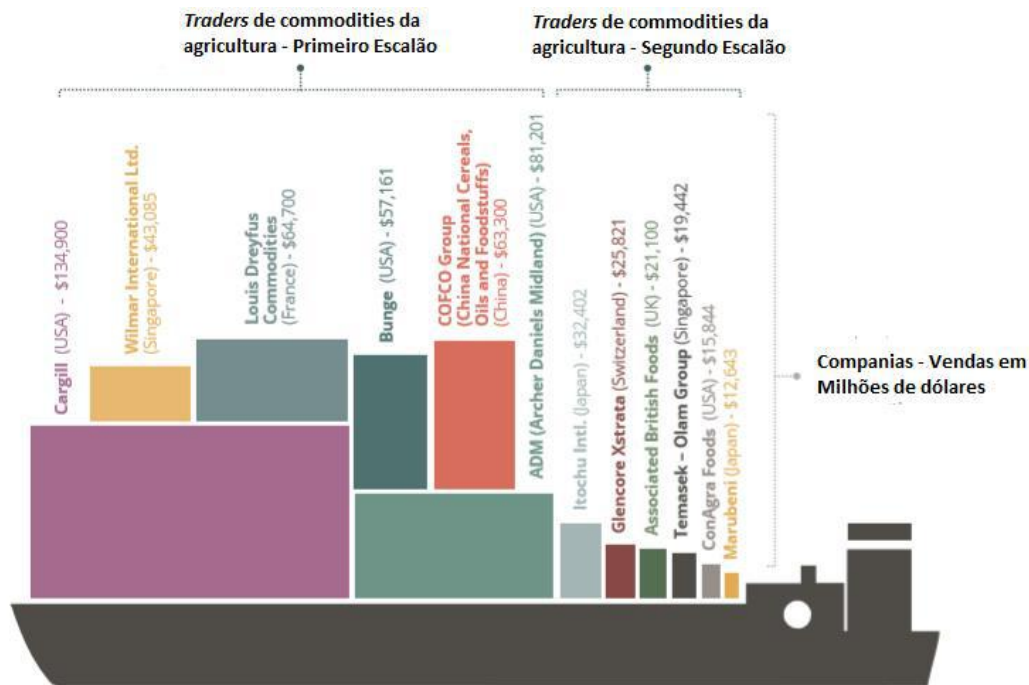
A ADM, também multinacional americana, foi fundada em 1902 e só começou a operar no Brasil em 1997. A empresa é especializada em processamento de grãos (soja, milho, trigo e cacau) e produção de biocombustíveis à base de soja e milho, e ainda produz ingredientes para alimentos e para a nutrição animal. Atualmente no Brasil, possui mais de 3300 funcionários. (“Archer Daniels Midland c. Comissão”, 2006)

A Bunge é de origem holandesa e foi criada em 1818. É a mais antiga multinacional a se implantar nas Américas, iniciando suas operações na Argentina em 1876. No Brasil, a empresa se instalou em 1905, em associação com a empresa Moinho Santista. Atualmente, a Bunge está presente em 35 países, empregando mais de 35.000 funcionários ao redor do mundo. No Brasil, entre todos os segmentos, a Bunge conta com 100 instalações, entre fábricas, usinas, moinhos, portos, centros de distribuição, silos e instalações portuárias. (BUNGE, [s.d.])

A Louis Dreyfus é uma empresa francesa criada em 1851. Opera no Brasil desde 1942. Atualmente a empresa atua nos segmentos de açúcar, algodão, arroz, café, frete, grãos, laticínios, oleaginosas e sucos, além de estar presente em 100 países, empregando mais de 19.000 funcionários. (DREYDUS, [s.d.])

Juntas as quatro empresas obtiveram um faturamento de US\$ 337.962 milhões de dólares em 2017, o que significa 60% do *Market Share* mundial de commodities para a agricultura, conforme mostrado na Figura 2. 13. Devido ao crescimento no setor da soja, essas empresas buscam expandir os seus negócios no Brasil através da implantação de novas unidades de processamento ou melhorando tecnologicamente os seus processos produtivos. (IPES FOOD, 2017)

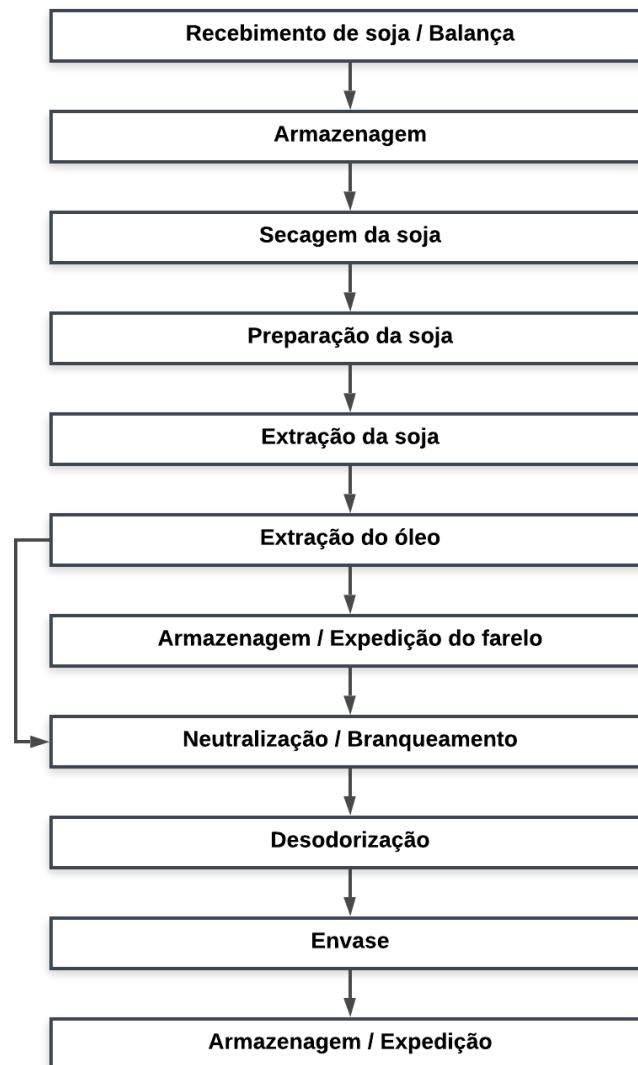
Figura 2. 13 - Vendas das maiores traders de commodities da agricultura (US\$ Milhões) – Traduzido de(IPES FOOD, 2017)



Correlacionando os dados da ABIOVE com os do *International Panel of Experts on Sustainable Food Systems* (IPES Food) é possível visualizar que dentre as maiores empresas mundiais de commodities da agricultura, apenas a Cargill, a ADM, a Bunge e a Louis Dreyfus estão presentes no Brasil. Logo, fica evidenciada a concentração da produção e comercialização da soja brasileira nesses atores. Em todas as empresas inseridas na cadeia de processamento da soja, o processo produtivo pode ser descrito de maneira semelhante, visto que a soja é uma commodity e não existe uma grande diferenciação em sua transformação primária. (ABIOVE, 2019a; IPES FOOD, 2017)

O primeiro produto é o grão da soja sem a cápsula. Este é o principal produto da exportação brasileira de grãos. 35,6% dos grãos continuam na cadeia do processo produtivo de esmagamento, como mostrado pela CONAB, e são prensados para a extração do óleo de soja. O farelo, composto da planta, cápsulas e resto de grãos prensados, é obtido ao final do processo, realizando uma etapa auxiliar de secagem e moagem. O processo é descrito em detalhes na Figura 2. 14 que apresenta as suas principais etapas. (BRANDLI et al., 2009; CONAB, 2018)

Figura 2. 14 - Fluxograma de transformação da soja (BRANDLI et al., 2009)



A primeira etapa é o recebimento da soja, onde todo o complexo é pesado e amostrado para determinação de alguns parâmetros como a umidade, impurezas e teor de óleo das sementes. (MANDARINO; ROESSING, 2015)

Na etapa de secagem, o complexo é inicialmente peneirado para a retirada de impurezas como cascalhos e pequenas pedras provenientes do transporte, e então disposto em secadores verticais para a diminuição da umidade até um valor menor que 12%. (DE OLIVEIRA, 1995)

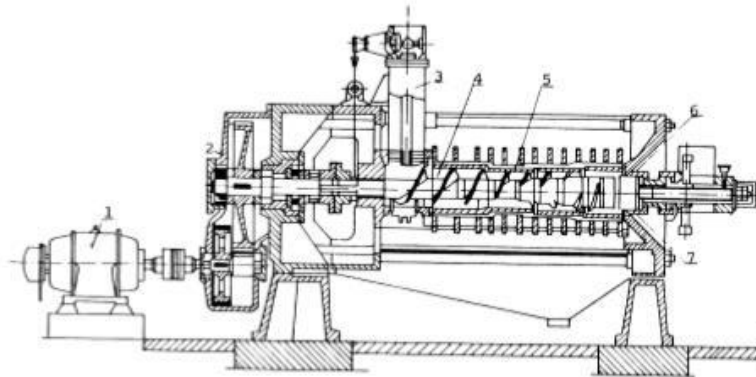
Já nas etapas de preparação e extração, o grão e a casca são separados por meio de rolo que rompem as cápsulas e as separam do fruto. Então, o sistema passa pela extração da

soja e o farelo é separado e preparado para processamento. Os grãos passam por um separador magnético para a retirada de materiais ferrosos que possam estar presentes como impurezas e posteriormente, por um laminador que faz o corte para a extração do óleo.(ABIOVE, 2019a; DE OLIVEIRA, 1995)

Conforme descrito por DE OLIVEIRA (1995), a extração do óleo pode ser feita de duas formas: prensagem e extração mista. O primeiro método só é eficiente e rentável se a concentração de óleo dos grãos for alta, acima dos 20%. Nesse método, os grãos são cozidos em água quente através do aquecimento de camisa, com a temperatura variando de 75°C até 105°C. Depois os grãos são prensados gerando uma torta na qual o óleo é extraído. Essa torta segue em um segundo momento para uma extração com solventes para o máximo aproveitamento do óleo. (DE OLIVEIRA, 1995; LEMOS et al., 2017; MANDARINO; ROESSING, 2015)

Já o segundo método, consiste em uma prensagem parcial dos grãos no “expeller”, mostrado na Figura 2. 15, e na lavagem da torta formada com solvente, mais comumente utilizando o n-hexano para a extração do óleo. Essa mistura de solvente e óleo é então levada a um destilador para a separação por ponto de ebulição da mistura. O hexano é utilizado por ser um bom solvente de extração e poder ser facilmente recuperado do óleo na etapa de destilação, diminuindo assim, a quantidade de solvente utilizada. Entretanto, esse solvente tem como desvantagem o fato de ser inflamável, necessitando de condições especiais de operação. (DE OLIVEIRA, 1995; MANDARINO; ROESSING, 2015)

Figura 2. 15 - Prensa contínua "expeller" : 1- Motor Eléctrico, 2- Redutor, 3- Entrada dos grãos condicionados, 4- rosca helicoidal, 5- cesto, 6- cesto de saída, 7- saída da torta (EMBRAPA TECNICAS, 2001)



Atualmente, são utilizadas duas técnicas de separação com n-hexano, a extração semicontínua e a contínua. O processo semicontínuo consiste em uma bateria de 3 a 6 tanques de extração com entrada em contracorrente de solvente e do óleo. A micela formada de óleo-hexano que passa em cada reator, vai se tornando mais concentrada, de tal maneira que no último extrator ela se encontra praticamente pura. Esse processo é mais simples, entretanto, tem entrada de solvente em cada extrator, o que torna a concentração de óleo baixa e o processo de destilação mais custoso. Já o processo contínuo pode ser diferenciado em 5 técnicas diferentes³, entre elas somente a técnica “CODIC” é uma tecnologia brasileira. (MANDARINO; ROESSING, 2015)

Ao longo do refino do óleo bruto, existe uma etapa intermediária para a retirada do material sólido que junto da casca dará origem ao complexo que se chama farelo da soja. Essa polpa da soja, chamada de Lex, passa por uma torre de retirada de solvente residual e então, é submetida a um processo de tostagem e secagem. Esse processo consiste em um tostador vertical com sete estágios para a inativação de fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina, as lecitinas ou fito hemaglutininas, assim como a retirada do solvente que impossibilitariam alguns usos do lex, como por exemplo, para a alimentação animal. (DE OLIVEIRA, 1995; MANDARINO; ROESSING, 2015)

³Técnicas de processamento da soja no Brasil: “CODIC”, “LURGI”, “MIAG”, “SMET” e “ROTOCEL” (MANDARINO; ROESSING, 2015). Para um estudo mais aprofundado sobre estas técnicas, consultar (MANDARINO; ROESSING, 2015)

Subsequentemente, a casca e as folhas moídas são adicionadas ao *lex* para o controle do teor de proteínas presente na mistura. Essa mistura é o que se denomina farelo da soja, subproduto e resíduo da produção do óleo. Por ser considerado também um resíduo, há um número grande de pesquisas sobre a transformação do farelo em produtos de maior valor agregado ao invés da sua destinação como complementação para a alimentação animal. Por exemplo, no trabalho publicado por JULIA et al, (2016) o farelo da soja é utilizado para a produção de celulase. Outras possíveis rotas para a transformação do farelo em produtos de maior valor agregado são discutidas nos capítulos subsequentes. (DE OLIVEIRA, 1995; JULIA et al., 2016)

Seguindo a cadeia produtiva, o óleo bruto é direcionado para a seção de refino para o processo de neutralização e branqueamento. A neutralização é um importante processo que visa à remoção de proteínas, ácidos graxos oxidados e produtos resultantes da decomposição de glicerídeos. Esses contaminantes são reagidos com soda cáustica, formando sais orgânicos de sódio e sabão. (DE OLIVEIRA, 1995)

Essa nova mistura segue para o branqueamento. Esse processo é exigido pelo mercado consumidor que demanda óleos quase incolores visando melhorar o padrão de qualidade do produto, onde partículas que alteram a cor, sabor ou estabilidade da solução são removidas. O processo consiste na adsorção de pigmentos, sabões, peróxidos aldeídos, fósforo e metais pesados através de uma mistura de carvão ativado com terras clarificantes. Essas terras podem ser de dois tipos: naturais ou ativadas. As terras naturais geralmente são feitas de argila e as ativadas são produzidas quimicamente a partir de silicato de alumínio. A diferença é que as ativadas têm um maior poder clarificante do que as naturais, porém apresentam preço mais alto. (MANDARINO; ROESSING, 2015)

A última operação da cadeia é a desodorização. Nela, a mistura vinda dos outros estágios passa por mais um processo visando à melhoria da qualidade, onde é submetida a vácuo e a altas temperaturas, onde substâncias voláteis que modificam o odor e/ou sabor do óleo são removidas. Nesse processo, o alto vácuo deve ser mantido para diminuir o tempo

do processo, o perigo de oxidação e a hidrólise do óleo. O resultado dessa última operação é o óleo de soja refinado. (DE OLIVEIRA, 1995)

Parte desse óleo de soja é envasado em lotes para a venda direta e parte é envasada para ser levada à indústria de produtos secundários derivados do óleo refinado, tais como gorduras vegetais, margarinas e maionese. (LEMOS et al., 2017)

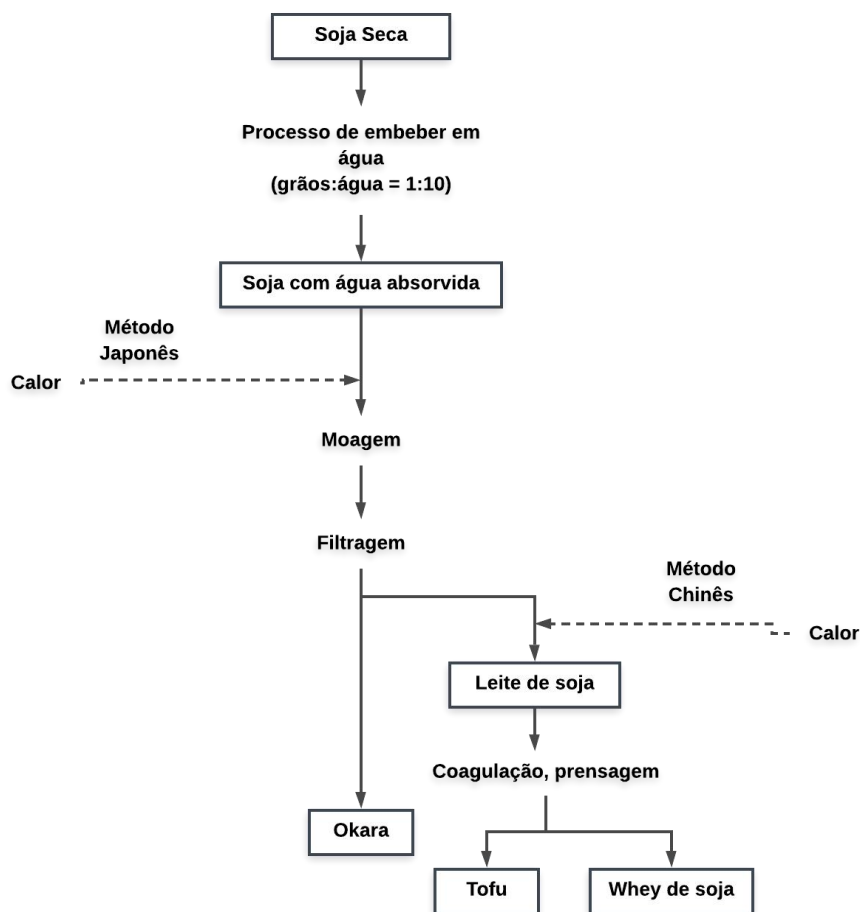
2.4 - Processo produtivo da soja para obtenção do leite de soja

Existe outra rota para o complexo soja que envolve a produção de leite de soja. Essa rota é bem similar a rota do óleo de soja em seus estágios iniciais, no que tange os processos até a etapa de extração do óleo. (GRIZOTTO, 2014)

Os grãos de soja já separados da casca são misturados com água em uma proporção de 10:1 como descrito na Figura 2. 16. Então existem dois processos a serem seguidos. No primeiro, de origem japonesa, a mistura é aquecida e depois prensada e filtrada. A parte líquida é o leite de soja bruto e a parte sólida é o que se denomina como Okara – farelo proveniente do processo produtivo do leite de soja. Já no segundo método, chinês, somente o leite já filtrado é aquecido. O primeiro método criado foi o chinês e os japoneses realizaram a variação no processo produtivo, conferindo uma melhor composição no leite de soja e melhorando a filtração. Entretanto, essa mudança pode causar uma tendência de queima do mosto de soja, além da mistura quente necessitar de processos mecânicos para ajudar na filtração. Por último, o método japonês consome mais energia. (TOOLE; KONG, 2016; VONG; LIU, 2016)

Então, o leite é enviado para o processo de coagulação para a retirada do soro e posteriormente para a o processo de filtração. O soro pode ser utilizado para a produção de concentrado proteico, popularmente conhecido como “whey de soja”, utilizado como suplemento alimentar. Em seguida, o produto filtrado é enviado para uma nova etapa onde são adicionados os componentes estabilizantes, assim como os conservantes e os flavorizantes desejados ao produto. Por fim, esse leite deve ser pasteurizado seguindo as normas brasileiras de vigilância sanitária e então envasado para ser comercializado. (VONG; LIU, 2016)

Figura 2. 16 - Processo de produção do leite de soja (VONG; LIU, 2016)



O Okara tem a composição parecida com o farelo da soja e também é considerado um subproduto ou rejeito do processo. No seu processo de recuperação, ele passa por um processo de secagem e tostagem, formando um material proteico, o que o torna alvo de muitos estudos de viabilidade ou reaproveitamento.

2.5 - Caracterização do farelo de soja e do Okara

O farelo de soja e o Okara, ambos resíduos gerados na cadeia de processamento da soja para a produção de óleo e do leite de soja respectivamente, têm que ser caracterizados para um maior entendimento sobre os tipos de oportunidades tecnológicas referentes ao seu reaproveitamento. Esses resíduos são materiais ricos em fibras, proteínas e carboidratos complexos e têm similaridade em suas composições.

Os *reviews* de LI; QIAO; LU, (2012) e de LI et al., (2013) utilizam publicações anteriores para chegar a um valor médio de composição do Okara e do farelo de soja, caracterizando assim esses subprodutos, conforme a Tabela 2. 2.

Tabela 2. 2 - Composição média dos subprodutos da soja. (LI; QIAO; LU, 2012; LI et al., 2013)

Resíduo	Proteína	Gordura	Fibras	Carboidratos	cinzas	Referência
Okara	25,4 - 28,4	9,3 - 10,9	52,8 - 58,1	3,8 - 5,3	3,0 - 3,7	LI; QIAO; LU, 2012
Farelo de soja	27	16,4	50	3	3,6	LI et al., 2013*

* Valores médios fornecidos pelo review.

Atualmente, devido à grande demanda mundial de alimentos com valor proteico para alimentação animal, principalmente bovina, esses dois subprodutos são incorporados na dieta de animais. Entretanto, vários artigos têm focado no desenvolvimento de outras rotas de transformação desses subprodutos/resíduos em diferentes produtos através de biorefinarias no contexto da bioeconomia.

CAPÍTULO 3 – Metodologia

Nesse capítulo será apresentada a metodologia aplicada neste estudo para o mapeamento e a avaliação das oportunidades tecnológicas para o aproveitamento dos subprodutos e resíduos da soja. Serão descritas as etapas percorridas para a obtenção e seleção de artigos e outras fontes bibliográficas para a prospecção das oportunidades de aproveitamento dos resíduos da soja.

Este trabalho seguiu uma metodologia qualitativa e exploratória a partir da coleta de dados nas bases científicas, Science Direct, Taylor and Francis e SAGE, visto que são domínios com amplo espectro de documentos. Outras bases também foram consultadas no processo de utilização de referências cruzadas a partir dos artigos, reviews e capítulos de livro base. Essa prospecção foi realizada para mapear as oportunidades tecnológicas em desenvolvimento por universidades e institutos de pesquisa para o reaproveitamento dos subprodutos do complexo soja, portanto, sendo adotados alguns parâmetros no processo de pesquisa e seleção dos resultados.

As buscas foram realizadas considerando todos os campos disponíveis nas bases, entre eles, título, resumo, palavras-chave, etc. A primeira pesquisa foi feita utilizando somente as palavras-chave “Soybean” e “Okara” para obter uma dimensão do tamanho do campo de pesquisa. Conforme mostrado na Tabela 3. 1, a palavra “Soybean” gerou um grande número de resultados relacionados, uma vez que a pesquisa não realizou nenhuma restrição temporal. A palavra “Okara” gerou consideravelmente menos resultados, entretanto de um ponto de vista qualitativo, em ambos os casos, a quantidade de documentos resultantes é excessivamente grande para ser tratada e compilada neste trabalho. Portanto, outras palavras-chave foram adicionadas a fim de estabelecer filtros e direcionar melhor os resultados obtidos.

A pesquisa foi dividida em duas partes: uma sobre o farelo de soja e outra sobre o Okara. Na pesquisa sobre o farelo de soja, três grupos de palavras-chave foram escolhidos e testados: “Soybean Valorisation”, “Soybean Residues Valorisation” e “Soybean Hulls

Valorisation”. Já na pesquisa sobre o Okara, foram considerados dois grupos de palavras-chave: “Okara Valorisation” e “Okara reuse”.

Uma pesquisa preliminar identificou que estas palavras são mencionadas frequentemente na literatura e por este motivo, estas palavras-chave referidas acima foram escolhidas. A pesquisa não exauriu a possibilidade de palavras-chave, em razão do volume e diversidade de publicações encontradas nas buscas realizadas.

As bases Science Direct e SAGE contêm a opção de filtrar os resultados por tipo de documento (artigos, *reviews* e capítulos de livro), enquanto que a base Taylor and Francis não apresenta essa diferenciação na procura. Por isso, nas duas primeiras bases, respectivamente, os resultados procurados já foram filtrados para essas três opções, enquanto que nesta última, os resultados encontrados foram explorados individualmente para a identificação do tipo de documento.

Tabela 3. 1 - Resultados da pesquisa metodológica

Base Científica	Palavra-Chave	Total	Reviews	Artigos	Livros
ScienceDirect	Soybean	141.926	11.211	116.545	14.170
	soybean valorisation	276	57	195	24
	Soybean residues valorisation	175	45	111	19
	Soybean hulls valorisation	42	12	23	7
	Okara	666	71	525	70
	Okara valorisation	8	1	7	-
	Okara Reuse	77	22	43	12
	Taylor and Francis	Soybean	32700	-	-
	soybean valorisation	121	-	-	-
	Soybean residues valorisation	74	-	-	-
	Soybean hulls valorisation	17	-	-	-
	Okara	409	-	-	-
	Okara valorisation	5	-	-	-
	Okara Reuse	16	-	-	-
Sage	Soybean	5983	290	4679	47
	soybean valorisation	28	2	22	-
	Soybean residues valorisation	8	-	6	-
	Soybean hulls valorisation	3	-	3	-
	Okara	92	-	60	10
	Okara valorisation	1	-	1	-
	Okara Reuse	1	-	1	-

De um ponto de vista de seleção e priorização dos documentos a serem explorados por essa pesquisa, foram analisados em primeiro lugar, os *reviews* de todos os anos disponíveis em todas as três bases científicas. Estes documentos foram os instrumentos que guiaram e serviram de base para a identificação das tecnologias utilizadas na conversão do Okara e do farelo de soja. Em seguida, os artigos referentes aos últimos cinco anos foram lidos como forma de complementar as informações sobre as aplicações identificadas pelos reviews. Ademais, os capítulos de livros foram a última verificação como forma de exaurir as possibilidades de aplicações ainda não encontradas. Os dois gráficos mostrados na Figura 3. 1 e na Figura 3. 2 foram elaborados para mostrar a distribuição de reviews e artigos ao longo dos anos, evidenciando que tem aumentado substancialmente o interesse da academia sobre o reaproveitamento dos subprodutos da soja.

Figura 3. 1 - Distribuição dos reviews da base Science Direct ao longo dos anos

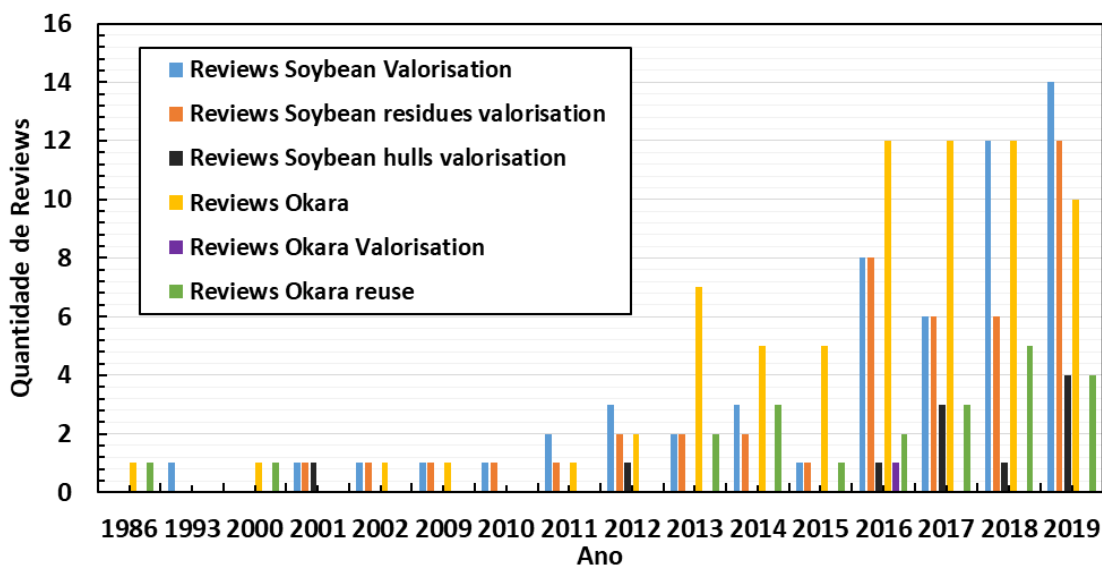
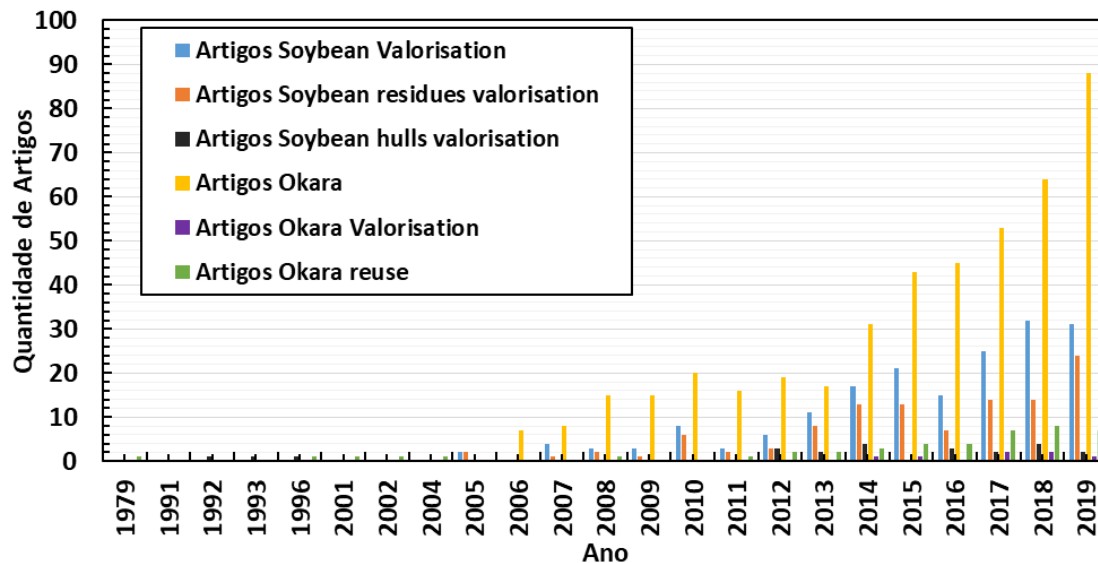


Figura 3. 2 - Distribuição dos artigos da base Science Direct ao longo dos anos



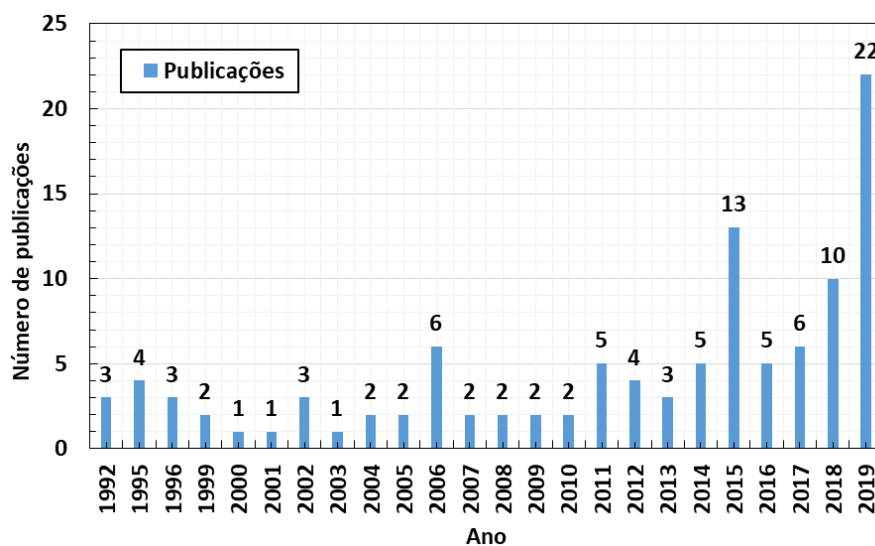
Após a identificação dos documentos, foram selecionados os documentos aderentes ao tema da pesquisa. Estes foram divididos em reviews, teses, artigos, capítulos de livro. É importante citar que os sites e algumas publicações foram acessados para complementar as informações através do método de *snowballing*.

Neste método, selecionam-se respondentes adicionais a partir das referências encontradas na literatura, com base de indicações de nomes. O procedimento se repete até que as publicações começam a se repetir. Ao fim de toda a pesquisa, considerando também o *snowballing*, foram selecionados 109 documentos totais conforme mostrado no Quadro 3. 1. Outrossim, a Figura 3. 3 representa a distribuição dessas publicações ao longo dos anos.

Quadro 3. 1 - Documentos relevantes destacados por tipo

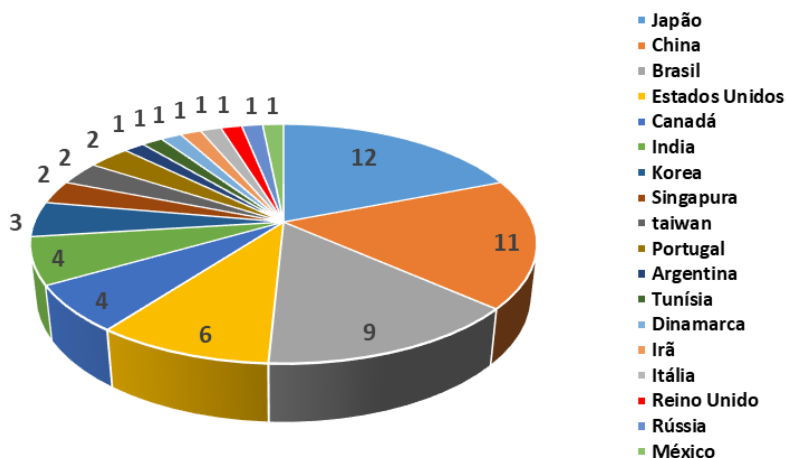
Total de documentos	Reviews	Teses	Artigos	Relatórios	Capítulos de livro	Sites
109	11	4	58	16	3	17

Figura 3. 3 - Distribuição das publicações ao longo dos anos



Uma primeira análise interessante é a distribuição dos resultados para o reaproveitamento dos resíduos da soja distribuídos por país como forma de identificar onde a pesquisa é mais forte e comparar com os dados mercadológicos sobre a soja. De acordo com a Figura 3. 4 o Japão, a China, o Brasil e os Estados Unidos representam 60% dos documentos encontrados nas pesquisas. Segundo os dados mercadológicos disponibilizados no capítulo II – Revisão Bibliográfica, os maiores comercializadores de soja são o Brasil, a China e os Estados Unidos, então é esperado que existam pesquisas presentes nesses países para reaproveitamento dos seus rejeitos.

Figura 3. 4 - Distribuição da literatura encontrada sobre rotas tecnológicas para a transformação dos subprodutos da soja por país



O resultado que diferencia dos demais é o do Japão. O Okara é um resíduo comum no Japão, porque o tofu, item bastante consumido pela culinária japonesa, é produzido através do processamento do leite de soja gerando esse subproduto. Portanto, foram encontradas várias publicações de autores s japoneses visando ao reaproveitamento desses resíduos.

Separando os artigos por país e resíduos, representados na Figura 3. 5 e na Figura 3. 6, é possível ver como os resultados dependem da utilização primária da soja. O Okara é um resíduo tipicamente produzido em maior escala nos países que tem o maior consumo de tofu e leite de soja. Por isso, as soluções relacionadas com esse tipo de subproduto são maiores nos países asiáticos. Já os estudos sobre o farelo estão mais concentrados nos países onde a indústria transformadora da soja em óleo de soja é mais presente. Essa observação mostra que a produção do Okara está ligada à demanda no consumo de tofu e leite de soja, enquanto que a produção do farelo está relacionada com a oferta, onde é produzido o óleo de soja.

Figura 3. 5 - Distribuição da literatura encontrada sobre rotas tecnológicas para a transformação do Okara por país

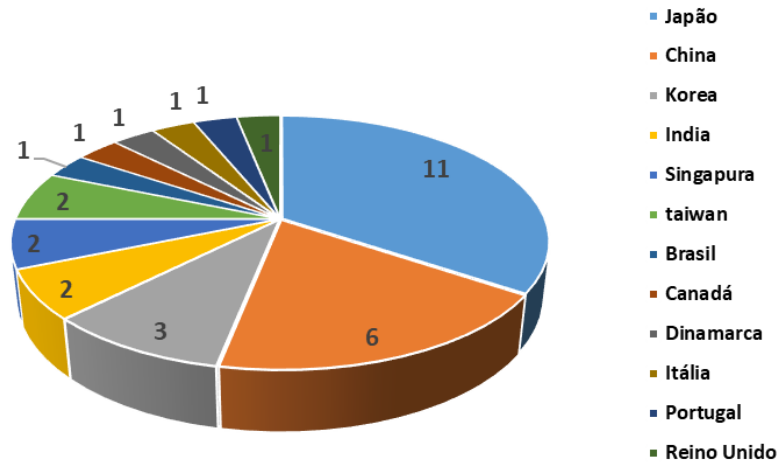
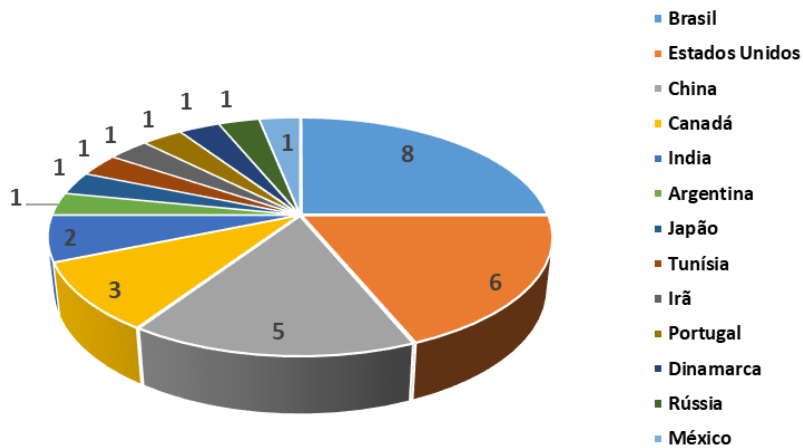


Figura 3. 6 - Distribuição da literatura encontrada sobre rotas tecnológicas para a transformação do farelo de soja por país



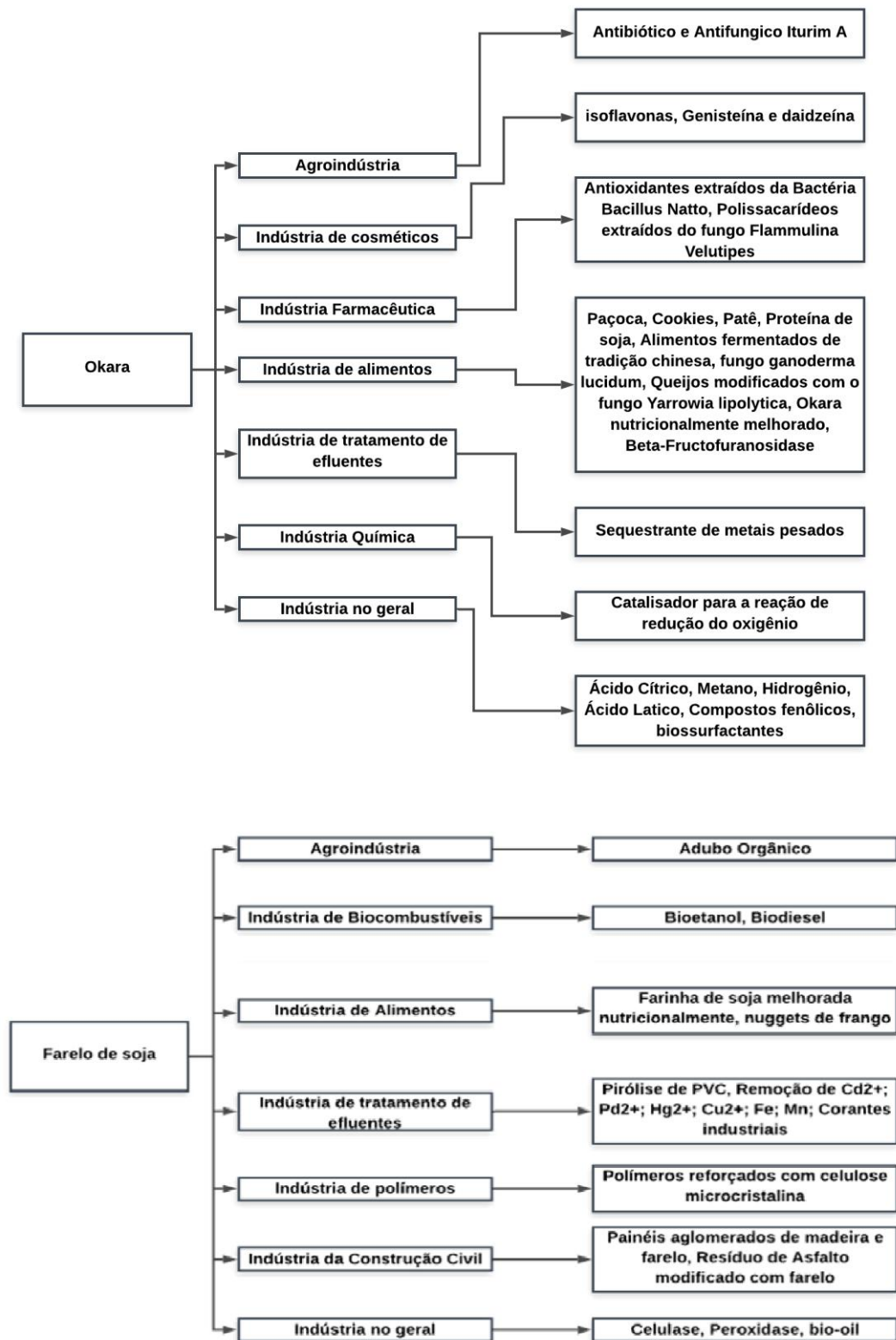
A partir desses resultados, uma base de dados contendo o título do trabalho, o autor, a técnica empregada, o destino e o produto/aplicação foi criada para mostrar em detalhes os resultados da pesquisa. Essa tabela será discutida no capítulo a seguir.

CAPÍTULO 4 – Resultados

Nesse capítulo será feito um levantamento de trabalhos relacionados com as tecnologias de aproveitamento tecnológico dos subprodutos da soja e suas principais aplicações. Em seguida, a partir dos trabalhos pré-selecionados, serão definidos critérios específicos para a avaliação de cada tipo de solução tecnológica dada para solucionar o problema da geração de resíduos/subprodutos especificamente para o caso brasileiro. Esses critérios vão servir como base para o estudo de oportunidade criado.

As aplicações para o Okara e para o farelo de soja encontradas na pesquisa foram divididas em algumas classificações (setor/indústria e aplicação) para facilitar o seu entendimento e posteriormente a avaliação dessas tecnologias. Essa classificação pode ser encontrada na Figura 4. 1.

Figura 4. 1 - Produtos/aplicações para os subprodutos da soja separados por tipo de indústria



4.1 - Aplicações Tecnológicas para o Okara

Durante a pesquisa bibliográfica foram encontrados os seguintes destinos (setores/indústrias) para o reaproveitamento do Okara: a agroindústria, a indústria de cosméticos, a indústria farmacêutica, a indústria de alimentos, a indústria de tratamento de efluentes, a indústria química e a indústria de uma forma geral.

Nesse sentido, o Okara pode ser utilizado de duas formas. A primeira quando é tratado com produtos químicos, geralmente ácidos e bases e posteriormente, utilizado diretamente como produto final. Já na segunda forma, o Okara funciona como um produto intermediário. Uma substância presente neste pode ser extraída por meio de processos químicos e/ou esse subproduto pode ser utilizado para fermentação utilizando um microrganismo.

4.1.1 - Agroindústria

A agroindústria é um segmento forte no Brasil, tendo em vista os números discutidos no Capítulo II e constitui um destino interessante para os resíduos da soja. O trabalho de origem japonesa desenvolvido por OHNO; ANO; SHODA, (1996) descreve a produção de um antibiótico chamado Iturin A, a partir da bactéria *Bacillus subtilis* NB22. Essa bactéria utiliza Okara como substrato para realizar uma fermentação em estado sólido e produzir o antibiótico. (OHNO; ANO; SHODA, 1996)

Esse produto Iturin A foi testado por PHAE et al, (1992) contra o fungo coroa de trigo, a erva daninha e a murcha bacteriana, que são doenças comuns em plantações como a do tomate. Em seus experimentos, os autores testaram como a presença da bactéria *Bacillus subtilis* NB22 no solo e em placas de petri interferem no crescimento desses fungos e na sobrevivência da plantação. (PHAE et al., 1992)

Segundo a Figura 4. 2, fornecida pelo artigo, é possível ver a diferença do desenvolvimento da planta em três recipientes distintos. O recipiente A recebeu a maior concentração de Bactérias NB22, enquanto o recipiente C não recebeu essa cultura. O artigo informa não saber sobre o impacto da introdução dessa bactéria em uma cultura em larga escala.

Figura 4. 2 - Controle de pragas pelo Iturim A (PHAE et al., 1992)



4.1.2 - Indústria de Cosméticos

A presença de óleos essenciais antioxidantes no Okara faz com que esse rejeito vire um potencial produto intermediário para a indústria de cosméticos. QUINTAIN et al., (2006) realizaram um estudo sobre a extração de isoflavonas como a genisteína e a daidzeína a partir da matéria-prima Okara com a utilização de CO₂ supercrítico e etanol. (QUITAIN et al., 2006)

As isoflavonas são fitoestrogênios encontrados em plantas, reconhecidos por terem propriedades cosméticas e medicinais capazes de atrasar o envelhecimento, prevenir cânceres e, mais especificamente para as mulheres, reduzir os sintomas da menopausa. Segundo CAMPA; BARON, (2018) a soja demonstrou os seguintes efeitos anti-idade: Aumento do eritema após exposição a UVB, melhora da textura da pele, linhas finas reduzidas, tom de pele melhorado. (CAMPA; BARON, 2018; HIGDON et al., [s.d.]

O artigo de QUINTAIN et al., 2006 indica que a utilização de fluidos supercríticos tem se tornado mais constante devido às políticas mais restritivas contra os solventes orgânicos. Por esse motivo, o CO₂ continua sendo o mais utilizado, pois tem propriedades supercríticas de pressão e temperatura facilmente alcançáveis de um ponto de vista operacional. O trabalho faz essa extração variando a temperatura entre 40°C e 80°C e a pressão de 12 – 30 Mpa e adicionando EtOH em algumas das amostras para comparação com os resultados sem o uso desse solvente.(QUITAIN et al., 2006)

Os resultados mostraram que o CO₂ sozinho funciona bem para a remoção de substâncias apolares e com a presença de 10 mol% EtOH, o seu poder de extração aumenta em três vezes. Portanto, essas substâncias extraídas podem representar um alto potencial de uso no Brasil, visto o país ocupa a oitava posição no mercado mundial de produtos para o cuidado da pele. (ABIHPEC, 2018)

4.1.3 - Indústria Farmacêutica

Da mesma forma que para a indústria de cosméticos, os compostos oxidantes presentes no Okara, como as isoflavonas, os ácidos fenólicos e as antocianinas, podem ser utilizados como princípios ativos para a produção de medicamentos. Como proposto por HATTORI et al., (1995a), uma preparação de antioxidantes advindos do Okara apresentou um efeito anti-inflamatório para edemas induzidos nos pés de ratos de teste. HATTORI et al., (1995b) cita como antioxidantes vitamina E, vitamina C, β-caroteno e ácido úrico, bem como enzimas protetoras como a peroxidase que desempenham um papel importante na proteção contra o processo inflamatório em seres vivos.(HATTORI et al., 1995a, 1995b)

Em ambos os estudos, os autores utilizam a mesma preparação de “Natto”, uma fermentação utilizando a bactéria *Bacillus natto* para a produção do composto NTX-100C ou dl-α-tocopherol, um antioxidante que age contra edemas inflamatórios. O processo produtivo consiste no cozimento e posterior fermentação por 18 horas. Ao final desse processo, a solução contendo o antioxidante foi separada da cultura e foi injetada diretamente no edema localizado nos pés dos ratos de teste e a severidade da inflamação foi avaliada ao longo do tempo.(HATTORI et al., 1995a, 1995b)

A conclusão dos autores foi que o NTX-100C exerceu atividades anti-inflamatórias eficazes na lesão do edema do pé devido aos radicais livres gerados. O resultado positivo do estudo indicava que seria interessante prosseguir os estudos para a sua aplicação em humanos, gerando um novo produto no mercado farmacêutico. Entretanto, por se tratar de uma publicação muito antiga, pode haver indícios de que a pesquisa não evoluiu durante os anos. (HATTORI et al., 1995a, 1995b)

Outra aplicação igualmente interessante no ramo farmacêutico é descrita por SHI et al., (2012). O trabalho publicado mostra a produção de polissacarídeos a partir do *Flammulina velutipes*. Esses polissacarídeos provenientes do fungo foram descritos como tendo propriedades antitumorais e como redutores do colesterol. Esse cogumelo é parte da dieta alimentar asiática por ser rico em fibras e nutrientes. (CUI et al., 2006; SHI et al., 2012; SHU et al., 2006)

Em seu trabalho SHI et al., (2012), realizou uma cultura do cogumelo *Flammulina velutipes* em frascos de 200 ml, escala de bancada e posteriormente, adicionou o Okara na fase sólida com as células para ser fermentado. A mistura permaneceu a 25°C durante o tempo de fermentação. Após o tempo de fermentação, não determinado pelo artigo, os autores realizaram alguns testes, entre eles, a quantidade de polissacarídeos extraídos, o teor de carboidratos e as propriedades dos antioxidantes presentes. (SHI et al., 2012)

Os autores encontraram resultados promissores no trabalho. Eles utilizaram um planejamento de experimentos estatísticos para otimizar a extração de polissacarídeos e antioxidantes. Em sua análise sobre os antioxidantes presentes, o trabalho mostrou um aumento de mais de 80% na atividade de enzimas do corpo chamadas superóxido dismutase e catalase. Essas enzimas são responsáveis por transformar o superóxido de hidrogênio e o peróxido de hidrogênio, protegendo as células do corpo. (CUI et al., 2006; SHI et al., 2012; SHU et al., 2006)

Da mesma forma, o estudo mostrou que as substâncias presentes nesse fungo podem auxiliar na iniciação do sistema imunológico contra patógenos e tumores. (CUI et al., 2006; SHI et al., 2012; SHU et al., 2006)

4.1.4 - Indústria de alimentos

O Okara é proveniente da produção de produtos para a indústria de alimentos, dessa forma, as aplicações mais clássicas para esse subproduto estão fortemente ligadas a essa indústria. Entretanto, as rotas tecnológicas encontradas tentam sair do viés tradicional da alimentação animal. Nesse sentido, foram propostas três formas de utilização diferentes, a utilização direta, a precipitação isoelétrica e a fermentação.

Em um primeiro momento, foram estudados os benefícios nutricionais da inclusão da farinha de Okara para a formulação de três produtos diferentes, *cookies*, um produto do tipo paçoca e patê.

Em sua tese de mestrado, RIBEIRO, (2006) estudou as propriedades nutricionais e sensoriais da inclusão de farinha de Okara em um produto do tipo paçoca. O trabalho dividiu as amostras em cinco tipos, contendo 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de farinha de Okara e avaliou alguns parâmetros tais como, composição centesimal, valor calórico, determinação da fração ferro total e ferro solúvel, perfil de aminoácidos, índice químico e análise sensorial.(RIBEIRO, 2006)

Do ponto de vista nutricional, o aumento na quantidade de Okara melhorou o produto. Por ser um subproduto de uma oleaginosa, a farinha é rica em proteínas e gorduras benéficas, portanto o valor calórico do produto subiu com o aumento da quantidade de farinha. Já sensorialmente, os dois produtos mais aceitos por um teste feito em pessoas não treinadas foram os que continham 0% e 40% de farinha, ou seja, o produto com maior quantidade testada de Okara foi o mais aceito para consumo.(RIBEIRO, 2006)

Já PARK; CHOI; KIM, (2015) utilizaram o Okara para a composição de um *cookie* comercial. A ideia proposta pelos autores foi criar uma receita comercialmente aceitável de *cookie* sem glúten e com as mesmas características de um produto vendido desse tipo. Segundo os autores, esse produto apresentou alguns desafios como a utilização de Okara molhada e não seca, o que a torna mais perecível. Outro desafio foi fazer um produto com aparência, textura e sabor parecidos com os *cookies* já tradicionalmente vendidos e aceitos pelo consumidor. Por último, para manter a “crocância” e a umidade do produto, os autores usaram amido e hidróxipropil metilcelulose. (PARK; CHOI; KIM, 2015)

O trabalho avaliou microscopicamente os *cookies*, assim como a dureza dos *cookies*. Por último, foi realizada uma análise sensorial para verificar a aceitação dos mesmos. Os *cookies* foram divididos em quatro amostras distintas: 1) somente Okara. 2) Okara com amido. 3) Okara com farinha de soja. 4) Okara com hidróxipropil metilcelulose.

A análise microscópica mostrou que a amostra 4 foi a que mais se manteve homogênea e com menos interstícios. Já a análise de dureza mostrou que os *cookies* das amostras de número 3 e 4 ficaram mais duros com o passar dos dias em relação às amostras 1 e 2, uma vez que a farinha de soja e o hidróxipropil metilcelulose removem a umidade dos *cookies*. Por último, a análise sensorial revelou que os produtos frescos com melhor aparência, crocância e sabor foram os de número 3 e 4, sendo os mais aceitos no consumo. Portanto os dois produtos mais aceitos seriam os mais indicados na produção industrial. (PARK; CHOI; KIM, 2015)

No terceiro trabalho ligado à formulação, GUIMARÃES et al., (2018) utilizaram o Okara como base para a produção de um patê vegetal. Eles dividiram o trabalho em três formulações diferentes de 1 a 3, sendo a primeira com 33,87% de Okara, a segunda com 43,45% e a terceira com 50,60% do subproduto. Aspectos químicos como a composição, total de fenóis e cor foram testados, assim como foi feita uma análise sensorial e econômica do produto.(GUIMARÃES et al., 2018)

Os autores encontraram que todas as três formulações continham baixo valor calórico, assim como uma quantidade elevada de isoflavonas, proteínas e fibras. Já a análise sensorial mostrou que a amostra 1 foi aquela com melhor avaliação na escala, apesar de todas terem sido amplamente aceitas nos testes. (GUIMARÃES et al., 2018)

Em uma segunda forma de utilização diferente da formulação, MA et al., (1996) propuseram a precipitação isoelétrica seguida da caracterização das proteínas do Okara para enriquecimento da alimentação animal. A técnica consiste em misturar o Okara com água destilada e realizar uma extração sólida e/ou líquida ajustando o pH com NaOH ou HCl 2N. Então, a proteína sobrenadante foi separada com uma centrífuga, congelada e os lipídios contidos nessa fração foram retirados por uma extração com hexano. A fração de proteínas concentrada foi comparada com um produto comercial de proteína de soja chamado Supro 610.(MA et al., 1996)

As proteínas do Okara foram extraídas a 25°C e 80°C e os seus resultados para as concentrações de aminoácidos tiveram uma variação de 5,78% e 7,7% respectivamente. A

digestibilidade das amostras também se mostrou superior àquela do produto comercial, indicando o seu potencial. Outros parâmetros como emulsificação e composição da espuma também se mostraram equivalentes. A solubilidade foi o único parâmetro em que as amostras de teste foram inferiores ao produto comercial. (MA et al., 1996)

Seguindo outra linha de utilização, o Okara tem diversas aplicações relacionadas com a fermentação. ZHU et al., (2008) avaliaram o potencial antioxidante, a concentração de peptídeos e a degradação de proteínas na água extraída do prato tradicional chinês, Meitauza, preparado a partir da fermentação do Okara utilizando a bactéria *Bacillus subtilis* B2. (ZHU et al., 2008)

O preparo consistiu em obter o Okara a partir da soja e então, em um ambiente esterilizado, inocular a bactéria na solução de subproduto e deixar a fermentação acontecer durante 48 horas a 40°C com uma umidade de 95%. O fermentado obtido foi liofilizado e sofreu processo de secagem para posterior avaliação.(ZHU et al., 2008)

Esse sólido composto de peptídeos, antioxidantes, fibras e carboidratos teve um efeito antioxidante maior devido à fermentação, utilizando a bactéria e por esse motivo, os resultados podem ser extrapolados para outros pratos tradicionais da culinária chinesa que utilizam Okara, fazendo com que estes ofereçam propriedades nutricionais melhoradas. (ZHU et al., 2008)

Uma segunda aplicação para o Okara envolvendo o processo fermentativo foi descrita por HSIEH; YANG, (2004). O trabalho publicado relaciona a utilização do Okara para a fermentação e crescimento do fungo *Ganoderma lucidum*. O processo de produção de cogumelo consistiu em uma fermentação em fase sólida. (HSIEH; YANG, 2004)

Um inóculo do fungo foi colocado em contato com o pó de Okara já seco e moído em duas condições de Carbono (C) /Nitrogênio (N). Segundo os autores, o processo de crescimento do *Ganoderma lucidum* foi significativo nos dois casos, porém em caso de posterior utilização para a alimentação humana, uma regulação de C/N deve ser feita para melhorar a composição nutricional do cogumelo.(HSIEH; YANG, 2004)

Trabalhos publicados como os de JIN et al., (2016) e WACHTEL-GALOR; TOMLINSON; BENZIE, 2004 mostram o uso direto do cogumelo por humanos. O primeiro trabalho é um *review* clínico sobre tratamento de câncer, entretanto, como estudos clínicos são extremamente complexos, existem muitas variáveis inconclusivas. (JIN et al., 2016; WACHTEL-GALOR; TOMLINSON; BENZIE, 2004)

Já a segunda linha de pesquisa é voltada para a suplementação da alimentação com esse fungo e para os possíveis resultados associados. Voluntários adultos seguiram a suplementação durante quatro semanas, entretanto o trabalho concluiu que nenhuma mudança significativa foi notada na capacidade imunológica, antioxidante e/ou anti-inflamatória do corpo. As únicas mudanças vistas foram um aumento da capacidade antioxidante através de testes de urina e uma leve tendência para a diminuição de lipídios. (WACHTEL-GALOR; TOMLINSON; BENZIE, 2004)

Uma terceira aplicação para o Okara ligada à fermentação pode ser descrita por SØRENSEN et al., (2011) e VONG; AU YANG; LIU, (2016). Em seus estudos, os autores descrevem a utilização do Okara para o incremento de sabor para alimentos como queijos e linguiças através de microrganismos. (SØRENSEN et al., 2011; VONG; AU YANG; LIU, 2016)

Em seus trabalhos, os autores fizeram uso dos seguintes microrganismos: *Yarrowia lipolytica*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Debaryomyces hansenii*. A metodologia empregada pelos autores se baseou em desenvolver as culturas utilizando o substrato Okara e posteriormente, adicionar um Ágar-Ágar com os microrganismos à solução de queijo previamente tratada. Cada uma das culturas foi adicionada em uma amostra de queijo e as culturas não foram combinadas. Depois do tempo de incubação, as moléculas produzidas pelos diferentes microrganismos foram estudadas e comparadas com os dados presentes na literatura. (SØRENSEN et al., 2011; VONG; AU YANG; LIU, 2016)

Segundo as publicações, a utilização de Okara no crescimento dessas culturas teve um impacto direto na qualidade final do queijo. O *Yarrowia lipolytica* produziu alguns sulfitos, furanos e cetonas de cadeia curta, o *Saccharomyces cerevisiae* gerou ésteres

primários e o *Debaryomyces hansenii* aldeídos de cadeia ramificada e álcoois. Todos esses compostos estão ligados com a alteração no sabor dos alimentos, conferindo alterações positivas no paladar e no aroma. Portanto, para países que tem tradição na produção de queijo, como o Brasil, essa aplicação pode ser promissora. (SØRENSEN et al., 2011; VONG; AU YANG; LIU, 2016)

Seguindo na linha de aplicação de produtos derivados do Okara na alimentação humana utilizando microrganismos como o *Yarrowia lipolytica* e o *Rhizopus oligosporus*, VONG; HUA; LIU, (2018) realizaram um trabalho que teve o objetivo de melhorar as propriedades de sabor e composição nutricional do rejeito para posterior comercialização. Amostras de Okara previamente esterilizadas foram inoculadas com os microrganismos, em separado, e a fermentação durou três dias a 30°C. Então, os fermentados foram analisados quanto à sua composição e aparência.(VONG; HUA; LIU, 2018)

Segundo as análises feitas pelos autores, o fermentado apresentou uma camada extensa branca com esporos pretos na superfície devido ao tempo elevado de fermentação. Essa camada, entretanto, não apresenta perigo para o consumo humano, uma vez que os microrganismos empregados não produzem substâncias perigosas aos humanos. No âmbito da composição, a fermentação levou a um aumento no ácido succínico, aminoácidos, isoflavonas e ácidos fenólicos livres, os quais são benéficos para o corpo. (VONG; HUA; LIU, 2018)

Uma última aplicação ligada à fermentação do Okara foi descrita por HAYASHI et al., (1992). O trabalho descreveu a produção da enzima beta-fructofuranosidade através da utilização da fermentação utilizando o microrganismo *Aspergillus japonicus*. A metodologia desenvolvida descreveu a hidrólise do Okara antes da fermentação e o crescimento dos microrganismos em escala de bancada. Então, o Okara foi incorporado na cultura e a fermentação ocorreu a 30°C durante um período de 48-120 horas. (HAYASHI et al., 1992)

A produção de enzima foi testada através do método de oxidação da glicose, onde uma solução de glicose foi injetada na solução de fermentação e a atividade da quebra da

sucrose medida. Essa avaliação fora realizada cinco vezes no tempo de fermentação. (HAYASHI et al., 1992)

A enzima beta-fructofuranosidade pode ser responsável pela produção de uma categoria de polissacarídeos complexos chamados fructooligosacarídeos. Alguns desses polissacarídeos têm uma característica interessante descrita por YUN, (1996). Esses açúcares têm uma capacidade de reproduzir o paladar do açúcar comum. Esse fato é interessante, pois a sua produção representa uma possibilidade de solução para pessoas com diabetes ou que não consomem o açúcar comum. Segundo o autor, esses fructooligosacarídeos, por terem estruturas moleculares complexas, têm suas propriedades associadas com os “adoçantes”.(YUN, 1996)

PASSOS; PARK, (2003) fizeram uma revisão das aplicações associadas aos fructooligosacarídeos. Entre as aplicações, o trabalho cita a prevenção de cáries dentárias, redução nos níveis séricos de colesterol total e lipídeos, atuação como estimulantes do crescimento de bifidobactérias no trato digestivo, melhorando a flora intestinal. Por conseguinte, essa mudança na composição das bactérias do intestino auxilia em outros benefícios no corpo humano como a redução da pressão sanguínea, alteração no metabolismo de ácidos gástricos e redução na absorção de carboidratos e lipídeos. (PASSOS; PARK, 2003)

4.1.5 - Indústria de tratamento de efluentes

A indústria de tratamento de efluentes é uma das indústrias mais importantes no contexto atual, pois apresentar caráter transversal a todos os tipos de indústrias, já que sempre há a produção de efluentes. Cada vez mais, os órgãos ambientais aumentam a rigorosidade no descarte de efluentes e desta forma, as empresas buscam alternativas não convencionais para atender a essas novas diretrizes impostas.

O Okara pode ser introduzido nesse contexto como um removedor de metais pesados e corantes de efluentes com base líquida de água. GAO et al., (2011) propuseram uma solução para os efluentes de corantes em água que contribuem para a mudança da coloração e toxicidade dos ambientes aquáticos. No trabalho, os autores trataram o Okara com uma

solução ácida de HCl e lavaram, posteriormente, com água destilada para retirar qualquer presença de ácido. Então, o produto foi congelado e seco para ser utilizado como biossorvente. (GAO et al., 2011)

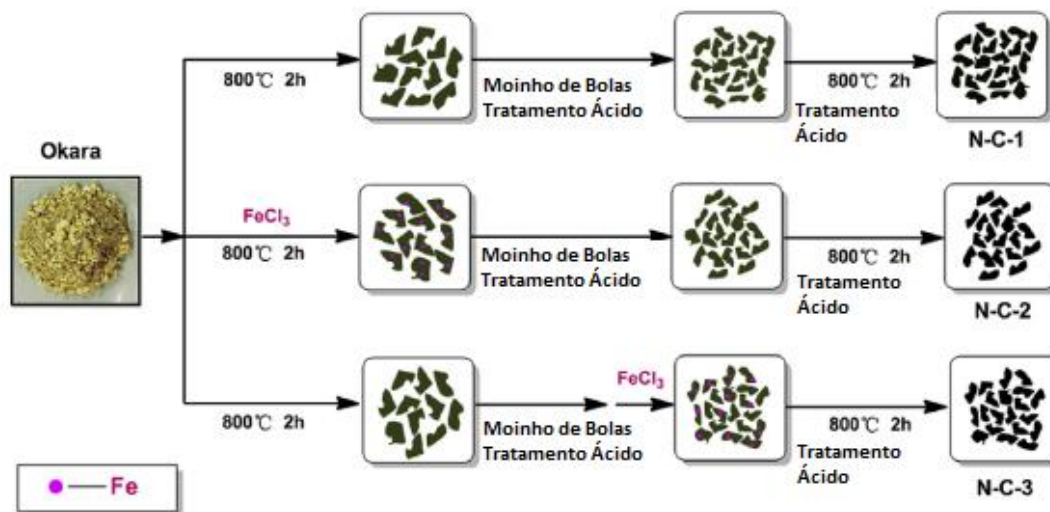
A parte experimental consistiu em utilizar Okara não-tratada e tratada com ácido para remover os corantes azorrubina e o básico vermelho 15 em solução, cujo solvente foi água. Segundo os autores, a capacidade de adsorção dos corantes é diretamente ligada com a compatibilidade de estrutura química do adsorvente, a estrutura do corante e o pH da solução contendo o corante. Os resultados mostraram uma melhor eficiência do Okara tratado com ácido. Da mesma forma, para esses dois corantes utilizados, o pH ótimo de separação foi 2, um pH muito ácido, entretanto o pH ótimo depende da estrutura da molécula a ser separada. Em termos quantitativos, a pesquisa demonstrou uma recuperação de mais de 90% da concentração de corante presente no efluente.(GAO et al., 2011)

4.1.6 - Indústria química

Todas as indústrias apresentadas até o momento neste trabalho são correlatas à indústria química. Entretanto, existe uma aplicação para o Okara que pode ser diretamente ligada ao processo de redução de oxigênio. A reação de oxirredução do H₂ e O₂ é comumente encontrada em células a combustível. Normalmente, essa reação é catalisada por platina o que a torna mais cara. WANG et al., 2015 propuseram a preparação de um catalisador dopado de Nitrogênio-Carbono para a substituição desses catalisadores tradicionais.(WANG et al., 2015)

Segundo o trabalho, três tipos de catalisadores foram sintetizados, com 1, 2 e 3 carbonos. Para tal, o Okara foi submetido a uma temperatura de 800°C durante 2 horas e posteriormente moído em um moinho de bolas seguido de um tratamento ácido. Em seguida, o produto intermediário foi novamente submetido a uma temperatura de 800°C durante 2h seguido novamente de tratamento ácido para a formação do catalisador dopado. Para conseguir sintetizar os catalisadores de 2 e 3 carbonos, os autores utilizaram uma solução de FeCl₃ em momentos específicos conforme a Figura 4. 3 (WANG et al., 2015)

Figura 4. 3 - Rota Sintética para obtenção dos catalisadores C-N (WANG et al., 2015)



Testes para avaliar o potencial de oxirredução foram aplicados comparativamente com os três tipos de catalisadores e um catalisador de referência de Platina-Carbono (Pt/C). Os resultados encontrados mostraram que os três catalisadores do tipo C-N tiveram um desempenho satisfatório nos testes de potencial elétrico e densidade de corrente. Segundo os dados experimentais, o catalisador com três carbonos apresentou melhor desempenho que os outros dois tipos C-N e, comparativamente, foi equivalente àquele comercial de Pt/C. (WANG et al., 2015)

4.1.7 - Indústria no geral

Existe uma classe de produtos produzidos a partir do Okara, como por exemplo, o metano e o ácido cítrico que pode ser utilizada em diversos tipos de indústrias, dessa forma, estes foram colocados em um grupo de aplicações mais generalista.

A primeira transformação descrita para o Okara de um produto com diversas aplicações foi descrita por KHARE; JHA; GANDHI, (1995). O trabalho descreve a fermentação do Okara utilizando o fungo *Aspergillus Níger* para a produção de ácido cítrico. O trabalho aplicou quatro metodologias distintas na produção do ácido. A primeira foi a fermentação direta do Okara esterilizado com uma solução de fungo a 30°C. A segunda foi uma pré-fermentação com o fungo *Aspergillus Terreus* seguido de uma esterilização e a inoculação do *A. Níger*. O terceiro método foi a pré-fermentação com *A. Terreus* seguida da

inoculação direta do *A. Niger* no mesmo mosto. Por fim, o último método se tratou de uma fermentação em mistura dos dois fungos durante os 11 dias de fermentação. (KHARE; JHA; GANDHI, 1995)

Os resultados encontrados foram que o método de fermentação conjunta foi o mais eficiente, uma vez que o *A. Terreus* é capaz de converter celulose em polissacarídeos, que posteriormente, foram convertidos em ácido cítrico. Em termos quantitativos, a fermentação direta gerou 1,26g de ácido cítrico/100g de Okara, enquanto que o método combinado gerou 5,10g de ácido/100g de Okara. (KHARE; JHA; GANDHI, 1995)

O review publicado por CIRIMINNA et al., (2017) descreve quais são as aplicações tradicionais e emergentes para o uso do ácido cítrico. Entre as aplicações descritas como tradicionais, tem-se a utilização para síntese de princípios ativos de remédios, conservante de produtos alimentícios, modificador de sabor, diurético, anticoagulante e estabilizador de pH. Outras aplicações emergentes descritas foram a utilização do produto como um agente ligante de moléculas, desinfetante, agente remediador ambiental e agente extrator de substâncias. Segundo o documento, o mercado de ácido cítrico já é amplamente consolidado em todo o mundo com diversas plantas em escala industrial. (CIRIMINNA et al., 2017)

A segunda transformação descrita na literatura, cujo produto tem diversas aplicações, foi abordada por MUROYAMA; MOCHIZUKI; WAKAMURA, (2001). O trabalho descreve a fermentação do Okara para a produção de metano a partir de duas misturas de bactérias denominadas: Metanogênio I e Metanogênio II. O tipo I foi obtido através de uma cultura de já pronta de um biodigestor anaeróbico e o tipo II foi preparado em laboratório. (MUROYAMA; MOCHIZUKI; WAKAMURA, 2001)

O método utilizado pelo artigo consistiu em nove amostras totais de fermentação anaeróbica a 37°C durante um período 20 dias, com a diferença apenas na taxa de alimentação de substrato. O sistema montado contou com um tubo para o recolhimento de gás que fora analisado posteriormente para avaliar o teor de metano. A pesquisa chegou aos resultados experimentais de uma conversão máxima de 53,7% do substrato em metano, comparativamente próximo do valor teórico de 55%. Esse valor foi obtido, porque a partir

de certa taxa de alimentação, começa a haver deposição excessiva de sólidos no biodigestor.(MUROYAMA; MOCHIZUKI; WAKAMURA, 2001)

Outra pesquisa nessa linha de produção de metano pode ser descrita por ZHOU et al., (2011). Os autores também produziram um biodigestor com bactérias anaeróbicas para a conversão do Okara. O trabalho variou a concentração de alimentação de Okara durante os 19 dias de fermentação. O resultado ótimo encontrado pelos autores foi a conversão de 69,9% da matéria-prima inicial em metano, o que representa um resultado mais promissor que o artigo com a pesquisa similar.(ZHOU et al., 2011)

O metano é uma molécula que apresenta os mais diversos destinos. Cristina Hadley escreveu um resumo para a o site SCIENCING explicitando os usos para esse produto. Segundo a autora, o gás natural é utilizado como matéria-prima para a produção de tecidos, de polímeros plásticos, de fertilizantes e como agente anti-congelante. Existem também alguns usos domésticos para esse gás. Existem localidades que utilizam o gás natural para aquecer a água e para cozinhar.(HADLEY, 2018)

O terceiro uso para a conversão do Okara é a formação de hidrogênio através de bactérias. NOIKE et al., (2002) realizaram um trabalho para verificar a estabilidade da produção de hidrogênio através da família de bactérias *Clostridia*. Segundo os autores, essas bactérias podem utilizar resíduos como o Okara para a produção de hidrogênio e não precisam de luz nesse processo fermentativo, o que representa uma vantagem, já que esse processo poderia se manter ininterrupto. Entretanto, esse processo tem alguns fatores limitantes que são mostrados a seguir.(NOIKE et al., 2002)

O trabalho estudou a influência da contaminação do mosto fermentativo por bactérias fermentadoras de ácido lático e como remediar essa situação. Os mostos foram preparados com a combinação das bactérias produtoras de hidrogênio *Clostridia* e duas bactérias produtoras de ácido lático, *Lactobacillus paracasei* e *Enterococcus durans*. Os autores avaliaram a produção de hidrogênio ao longo dos dias com diferentes banhos térmicos a 50°C, 60°C, 70°C, 80°C e 90°C. (NOIKE et al., 2002)

Os resultados encontrados foram que a presença de bactérias fermentadoras lácticas inibe a produção de hidrogênio, entretanto, para altas temperaturas, as bactérias *Clostridia* voltavam a produzir hidrogênio ao longo dos dias. Esse fato ocorreu porque elas são esporuladoras e seus esporos resistem ao calor, enquanto que as produtoras de ácido láctico se desnaturaram na presença de alta temperatura. (NOIKE et al., 2002)

O hidrogênio pode ser utilizado como matéria-prima na indústria química e também como agente redutor na indústria metalúrgica. O hidrogênio é peça essencial para a fabricação de amônia, conseqüentemente, fertilizantes e metanol, usados na fabricação de muitos polímeros. Outra aplicação para o hidrogênio é a utilização em refinarias para o processamento de derivados intermediários de petróleo. A indústria de hidrogênio tem alto potencial, entretanto, por ser um setor já consolidado, existem diversas rotas para a produção desse gás já em escala industrial. (HYDROGEN EUROPE, 2017)

A quarta aplicação tecnológica encontrada para o Okara que pode ser utilizada na indústria em geral é a produção fermentativa de ácido láctico. KRISHNA et al., (2018) realizaram um *review* descrevendo os métodos de produção de ácido láctico, suas vantagens e desvantagens, as matérias-primas utilizadas e as aplicações conhecidas na indústria. Em seu trabalho, não é mencionada a utilização de Okara como substrato, entretanto, MUROYAMA; ATSUMI; ANDOH, (2006) descreveram a produção de ácido láctico através da bactéria *Lactobadllus paracasei* e Okara pré-tratada com HCl. (KRISHNA et al., 2018; MUROYAMA; ATSUMI; ANDOH, 2006)

Em seu trabalho, MUROYAMA; ATSUMI; ANDOH, (2006) realizaram testes aumentando a concentração de HCl para verificar a influência na concentração final de ácido láctico e obtiveram a concentração máxima de 45,8g/L ao final da fermentação. Esse valor fica abaixo do valor médio das concentrações propostas para os diferentes substratos analisados por KRISHNA et al., (2018). Entretanto, o *review* mostra que para substratos como a celulose ou o *whey*, produtos obtidos a partir de resíduos, a concentração produzida de ácido láctico é igual ou menor do que àquela produzida a partir do Okara. Portanto, esse

resíduo pode apresentar potencial quando utilizado para as aplicações apresentadas no Quadro 4. 1. (KRISHNA et al., 2018; MUROYAMA; ATSUMI; ANDOH, 2006)

Quadro 4. 1 - Aplicações para o ácido láctico. (Modificado a partir de KRISHNA et al., 2018)

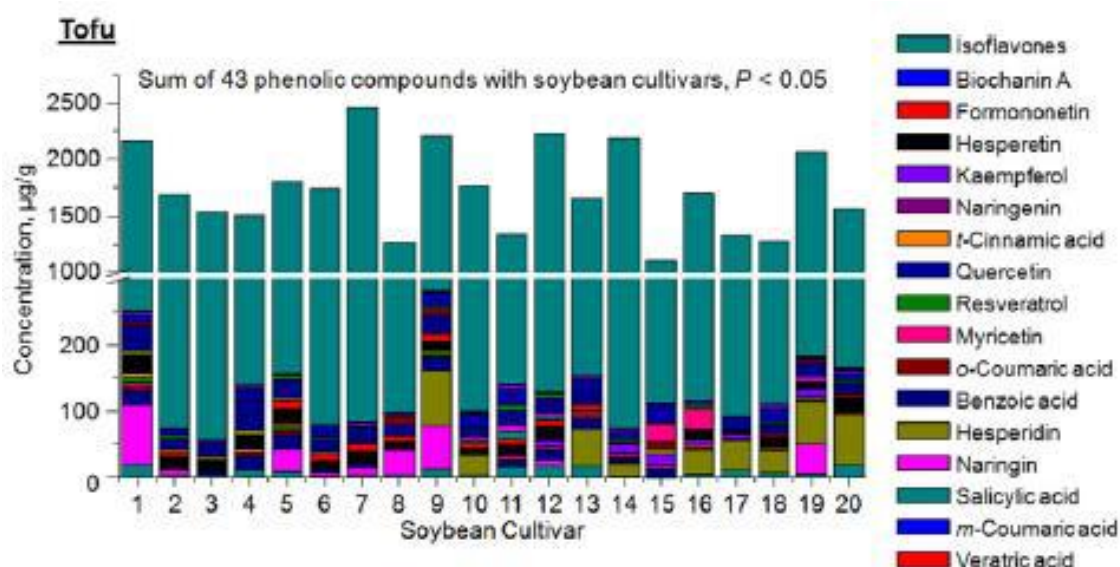
Segmento	Aplicação
Indústria de Alimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Preservantes • Acidulantes • Reguladores de pH • Fortificação Mineral • Inibição de Bactérias
Indústria Farmaceutica	<ul style="list-style-type: none"> • Solução para diálise • Preparações Minerais • Próteses • Sutura Cirúrgica • Controle de dosagem de medicamentos • solução Parentenal/Intravenosa
Indústria Química	<ul style="list-style-type: none"> • Neutralizantes • Intermediários quirais • Solventes "verdes" • Agentes desinfetantes • Agentes desincrustantes • Reguladores de pH
Indústria de Cométicos	<ul style="list-style-type: none"> • Hidratantes • Agentes anti-acne • Umectantes • Agentes anti-tártaro • Reguladores de pH • Agentes iluminantes de pele
Poliácido Láctico	<ul style="list-style-type: none"> • Embalagens de alimentos • Roupas protetoras • Sacos de lixo • Embalagens rígidas

A quinta aplicação mais generalista para o reaproveitamento tecnológico do Okara foi descrita pela combinação de artigos de CHUNG et al., (2011) e HARBORNE; WILLIAMS, (2000). O *review* mostra as aplicações possíveis para as flavonas e o perfil das flavonas a partir da fermentação do Okara utilizando a bactéria *Bacillus subtilis*. A pesquisa avaliou comparativamente a quantidade de componentes fenólicos, entre eles as flavonas, para o grão de soja cru, duas preparações envelhecidas desse grão de soja e o Okara.(CHUNG et al., 2011; HARBORNE; WILLIAMS, 2000)

Após, o tempo de fermentação, os compostos fenólicos foram extraídos utilizando solventes e processos de filtração. O líquido final foi analisado com a técnica de HPLC.

Segundo os resultados da pesquisa, foram recuperados 47,1% dos componentes fenólicos presentes no Okara, entretanto, desses componentes, a maior parte foram as isoflavonas como mostrado no gráfico extraído do artigo, Figura 4. 4 .(CHUNG et al., 2011)

Figura 4. 4 - Distribuição dos componentes recuperados na fermentação do Okara (CHUNG et al., 2011)



Esses resultados vão ao encontro do trabalho de HARBORNE; WILLIAMS, (2000). O review aponta quatro utilizações para flavonoides.

O primeiro uso é proteção UV-B de plantas. Esses componentes são capazes de criar uma barreira agindo como um filtro contra a radiação. O segundo uso consiste na utilização antimicrobiana. Alguns flavonoides têm ação protetora contra a contaminação microbiana em plantas. (HARBORNE; WILLIAMS, 2000)

A terceira aplicação consiste em interações animais-plantas. Segundo a publicação, existem alguns tipos de isoflavonas capazes de proteger as plantações contra a proliferação de insetos. O último uso explicitado no review é a utilização medicinal dos flavonoides. O trabalho deixa alguns exemplos como inibição enzimática e atividade anti-inflamatória e conversa com o review publicado por ZAND; JENKINS; DIAMANDIS, (2002). No trabalho, os autores avaliam o papel dos flavonoides na dieta humana para a prevenção da

carcinogênese hormonal. (HARBORNE; WILLIAMS, 2000; ZAND; JENKINS; DIAMANDIS, 2002)

A última aplicação relacionada com a indústria de uma forma geral foi descrita por BUGAY, (2009). A tese publicada descreve a produção, caracterização e aplicações de biossurfactantes a partir de subproduto como Bagaço de cana-de-açúcar, bagaço de mandioca, espuma de poliuretano comercial, farelo de milho, palha de arroz e Okara. (BUGAY, 2009)

O trabalho realizou duas fermentações, a primeira foi uma fermentação submersa utilizando as bactérias *Bacillus Subtilis* e *Bacillus pumilus* e a segunda foi uma fermentação em meio sólido utilizando somente a bactéria *Bacillus pumilus*. Todos os testes tiveram um tempo total de fermentação de 60 horas, com amostragens a cada 12 horas. Então, o biossurfactante produzido foi extraído utilizando soluções de clorofórmio e metanol (4:1) e caracterizado segundo a sua estrutura, o teste de espalhamento de gota, o teste de tensão superficial, o teste de diluição micelar crítica e o índice de emulsificação. (BUGAY, 2009)

Os resultados encontrados para a fermentação utilizando Okara como substrato mostram que o subproduto gerou 410mg de surfactante por quilo de substrato utilizado. Também, o Okara interferiu na composição dos biossurfactantes, fazendo com que só fossem produzidas cadeias de 12, 13, 14 e 15 carbonos. Por fim, a concentração micelar crítica do Okara a partir de 36 horas de fermentação foi superior a todos os outros subprodutos. A quantidade de diluições necessárias para atingir a concentração micelar crítica do Okara foi de trinta e duas diluições, enquanto que para os outros subprodutos foi duas diluições. (BUGAY, 2009)

Por fim, a tese cita as aplicações possíveis para os biossurfactantes. A Tabela 4. 1 mostra essas aplicações e a indústria nas quais elas podem ser aplicadas. (BUGAY, 2009)

Tabela 4. 1 - Biossurfactantes e ramos industriais de aplicação. (BUGAY, 2009)

Função do Biossurfactante	Indústria
Recuperação de óleo residual, redução da viscosidade de óleos	Petrolífera
Bactericida, antifúngico e antiviral	Farmacêutica
Limpeza	Alimentícia, petrolífera, cosmética e química em geral
Solubilização	Alimentícia, cosmética, farmacêutica, papel, plásticos e têxtil
Emulsificante	Alimentícia, cosmética, petrolífera, plásticos, curtumes, biorremediação e têxtil
Detergente e formadores de espuma	Curtumes, produtos para agricultura, indústria química e metalúrgica
Agente umectante	Têxtil, metalúrgica e cosmética
Lubrificante	Têxtil e metalúrgica
Agentes permeabilizadores	Farmacêutica, têxtil e química
Estabilizante	Têxtil
Agente dispersante	Papel e petrolífera
Sequestrante de metais	Biorremediação e tratamento de resíduos
Removedor de ceras de frutas e vegetais	Alimentícia
Ligação do asfalto à areia e cascalho	Construção civil

4.2 - Aplicações Tecnológicas para o farelo de soja

A pesquisa exploratória sobre o reaproveitamento do farelo de soja apontou as mais diversas aplicações em diferentes setores/indústrias tais como: agroindústria, indústria de biocombustíveis, indústria de cosméticos, indústria de alimentos, indústria de tratamento de efluentes, indústria de polímeros, indústria da construção civil e indústria de uma forma geral. Diferentemente das aplicações apresentadas para o Okara, os estudos feitos com o farelo propõem, além da utilização direta e da fermentação, o uso desse resíduo como elemento de reforço para materiais.

4.2.1 - Agroindústria

O farelo de soja é composto de material orgânico, por isso, contém diversos nutrientes benéficos para o solo e para o crescimento vegetal. É difundido que as plantas não produzem seu próprio nitrogênio, retirando esse nutriente do solo. Segundo WONG et al., (2000) o farelo de soja é rico em nitrogênio, dessa forma, esse resíduo representa uma fonte ideal para nutrir o solo.(WONG et al., 2000)

A pesquisa de WONG et al., (2000) tem como motivação o destino final dado ao farelo e às folhas da soja. Segundo os autores, esse resíduo é descartado em aterros, enquanto se utilizado na compostagem, poderia aumentar a produtividade e enriquecer o próprio solo usado na plantação de soja. Os autores realizaram testes fazendo três pilhas de compostagem e avaliaram a taxa de decomposição da matéria orgânica revirando cada pilha em tempos diferentes. Diferentes parâmetros como a razão C/N e o teor de orgânicos voláteis foram medidos durante 60 dias.

O resultado encontrado por WONG et al., (2000) foi que o tempo ótimo para revirar a pilha de farelo e folhas é de três dias, eliminando compostos tóxicos e aumentando a mineralização de C e N ao final do tempo de 60 dias. Com isso, o material orgânico produzido pode ser utilizado para a agricultura orgânica e plantações extensivas.

4.2.2 - Indústria de biocombustíveis

O farelo de soja, assim como o Okara, é um resíduo rico em material celulósico. Portanto, este apresenta real potencial para a produção de biocombustíveis. A tese de 2005 descreve o processo produtivo de etanol a partir de diversos rejeitos. Entre eles, é descrito o processo produtivo através de biomassa celulósica. (CHAMPAGNE, 2007; LI; CHAMPAGNE, 2005)

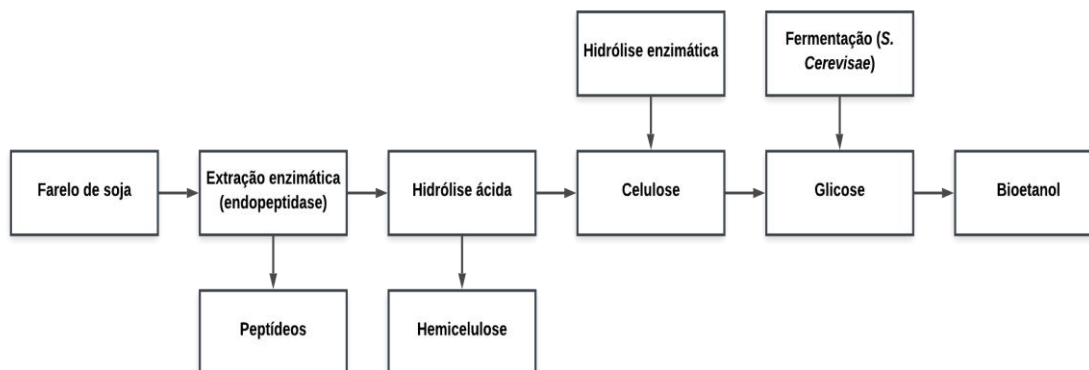
Segundo o trabalho, a produção de etanol é feita através de duas etapas. Primeiro, a matéria-prima contendo celulose deve ser quebrada em polissacarídeos e glicose em seguida. Para viabilizar essa primeira etapa existem dois métodos: a hidrólise enzimática e a hidrólise ácida. O processo de hidrólise enzimática consiste na utilização das enzimas β -1,4 glucanase e β -glucosidade para a conversão direta de celulose em glicose. O outro método consiste na

aplicação de ácido concentrado para transformar a celulose em oligossacarídeos e posteriormente glicose. Então, a glicose obtida a partir desses processos sofre fermentação alcoólica para a fabricação de etanol. (LI; CHAMPAGNE, 2005)

O *review* publicado em 2007 por P. CHAMPAGNE complementa a tese exemplificando o potencial desse processo de produção de bioetanol para o caso canadense. Segundo o trabalho, o Canadá tem potencial para produzir 5.336 milhões de litros de bioetanol a partir de todos os seus resíduos orgânicos. A maior desvantagem desse processo é a indústria já estabelecida e o mercado consolidado de etanol. Para que esse bioetanol seja viável no mercado, o preço de venda teria que ser competitivo com aquele produzido através da cana no Brasil.(CHAMPAGNE, 2007)

Seguindo a mesma linha do bioetanol, o *review* de CONTRERAS et al., (2019) caracteriza o potencial dos resíduos agrícolas para a utilização em biorefinarias. O trabalho constrói um diagrama de blocos para apresentar a produção de bioetanol a partir do farelo de soja, mostrado na Figura 4. 5. (CONTRERAS et al., 2019)

Figura 4. 5 - Fluxograma para a produção de Bioetanol (CONTRERAS et al., 2019)



Esse fluxograma foi preparado a partir da publicação de ROJAS et al., (2014) citada no *review*. A técnica de transformação empregada no artigo é similar àquela descrita por LI; CHAMPAGNE, (2005). A primeira etapa do processo foi a separação de proteínas do farelo que podem ser utilizadas em outras aplicações alimentares que serão exploradas mais adiante neste capítulo. A maior diferença nessa pesquisa foi a utilização de ácido diluído para separar a hemicelulose da celulose. Essa celulose sofreu então hidrólise enzimática

utilizando um complexo chamado Accellerase®1500 responsável pela produção de glicose. Por fim, a glicose sofreu fermentação alcoólica com a utilização da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. (CONTRERAS et al., 2019; LI; CHAMPAGNE, 2005; ROJAS et al., 2014)

Ainda no ramo das aplicações para a indústria de biocombustíveis, ZHANG; HU, (2012) publicaram um artigo sobre a utilização de farelo de soja para a produção de ácidos graxos, precursores de biodiesel. O processo produtivo consistiu em uma fermentação em base sólida. O farelo foi moído e seco em um forno para a remoção da água residual, então, o fungo *Mortierella isabellina* foi introduzido na base sólida e a fermentação foi realizada a 105°C durante 14 dias totais. Diversas análises sobre composição da base, concentração de microrganismos iniciais e quantidade de nutrientes adicionados foram realizadas no experimento.(ZHANG; HU, 2012)

O resultado encontrado foi a produção de 47,9 mg de ácidos graxos por cada grama de farelo utilizado. O artigo menciona que esses ácidos graxos têm também aplicação na indústria de alimentos, todavia, a redução dos custos de produção dos próprios lipídios e do biodiesel podem tornar essa rota tecnológica competitiva em relação à rota tradicional de transesterificação. (ZHANG; HU, 2012)

4.2.3 - Indústria de alimentos

Como visto no capítulo II, o farelo tem como principal destino atualmente a alimentação animal, uma vez que é composto de material proteico, antioxidantes e fibras.

YANG; XIAO; WANG, (2014) propuseram o desenvolvimento de um pó alimentar rico em fibras produzido a partir do farelo de soja. Esse resíduo passou por etapas de moagem, tratamento ácido e básico, assim como lavagem e desidratação para a fabricação do produto final. O pó obtido foi testado quanto a quantidade de fibras solúveis e insolúveis, água residual, proteínas e gorduras em sua composição. Posteriormente, o estudo verificou a mudança na viscosidade da farinha de trigo com a adição desse pó rico em fibras (YANG; XIAO; WANG, 2014)

O teste da quantidade de fibras foi realizado dividindo as amostras de farinha de trigo com farelo em duas partes. À primeira amostra foi adicionado um incremento de 10% em

massa de farelo moído sem tratamento, de modo que esta amostra ficou com a composição farinha de trigo/farelo tratado/farelo não tratado. Já a segunda amostra permaneceu inalterada sendo composta de farinha de trigo e farelo. A quantificação das fibras foi realizada utilizando a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) com o método enzimático-gravimétrico. Esse método permitiu a quebra das fibras em solúveis e insolúveis e a análise por HPLC de ambas as fases, permitindo assim o cálculo de fibras totais. A quantidade de fibras totais capazes de serem digeridas encontradas em peso foi de $59,8 \pm 1,8\%$ para a amostra incrementada e $87,5 \pm 1,8\%$ para a amostra inalterada. Esses resultados mostram que o processo de tratamento do farelo de soja contribuiu para melhorar a quantidade de fibras presentes no farelo capazes de serem digeridas pelo corpo humano. (YANG; XIAO; WANG, 2014)

Em relação ao teste com o reômetro, os resultados encontrados mostraram que a adição do pó afetou significativamente a viscosidade da farinha de trigo, sendo a farinha incrementada aquela que proporcionou uma maior alteração. A mudança nessa propriedade pode alterar as propriedades sensoriais dos alimentos produzidos por essa farinha. Portanto, apesar de ser uma ótima opção para o consumo humano devido a suas fibras, uma composição ideal de farinha de trigo e pó rico em fibras deve ser encontrada. Todavia é importante ressaltar que uma das críticas ao consumo do farelo de soja é a sua digestibilidade. Por ser um alimento rico em fibras, o seu consumo excessivo pode gerar problemas de digestão. (YANG; XIAO; WANG, 2014)

Uma outra aplicação ligada ao ramo alimentício foi estudada por KUMAR et al., (2013). O trabalho teve como objetivo produzir, verificar a qualidade e a durabilidade de um “nugget” de frango utilizando farelo de soja e banana verde. O produto foi preparado, principalmente, através de uma mistura de pó de farelo e de banana verde, carne de frango, água, óleo vegetal, proteína de soja texturizada e farinha de trigo. (KUMAR et al., 2013)

As amostras foram separadas em três lotes diferentes que foram testados com intervalo de cinco dias. Enquanto guardadas, elas foram colocadas em um saco vedado a

4°C. Durante os testes, os nuggets foram testados quanto ao pH, estabilidade da emulsão, presença de microrganismos e analisados sensorialmente.(KUMAR et al., 2013)

Os resultados da análise estatística dos nuggets contendo farelo mostraram que em nenhuma das amostras houve parâmetro inferior ao nugget de controle, ou seja, os nuggets foram similares para pH, estabilidade, durabilidade e crescimento de microrganismos. A análise sensorial mostrou que as notas dadas para todas as amostras foram decrescentes quanto mais velha fora a amostra. Entretanto, nas análises realizadas em amostra com a mesma “idade”, a diferença entre a amostra de controle e as analisadas foi menor que 1 ponto entre 8 possíveis, mostrando o potencial do produto. (KUMAR et al., 2013)

4.2.4 - Indústria de tratamento de efluentes

Por ter estrutura similar à do Okara, alguns componentes do farelo também o tornam um bom adsorvente de metais, compostos nitrogenados e substâncias químicas da água de processo. O farelo pode ser tratado e utilizado diretamente ou compostos como a hemicelulose e a peroxidase podem ser extraídos e utilizados.

A primeira aplicação citada na literatura foi proposta por TANG et al., (2018). O trabalho discute o impacto dos resíduos plásticos, principalmente o policloreto de vinila (PVC) para o meio ambiente. O PVC é conhecido por conter halogênios com a molécula de cloro em sua composição, levando a formação, por exemplo, de HCl ao sofrer pirólise. A emissão dessas moléculas, assim como moléculas nitrogenadas, contribuem para a poluição atmosférica e as suas emissões são cada vez mais controladas por órgãos ambientais.(TANG et al., 2018)

Portanto, os autores discutiram como a introdução de proteína de soja, a qual pode ser obtida a partir do farelo, pode ajudar a diminuir a emissão de moléculas controladas por órgãos ambientais durante a pirólise de polímeros como o PVC. Isso ocorre porque o farelo atua como um adsorvente no processo. Foram preparadas amostras em proporções 1:4, 1:1 e 4:1 de proteína de soja e PVC. A pirólise foi feita nas temperaturas de 400°C, 500°C e 600°C utilizando um peso total de 5g de amostra em um reator horizontal de quartzo de 700mm de comprimento e 36mm de diâmetro interno. Em paralelo, os autores realizaram

cálculos teóricos para comparar com os resultados experimentais encontrados.(TANG et al., 2018)

Em seus resultados, o trabalho encontrou uma diminuição no peso do polímero maior do que o calculado e visualizou também a interação entre o farelo de soja e o PVC. Outrossim, os resultados indicaram que a temperatura inicial para a combustão é menor do que o esperado. Nos testes termogravimétricos, as misturas de farelo com PVC tiveram a temperatura de combustão entre 245°C e 286°C, enquanto que sozinho, o farelo obteve média de combustão em 310°C e o PVC 285°C. Por fim, a publicação foi capaz de identificar somente a produção de N-diol na pirólise, mostrando a diminuição na produção de compostos nitrogenados.

Uma segunda aplicação relacionada com o tratamento de efluentes é a utilização do farelo para a remoção de metais pesados da água. Os trabalhos como os de LI et al., (2011), MARSHALL et al., (1999), MÓDENES et al., (2015) e RIZZUTI; ELLIS; COSME, (2015) descrevem a eficiência da remoção de Cd^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} e Cu^{2+} em efluentes aquáticos. (LI et al., 2011; MARSHALL et al., 1999; MÓDENES et al., 2015; RIZZUTI; ELLIS; COSME, 2015)

A remoção de Cd^{2+} , Pb^{2+} descrita por MÓDENES et al., (2015) pode ser descrita utilizando um modelo de biossorvente pré-tratado para essa aplicação. O farelo de soja sofreu secagem a 30°C, 50°C e 70°C para a retirada de água residual. Então, o pó já seco passou por um processo de tratamento com soluções ácidas ou básicas para potencializar o seu poder de adsorção. As soluções analisadas foram feitas a partir de $PbCl_2$ e $CdCl_2$ e o pH da solução foi variado de 1 até 4 porque a partir de pH 5 o chumbo precipitaria e a para pH maior que 5,5 há a precipitação do cádmio.(MÓDENES et al., 2015)

Os testes foram divididos em três grupos: farelo sem tratamento, farelo com tratamento ácido e farelo com tratamento básico. Segundo os resultados encontrados pelos autores, a melhor separação foi mostrada no farelo com tratamento de NaOH 1mol/L e melhor pH para a retirada desses metais pesados foi 4, onde há a separação de 42% do cádmio e 67% do chumbo. Os autores também fizeram o estudo do comportamento da

adsorção dos dois metais e concluíram que há competição e interação entre os metais na adsorção e que o farelo é um bom candidato para a remoção desses metais em rejeitos com altas concentrações desses metais.(MÓDENES et al., 2015)

Outra publicação que mostra o potencial de adsorção do farelo de soja para íons Pb^{2+} foi publicada por LI et al., (2011). O artigo investiga como as mudanças de pH, concentração do metal e de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} interferem na eficácia da adsorção.(LI et al., 2011)

O farelo foi tratado com uma solução de ácido de HCl, H_2SO_4 e a solução de Pb^{2+} foi produzida a partir de $Pb(NO_3)_2$ em concentrações de 50mg/L até 2000mg/L. A mistura foi deixada durante 12h em um *shaker* rotativo à temperatura ambiente. Depois do tempo de experimento, a concentração de íons chumbo II foi calculada a partir da massa final de farelo em relação à inicial e então, o farelo foi lavado com uma solução de NaOH 1M para o teste de performance de reutilização. (LI et al., 2011)

Os resultados encontrados pelos autores indicam que a máxima adsorção chegou a uma concentração de 217mg/L de Pb^{2+} para uma concentração inicial de 2000mg/L. Entretanto, os resultados mostraram que a adsorção de chumbo II no farelo modificado é rápida, com 80% da sua capacidade máxima alcançada em 45 minutos a uma concentração de 400mg/L. Comparativamente, em um teste utilizando 200mg iniciais de Pb^{2+} , em concentração 400mg/L, o farelo foi capaz de adsorver 89mg/g de metal enquanto que os melhores adsorventes removeram 90,6mg/g e 100mg/g, ou seja, o farelo se mostrou eficiente. (LI et al., 2011)

Por último, o teste de competição de íons mostrou que houve menos de 5% de interferência na adsorção do Pb^{2+} em presença de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , portanto, pode-se concluir que a interferência desses íons pode ser descartada. Já o teste de performance na reutilização do farelo mostrou que o adsorvente consegue manter a sua eficiência por até 5 ciclos. (LI et al., 2011)

Outro processo similar aos já exemplificados, foi descrito para a remoção do íon mercúrio II. RIZZUTI; ELLIS; COSME, (2015) testaram a remoção de mercúrio diluído em água com a utilização de farelo de soja e farelo de arroz. O método dos autores consistiu na

diluição de Hg^{2+} em água deionizada até atingir concentrações de 5, 10, 20, 30 e 40 partes por bilhão (ppb) e na preparação dos adsorventes de farelo utilizando um tratamento de HCl (concentração não informada). (RIZZUTI; ELLIS; COSME, 2015)

Então cada solução foi misturada com os dois adsorventes separadamente e as amostras foram feitas variando os parâmetros: quantidade de adsorvente, tempo de contato, tamanho da partícula de adsorvente, temperatura da mistura, concentração de mercúrio, tratamento ou não de HCl e reuso do adsorvente. (RIZZUTI; ELLIS; COSME, 2015)

Os resultados encontrados mostraram que houve uma variação na eficiência de remoção de 71-99% do íon mercúrio II para o farelo de soja. A melhor condição de remoção desse íon foi a pH 2 com a concentração de 20 ppb. O experimento também comprovou que o reuso do adsorvente até três vezes seguidas não afetou o resultado final do experimento. Portanto, mesmo em soluções diluídas, o farelo foi eficaz para remover até 98% do mercúrio presente no efluente. (RIZZUTI; ELLIS; COSME, 2015)

A última publicação encontrada relacionada com a remoção de íons de efluentes foi descrita por MARSHALL et al., (1999). A publicação avalia a remoção de íons de Cu^{2+} de um efluente aquoso. O adsorvente de farelo de soja foi preparado com o tratamento do farelo cru em uma solução de NaOH 0,1N e lavagem em água destilada. Então, esses adsorventes foram misturados em ácido cítrico e sofreram secagem de forma que o ácido tivesse sido incorporado no adsorvente. Já as soluções contendo Cu^{2+} foram preparadas a partir de CuCl_2 e água destilada em concentrações de 0,5 até 40 mM. (MARSHALL et al., 1999)

Diversos parâmetros como o tempo de reação, concentração de CuCl_2 , a temperatura da mistura, tratamento ou não de HCl e concentração de ácido cítrico incorporado foram variados e os resultados mostrados individualmente. (MARSHALL et al., 1999)

Os resultados encontrados pelos autores mostraram que a remoção de íons Cu^{2+} teve um valor máximo de aproximadamente 90%. Os parâmetros para essa remoção foram encontrados utilizando uma incorporação de ácido cítrico de 0,6M, uma concentração de CuCl_2 de 10mM e a temperatura de 120°C. Foi concluído pelos autores que nessas

condições, esse adsorvente seria eficiente para remover o Cu^{2+} em uma corrente contínua.(MARSHALL et al., 1999)

Uma outra aplicação tecnológica para o farelo é a sua utilização para a remoção de corantes. O trabalho publicado por RIZZUTI; LANCASTER, (2013) avalia a remoção de corantes de água contaminada provindos da indústria têxtil utilizando farelo de soja e farelo de arroz. Os corantes utilizados no experimento foram a Safranina, o Remazol Brilliant Blue R e o Direct Violet 51 e os adsorventes usados foram o farelo de soja sem peneiramento, 10-20 mesh e maior que 20 mesh, assim como o farelo de arroz nas mesmas características.(RIZZUTI; LANCASTER, 2013)

O trabalho fez análises individuais para cada tipo de corante em cada tipo de adsorvente e encontrou, utilizando o farelo de soja, uma remoção de 91-97% da safranina, 72-87% do Remazol Brilliant Blue R e 89-90% do Direct Violet 51 do efluente aquático. Esses dados evidenciam que o farelo pode ser utilizado para a remediação de corantes da indústria têxtil. (RIZZUTI; LANCASTER, 2013)

Mudando de metodologia na aplicação na remediação de efluentes, a publicação de FURLAN et al., (2014) utiliza o farelo de soja apenas como matéria-prima para a obtenção de hemicelulose. A hemicelulose foi utilizada para a remoção de Fe e Mn em solução aquosa.(FURLAN et al., 2014)

O processo de obtenção da hemicelulose foi composto por três partes. Primeiro, o farelo de soja foi colocado em um forno durante 24°C , seguido de um processo de moagem e peneiramento a 10-mesh. Então, a hemicelulose foi separada por um processo de extração com solvente utilizando n-hexano, etanol e água. Esses dois processos foram repetidos algumas vezes (não especificado pelo artigo) e então, após a última secagem, um polímero composto de hemicelulose livre foi obtido. O último processo foi a incorporação de EDTA em metade da massa de hemicelulose, gerando um adsorvente modificado. Outros adsorventes como o a palha de milho e a palha de arroz também foram testados para comparação.(FURLAN et al., 2014)

Os testes foram realizados misturando 20g de Fe ou Mn 1g/L, 1980mL de água destilada e 4 gramas de adsorvente com 3 gotas de ácido nítrico para corrigir o pH e deixando as soluções em agitação de 160rpm por 180 minutos. (FURLAN et al., 2014)

Os autores verificaram que a melhor remoção de Fe e Mn foi obtida da hemicelulose modificada advinda do farelo de soja, com uma remoção de 96% do Fe e 88% do Mn presentes nas soluções. Portanto, esse material foi classificado como promissor para a remoção de micro contaminantes no tratamento de água. (FURLAN et al., 2014)

4.2.5 - Indústria de polímeros

Um dos desafios da indústria de polímeros é encontrar materiais compatíveis para melhorar a resistência mecânica dos materiais. Nesse contexto, o estudo de materiais fibrosos provenientes de matéria-prima vegetal é um alvo para essa indústria, uma vez que a celulose apresenta um potencial tecnológico e ambiental na constituição de polímeros. (ASHORI; NOURBAKHS, 2010)

MERCI et al., (2015) estudaram a fabricação e citaram a utilização de celulose microcristalina no reforço de materiais poliméricos como o polipropileno (PP). A fabricação e caracterização dos microcristais de celulose foi feita a partir da extrusão reativa do farelo de soja. Esse processo foi dividido em duas partes: a extrusão utilizando NaOH e H₂SO₄. Esse processo resultou em uma rede microcristalina com 83,7% de celulose e índice de cristalinidade de 70%. (MERCI et al., 2015)

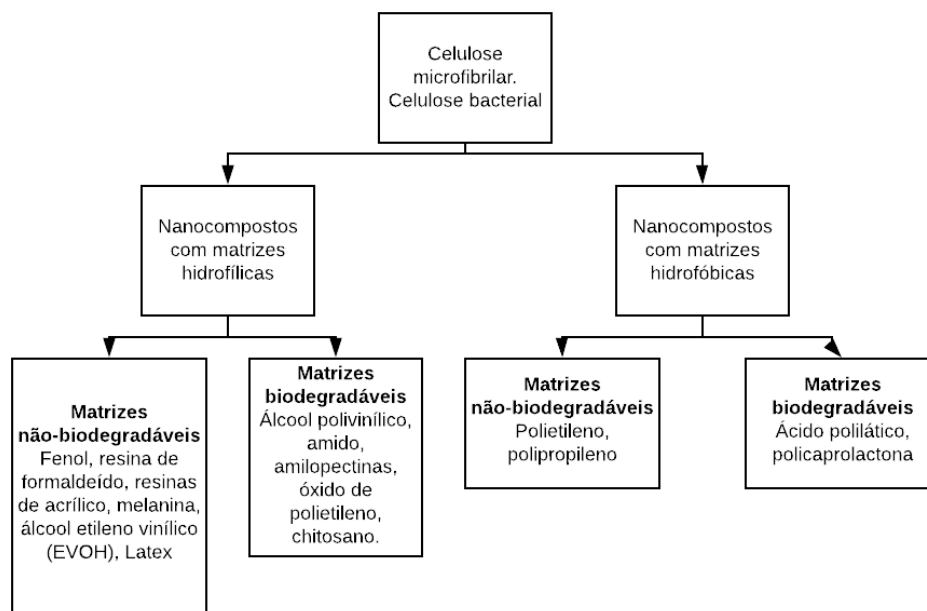
Outro estudo que relata a fabricação de celulose microcristalina foi descrito por FERRER; SALAS; ROJAS, (2015). Os autores estudaram como as estruturas de celulose produzidas a partir do farelo de soja podem ser comparadas e impactar em sistemas inicialmente compostos de estruturas microfibrilares de celulose da madeira. (FERRER; SALAS; ROJAS, 2015)

O processo de transformação do farelo nessas estruturas foi feito utilizando a técnica de extração com ácido e base e lavagem com água. Primeiro, o farelo foi colocado em água durante 72h e posteriormente, centrifugado para a separação das fases sólida e líquida. Esse processo foi repetido duas vezes e marcou o começo do processo de desintegração das

estruturas complexas de lignina do farelo. Então a fase sólida foi tratada com HCl 0,01M durante 1 hora e lavada com água destilada em seguida. Em seguida, bicarbonato de sódio 0,005M foi incorporado à solução para obter um teor de sólidos de 2% e o pH foi corrigido para 8 utilizando NaOH 1M. Por último, o sistema foi filtrado utilizando um sistema microfluídico, onde os microcristais e monocristais de celulose foram obtidos. (FERRER; SALAS; ROJAS, 2015)

Esses microcompostos e nanocompostos foram descritos como materiais promissores na indústria de polímeros pelo review de SIRÓ; PLACKETT, (2010). Os autores listaram os principais produtos em que os microcristais de celulose podem ser aplicados para a melhora tecnológica das propriedades estruturais dos polímeros. Segundo a Figura 4. 6, adaptada da publicação, esses compostos podem ser divididos em hidrofílicos e hidrofóbicos, e essas propriedades vão definir quais as matrizes poliméricas mais adequadas para serem adicionados. (SIRÓ; PLACKETT, 2010)

Figura 4. 6 - Aplicação da celulose microcristalina em polímeros. Adaptado de (SIRÓ; PLACKETT, 2010)



O polipropileno (PP) é importante para o Brasil, visto que o país tem plantas produtoras da Braskem. Esse polímero vem sendo utilizado na substituição de outros

materiais uma vez que é um versátil termoplástico, entretanto como descrito por ASHORI; NOURBAKHS, (2010), o PP apresenta alguns problemas estruturais. Portanto, os autores propuseram a inserção de microcristais de celulose na produção desse polímero e avaliaram as novas propriedades do composto. (ASHORI; NOURBAKHS, 2010)

Os polímeros formados tiveram a porcentagem de 40/60 m/m de material celulósico para PP porque essa é uma formulação que promove um balanceamento otimizado de custo e desempenho. Os materiais celulósicos foram divididos em celulose microcristalina e pó de madeira e o polímero em polipropileno grafitado maleico anidro e polipropileno comum. Diversas composições foram testadas sempre respeitando a premissa de 40/60. A extrusão foi realizada em 4 temperaturas diferentes, 165°C, 175°C, 175°C e 190°C. (ASHORI; NOURBAKHS, 2010)

Os autores encontraram que os polímeros cuja concentração de microcristais de celulose era maior, tinham todas as suas propriedades melhoradas. Os testes feitos foram divididos em quatro, resistência ao impacto, resistência à tensão, resistência à flexão e resistência térmica. Esses dados confirmaram as hipóteses das outras publicações mostrando a importância desses compostos de celulose. (ASHORI; NOURBAKHS, 2010)

4.2.6 - Indústria da construção civil

A indústria civil compreende um conjunto de aplicações de construção que podem variar entre fundações, pontes, casas, pavimentação, barragens, entre outras. Dentro desse universo, o farelo de soja também pode ser utilizado para melhorar questões estruturais. Duas aplicações foram encontradas no ramo da construção de aglomerados para casas e pavimentação.

MARTINS, (2015) descreveu em sua tese, como a inclusão de resíduos do processamento da soja em painéis aglomerados afeta as propriedades do material final e indica a viabilidade desse processo. (MARTINS, 2015)

O trabalho testou cinco razões entre o farelo de soja e as partículas de eucalipto, 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 e 100/0 respectivamente, e a produção dos painéis passou por

quatro passos, a moagem e mistura das partículas com um adesivo, a acomodação na caixa molde, a pré-prensagem a frio e a prensagem à quente. (MARTINS, 2015)

Esses painéis seguem a norma de comercialização 236-66 (1968), portanto, suas propriedades físicas e estruturais são definidas. Os resultados encontrados pelos testes de inchaço do material, resistência perpendicular, e capacidade de absorção de água mostraram que o aumento na porcentagem de soja reduz as propriedades mecânicas e aumenta o inchaço e a capacidade de absorção de água, portanto, segundo os cálculos do trabalho, a porcentagem máxima de farelo possível de ser adicionada é de 23%. Nessa porcentagem, as placas estão no limite da norma de comercialização vigente. (MARTINS, 2015)

A outra aplicação para o farelo foi descrita por ANTUNES; FREIRE; NEVES, 2019 e ELKASHEF; WILLIAMS, (2017). O pavimento asfáltico recuperado (RAP) advindo da manutenção e reconstrução de vias representa um problema para as empresas da construção civil, porque esse resíduo apresenta problemas de falha estrutural quando misturados em altas concentrações em novas misturas. Ademais, as leis ambientais estão ficando mais rígidas e esse resíduo não pode ser descartado diretamente no meio ambiente. Por isso, ANTUNES; FREIRE; NEVES, (2019) realizaram um review mostrando algumas soluções de novas misturas contendo o RAP que são potenciais soluções para o problema apresentado.(ANTUNES; FREIRE; NEVES, 2019; ELKASHEF; WILLIAMS, 2017)

Dentre estas soluções fora apresentado o artigo de ELKASHEF; WILLIAMS, (2017) que mostra a incorporação de farelo de soja no RAP como forma de melhorar as propriedades de fadiga estrutural e performance em ambientes de baixa temperatura. A metodologia seguida consistiu na preparação do “rejuvenescedor” de soja, misturas de 6% e 12% de camada de ligação e restante em massa de farelo de soja, e posteriormente na incorporação dessa mistura com o RAP em uma proporção de 1:5 respectivamente. Esse novo material foi submetido a testes de temperatura, resistência à tensão e testes de fadiga a damos. (ELKASHEF; WILLIAMS, 2017)

Segundo os testes realizados pelos autores, a dureza do novo material diminuiu consideravelmente em relação ao RAP sem aditivos, o que concedeu ao material mais

resistência, durabilidade e maior energia para fraturas. Por último, a análise térmica mostrou que a faixa para atingir as temperaturas críticas do pavimento asfáltico recuperado modificado com a mistura de farelo de soja aumentaram. Esse resultado corrobora as hipóteses de maior durabilidade do material. (ELKASHEF; WILLIAMS, 2017)

4.2.7 - Indústria no geral

Assim como para o Okara, o farelo de soja pode servir como matéria-prima de produtos finais que têm aplicações em diversas indústrias e por isso, não foram classificados especificamente. Entre eles é possível citar a celulase e a peroxidase. Os processos fermentativos e de extração com solvente foram propostos para a separação desses compostos.

A primeira aplicação, já citada no capítulo II deste trabalho, mostra a produção de celulase a partir do farelo de soja. O review escrito por SINDHU et al., (2019) descreve as alternativas para contornar o problema dos resíduos gerados pelas indústrias de alimentos e o desperdício de comidas pelo consumidor final. Dentre as aplicações possíveis, os autores citam o trabalho de JULIA et al., (2016) para a produção de celulase.(JULIA et al., 2016; SINDHU et al., 2019)

A produção desse material foi realizada através da fermentação do farelo de soja utilizando o fungo *Aspergillus niger* em fase sólida. O experimento foi feito em escala de bancada utilizando frascos de 250 ml onde os substratos foram inseridos e autoclavados antes da inserção dos microrganismos. O experimento teve um total de 120 horas, com medições a cada 24 horas. A celulase é um complexo composto de três enzimas, a encogluconase, a exogluconase e a β -glucosidade e por isso, a atividade e a produtividade volumétrica dessas três moléculas foram medidas ao longo do tempo do experimento. Os resultados foram comparados com a produção de celulase através de lixo de papel. (JULIA et al., 2016)

Segundo os dados coletados pelos autores, a produção e atividade das 3 enzimas citadas foi sempre maior em substrato de farelo de soja. Esse dado mostra que os nutrientes presentes nesse resíduo oferecem ao fungo condições otimizadas de crescimento e produção

de substâncias pelas células. O artigo ainda concluiu que o melhor ponto de coleta foi entre 48h e 96 horas do começo do experimento. Por fim, o artigo citou que essa celulase produzida pode ser utilizada no mercado de biocombustíveis, papel, detergente e na indústria têxtil, evidenciando a sua variedade de aplicações. (JULIA et al., 2016)

Outra molécula interessante para a indústria é a peroxidase. Trabalhos como os de CHAGAS et al., (2015) e LIU et al., (2007) demonstram métodos para a extração dessa enzima. Os métodos apresentados são similares quanto a sua execução. Em ambos, o farelo foi imerso em água por um período de 12 horas e então, acetona foi adicionada à mistura para separar a fase aquosa da fase orgânica. A mistura de fases foi centrifugada e a fase orgânica contendo a peroxidase foi separada da fase aquosa.(CHAGAS et al., 2015; LIU et al., 2007)

Depois do produto obtido, CHAGAS et al., (2015) descrevem o método de utilização dessa peroxidase para a oxidação de compostos fenólicos na água de rejeito do processamento de café. A enzima foi imobilizada em quitosana e os autores compararam os resultados da oxidação da enzima livre com a imobilizada. Segundo os resultados obtidos, ambos os tipos de enzima apresentaram as mesmas propriedades e a peroxidase imobilizada obteve uma taxa de oxidação de quase o dobro da peroxidase livre. Por fim, a oxidação dos compostos fenólicos chegou a uma taxa de 80%, embora os resultados tenham sido descritos como limitados devido à complexidade do efluente.(CHAGAS et al., 2015)

Outro trabalho ligado à remoção de compostos fenólicos utilizando a peroxidase e o farelo de soja foi descrito por FLOCK; BASSI; GIJZEN, (1999). Com a mesma motivação de respeitar a lei ambiental, os autores avaliaram comparativamente se a utilização de peroxidase supera o uso farelo de soja em uma sequência de reatores para a remoção de fenol e clorofenol. (FLOCK; BASSI; GIJZEN, 1999)

Diferentemente do primeiro exemplo utilizando a peroxidase, os autores encontraram resultados que mostram que a utilização diretamente do farelo de soja é mais eficiente que a utilização da peroxidase. Segundo os autores, a sequência de quatro reatores utilizando farelo foram capazes de remover 96,4% do fenol, utilizando um tempo de residência de 20

minutos por reator. Outro resultado interessante foi a remoção de 98,5% de clorofenol utilizando apenas um reator com farelo em 15 minutos. Esses resultados mostraram que o próprio farelo já pode ser utilizado diretamente no tratamento de efluentes. (FLOCK; BASSI; GIJZEN, 1999)

A última utilização da peroxidase obtida através do farelo de soja foi descrita CRUZ-SILVA et al., (2005). Os autores utilizaram a enzima como catalisador da reação de polimerização da anilina. Em sua metodologia, o artigo cita a polimerização por via química e por via enzimática e compara os resultados obtidos pelas duas rotas. A via enzimática, de interesse, foi conduzida em pH 3-5 durante 8 horas e contou com diversas etapas, tais quais, a adição de tricostatina A, passagem no dessecador, adição de peroxidase e peróxido de hidrogênio e por fim, filtração com lavagem de metanol e solução de tricostatina A.(CRUZ-SILVA et al., 2005)

Segundo os autores, a polianilina sintetizada com pH 3 obteve os resultados mais próximos daqueles do controle sintetizado via rota química. Os testes de espectrofotometria UV-vis, espectroscopia de infravermelho e difração de raios x mostraram que a estrutura da polianilina enzimática e sua condutividade elétrica são comparáveis ao controle. A estabilidade térmica foi o único parâmetro em que as amostras tiveram resultados discrepantes em relação ao controle. (CRUZ-SILVA et al., 2005)

Por fim, a presença de material oleoso, rico em nutriente no farelo de soja, faz deste uma potencial matéria-prima para diversas indústrias. O trabalho de OLIVEIRA; CARDOSO; ATAÍDE, (2015) propõe a produção de *bio-oil* a partir da pirólise rápida do farelo de soja em um reator de leito fluidizado. O *bio-oil* é um material complexo orgânico, rico em fenóis, com um potencial calorífico alto, de fácil transporte e com baixo teor de nitrogênio e enxofre.(OLIVEIRA; CARDOSO; ATAÍDE, 2015)

O processo produtivo consistiu na preparação do leito fluidizado, aquecendo o mesmo a 550°C e fazendo análises sobre o coeficiente de transferência de calor utilizando areia. Posteriormente, o farelo de soja foi introduzido no reator a uma taxa de 4kg/h junto com o nitrogênio de fluidização a uma velocidade de 150 cm/s. Os vapores gerados pela

pirólise rápida dentro do reator foram levados a um ciclone para a retirada de partículas sólidas residuais, então o gás seguiu para dois condensadores. A fase aquosa de *bio-oil* foi misturada em metanol e a fase orgânica em clorofórmio e os resultados obtidos foram verificados utilizando cromatografia gasosa.(OLIVEIRA; CARDOSO; ATAÍDE, 2015)

Dentre os resultados encontrados pelos autores, é notável que na fase orgânica, o composto com maior concentração foi o fenol, cujo pico do gráfico gerou uma área de 14,33% e na fase aquosa foram a piridina e o fenol com áreas de 17,06% e 16,94%, respectivamente. Os autores concluíram que esse método de produção de *bio-oil* pode ser utilizado principalmente na indústria de cosméticos, devido a sua concentração fenólica, entretanto existem outros trabalhos que indicam uma utilização mais ampla, como mostrado por XIU; SHAHBAZI, 2012. (OLIVEIRA; CARDOSO; ATAÍDE, 2015; XIU; SHAHBAZI, 2012)

Segundo o review, o *bio-oil* é um produto inovador, podendo ser produzido a partir do método já descrito e do método hidrocraqueamento catalítico. O review avança na identificação das aplicações para esse produto indicando os usos para geração de energia, geração de calor, produto intermediário para a produção de combustíveis, produção de fármacos, surfactantes, polímeros biodegradáveis, produtos de química fina, resinas e adesivos. Portanto, é um material com grande potencial de mercado a ser desenvolvido. Atualmente, já existe no mercado, um produto cosmético chamado Bio-Oil®, que utiliza *bio-oil* em sua formulação. (XIU; SHAHBAZI, 2012)

CAPÍTULO 5 – Discussão dos resultados

Nesse capítulo, as oportunidades de reaproveitamento dos subprodutos Okara e farelo serão classificadas e analisadas, sob o ponto de vista de seu desenvolvimento tecnológico.

Tendo em vista a quantidade e diversidade de tecnologias descritas no capítulo anterior, uma análise qualitativa se faz necessária para classificar e avaliar quais os principais desafios que essas tecnologias de reaproveitamento do Okara e do farelo de soja apresentam para serem competitivas industrialmente.

A análise levou em consideração três parâmetros de classificação qualitativa, os quais foram apoiados nas informações disponíveis na bibliografia explorada, de forma a caracterizar essas aplicações. Dentre os parâmetros estão o tipo de produto, o volume de produção e o valor agregado (preço do produto).

O tipo de produto caracterizou a aplicação apenas em produto final ou intermediário, a fim de saber se este será vendido diretamente no mercado consumidor, sem exigir transformação química ou etapas subsequentes de formulação, ou servirá de matéria-prima para a fabricação de outros produtos. Vale ressaltar que existem produtos como o ácido cítrico e a farinha de soja nutricionalmente melhorada, os quais podem ser classificados das duas formas, visto que são produtos com diversas funcionalidades em suas respectivas indústrias.

O volume de produção leva em consideração a quantidade de produto que seria produzida para atender o mercado daquele produto, relacionando-se fortemente com a escala requerida. Como os produtos são diversos, a comparação dos volumes entre aplicações de indústrias diferentes se torna complicada. Para tentar simplificar, a classificação adotada para este parâmetro foi apenas a diferenciação entre extremos, ou seja, pequeno e grande.

Já o preço do produto tem em vista o preço unitário do produto/aplicação a ser praticado no mercado. Da mesma forma que para o volume, a classificação qualitativa entre aplicações de diferentes indústrias se torna complexa. Portanto, a mesma aproximação foi

adotada, sendo assim, esse parâmetro foi diferenciado apenas em baixo e alto, desconsiderando produtos que possam apresentar preços entre esses dois extremos de natureza qualitativa.

Por fim, a combinação entre o volume e o preço do produto possibilitou a classificação dos produtos em commodities e especialidades de forma simplificada. Vale ressaltar que os produtos químicos são frequentemente classificados pela tipologia de Kline, (1976) que divide em quatro grupos: Commodities, pseudo-commodities, química fina e especialidades. Entretanto, também para efeito de simplificação, os produtos foram classificados somente em commodities e especialidades, sabendo que todos os produtos assumem um grau maior ou menor de cada classificação. (WONGTSCHOWSKI, 2002)

Dessa forma, neste trabalho adotou-se que as commodities são produtos pouco diferenciados ou não diferenciados, produzidos em larga escala. Podem ser minerais, financeiras, ambientais e agrícolas. Neste trabalho, especificamente, pode-se dar o exemplo do grão de soja e do farelo de soja como commodities. Já as especialidades são produtos com alto grau de complexidade ou diferenciação e por esse motivo, tem um alto valor agregado tecnológico e mercadológico, como, por exemplo, os catalisadores C/N produzidos a partir do Okara.

Em um segundo momento, foram propostas duas avaliações qualitativas a fim de entender quais são os desafios encontrados por essas tecnologias para que sejam implementados em escala industrial no Brasil. As avaliações são: os desafios tecnológicos e os desafios não-tecnológicos.

Os desafios tecnológicos tangem toda a estruturação da cadeia produtiva. Todas as etapas de produção, os estudos tecnológicos para realizar o *scale-up* até a escala industrial, a necessidade de desenvolvimento de uma nova tecnologia para que a produção se torne viável e a remediação dos possíveis efluentes produzidos.

Ao longo do trabalho são pontuados também os desafios não-tecnológicos que tangem o desenvolvimento do mercado proposto e a competição a ser enfrentada no mercado pretendido, visando responder se esse produto é uma inovação (novo para o

mercado) ou se ele já está entrando em um mercado estabelecido ou maduro com diversos atores. Da mesma forma, deve-se verificar se o produto já tem demanda conhecida no Brasil, visando estabelecer a necessidade da criação de um novo nicho de mercado.

As Tabela 5. 1 à Tabela 5. 10 foram estruturadas para classificar e avaliar as oportunidades. Em uma primeira separação, o Okara e o farelo de soja foram colocados como norteadores dos dois grupos distintos. Então, dentro do grupo de cada subproduto, foram inseridas as indústrias correspondentes aos produtos/aplicações indicando o segundo nível de separação da tabela. Por fim, dentro de cada tipo de indústria, foram adicionados os produtos/aplicações que foram classificados e avaliados dentro dos parâmetros já explicitados neste capítulo. Publicações que continham o mesmo tipo de produto/aplicação foram categorizadas em uma mesma linha.

Tabela 5. 1 – Classificação dos produtos/aplicações do Okara

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Tipo de Produto	Volume	Preço de venda	Classificação
Agroindústria	Antibiótico e Antifúngico Iturim A	Final	Grande	Alto	Especialidade
Indústria de cosméticos	Isoflavonas: genisteína e daidzeína	Intermediário	Pequeno	Alto	Especialidade
Indústria farmacêutica	Antioxidantes extraídos da Bactéria <i>Bacillus Natto</i>	Intermediário	Pequeno	Alto	Especialidade
	Polissacarídeos extraídos do fungo <i>Flammulina Velutipes</i>	Intermediário	Pequeno	Alto	Especialidade
Indústria de alimentos	Paçoca	Final	Pequeno	Baixo	Commodity
	Cookies	Final	Pequeno	Baixo	Commodity
	Patê	Final	Pequeno	Baixo	Commodity
	Proteína de soja	Intermediário/Final	Grande	Baixo	Commodity
	Alimentos fermentados de tradição chinesa	Final	Pequeno	Baixo	Commodity
	Fungo <i>Ganoderma lucidum</i>	Intermediário/Final	Pequeno	Baixo	Commodity

Tabela 5. 2 – Classificação dos produtos/aplicações do Okara (continuação)

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Tipo de Produto	Volume	Preço de venda	Classificação
Indústria de Alimentos	Queijos modificados com o fungo <i>Yarrowia lipolytica</i>	Final	Pequeno	Alto	Especialidade
	Okara nutricionalmente melhorado	Intermediário	Grande	Baixo	Commodity
Indústria de tratamento de efluentes	Beta-Fructofuranosidase	Intermediário	Pequeno	Alto	Especialidade
	Sequestrante de metais pesados	Final	Grande	Baixo	Commodity
Indústria química	Catalisador para a reação de redução do oxigênio	Final	Pequeno	Alto	Especialidade
Indústria no geral	Ácido Cítrico	Intermediário/Final	Grande	Baixo	Commodity
	Metano	Intermediário/Final	Grande	Baixo	Commodity
	Hidrogênio	Intermediário/Final	Grande	Baixo	Commodity
	Ácido Lático	Intermediário/Final	Grande	Baixo	Commodity
	Compostos fenólicos	Intermediário	Pequeno	Alto	Especialidade
	Biossurfactantes	Final	Grande	Alto	Especialidade

Tabela 5. 3 – Análise dos produtos/aplicações do Okara

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Desafios tecnológicos	Desafios não-tecnológicos
Agroindústria	Antibiótico e Antifúngico Iturim A	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Aumento de escala mantendo o preço competitivo em relação aos produtos concorrentes. Competição com o mercado já maduro.
Indústria de cosméticos	Isoflavonas: genisteína e daidzeína	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Trabalhar com CO2 em condições supercríticas em escala industrial. Testes clínicos para comprovação de funcionamento do princípio ativo.	Esforço de marketing Aceitação do mercado para os novos produtos produzidos a partir dos princípios ativos.
Indústria farmacêutica	Antioxidantes extraídos da Bactéria Bacillus Natto	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos. Testes clínicos para comprovação de funcionamento do princípio ativo.	Trabalhos publicados são muito antigos, o que pode indicar algum impasse de continuação. Trabalho de divulgação dos novos produtos. Aceitação do mercado para os novos produtos produzidos a partir dos princípios ativos.
	Polissacarídeos extraídos do fungo Flammulina Velutipes	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos. Testes clínicos para comprovação de funcionamento do princípio ativo.	Esforço de marketing e desenvolvimento de novos produtos. Aceitação do mercado para os novos produtos produzidos a partir dos princípios ativos.

Tabela 5. 4 – Análise dos produtos/aplicações do Okara (continuação)

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Desafios tecnológicos	Desafios não-tecnológicos
Indústria de alimentos	Paçoca	Manter as características sensoriais originais Adaptação dos equipamentos para trabalhar com o pó de Okara. Dosar a concentração máxima permitida na substituição da farinha por Okara.	Competição em um mercado já maduro.
	Cookies	Manter as características sensoriais originais Adaptação dos equipamentos para trabalhar com o pó de Okara. Dosar a concentração máxima permitida na substituição da farinha por Okara.	Competição em um mercado já maduro.
	Patê	Manter as características sensoriais originais Adaptação dos equipamentos para trabalhar com o pó de Okara. Dosar a concentração máxima permitida na substituição da farinha por Okara.	Competição em um mercado já maduro.
	Proteína de soja	Adaptar as indústrias transformadoras de soja para também processarem o Okara.	Manter o preço do produto baixo. Competição em um mercado já maduro. Competição com o mercado da alimentação animal.
	Alimentos fermentados de tradição chinesa	Criação de plantas para a produção industrial desses produtos.	Introduzir um alimento de cultura diferente na dieta brasileira. Transpassar a barreira cultural.
	Fungo ganoderma lucidum	Criação de plantas para a produção industrial desses produtos.	Introduzir um alimento de cultura diferente na dieta brasileira. Transpassar a barreira cultural.

Tabela 5. 5 – Análise dos produtos/aplicações do Okara (continuação)

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Desafios tecnológicos	Desafios não-tecnológicos
Indústria de alimentos	Okara nutricionalmente melhorado	Adaptar as indústrias transformadoras de soja para também processarem o Okara.	Manter o preço do produto baixo. Competição em um mercado já maduro. Competição com o mercado da alimentação animal.
	Beta-Fructofuranosidase	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Trabalho de divulgação dos novos açúcares. Aceitação do mercado para os novos produtos.
Indústria de tratamento de efluentes	Sequestrante de metais pesados	Remoção eficiente em efluentes complexos com diversos compostos. Adaptação do sistema de tratamento já existente. Recuperação do adsorvente em escala industrial.	Investimentos para a substituição dos sistemas já existentes.
Indústria química	Catalisador para a reação de redução do oxigênio	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Trabalhar com nanopartículas em escala industrial Testes para avaliar a durabilidade do catalisador.	Adaptação de todos os processos já consolidados utilizando Pt.
Indústria no geral	Ácido Cítrico	Mudança de substrato mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Alta produtividade mantendo o preço baixo Competição com o mercado já maduro.
	Metano	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Aumento de escala mantendo o preço baixo Competição com o mercado já maduro.

Tabela 5. 6 – Análise dos produtos/aplicações do Okara (continuação)

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Desafios tecnológicos	Desafios não-tecnológicos
Indústria no geral	Hidrogênio	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Contornar a questão da estocagem do H ₂ . Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Aumento de escala mantendo o preço baixo. Competição com o mercado já maduro.
	Ácido Lático	Mudança de Substrato mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Alta produtividade mantendo o preço baixo. Competição com o mercado já maduro.
	Compostos fenólicos	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos. Testes clínicos para comprovação de funcionamento do princípio ativo.	Trabalho de divulgação dos novos produtos. Aceitação do mercado para os novos produtos produzidos a partir dos princípios ativos.
	Biossurfactantes	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Alta produtividade mantendo o preço baixo. Competição com o mercado já maduro.

Tabela 5. 7 – Classificação dos produtos/aplicações do farelo de soja

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Tipo de Produto	Volume	Valor Agregado	Classificação
Agroindústria	Adubo orgânico	Final	Grande	Baixo	Commodity
Indústria de Biocombustíveis	Bioetanol	Final	Grande	Baixo	Commodity
	Biodiesel	Final	Grande	Baixo	Commodity
Indústria de alimentos	Farinha de soja nutricionalmente melhorada	Intermediário/final	Grande	Baixo	Commodity
Indústria de tratamento de efluentes	Nuggets de Frango	Final	Grande	Baixo	Commodity
	Pirólise de PVC	Final	Grande	Baixo	Commodity
	Remoção Metais Pesados da água	Final	Grande	Baixo	Commodity
	Remoção de corantes industriais da água	Final	Grande	Baixo	Commodity
Indústria de polímeros	Polímeros reforçados com celulose microcristalina	Final	Pequeno	Alto	Especialidade
Indústria da construção civil	Painéis aglomerados de madeira e farelo	Final	Grande	Baixo	Commodity
	Resíduo de Asfalto modificado com farelo	Final	Grande	Baixo	Commodity
Indústria no geral	Celulase	Intermediário	Pequeno	Alto	Especialidade
	Peroxidase	Intermediário	Pequeno	Alto	Especialidade
	Bio-oil	Intermediário	Grande	Alto	Especialidade

Tabela 5. 8 – Análise dos produtos/aplicações do farelo de soja

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Desafios tecnológicos	Desafios não-tecnológicos
Agroindústria	Aduto orgânico	Redução do tempo de compostagem. Adequação da relação Carbono/Nitrogênio. Diminuir as perdas por degradação do farelo.	Local suficiente grande e adequado para manter o material da compostagem. Competição com o mercado já maduro.
Indústria de Biocombustíveis	Bioetanol	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Aumento de escala mantendo o preço baixo Competição com o mercado já maduro.
	Biodiesel	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Aumento de escala mantendo o preço baixo Competição com o mercado já maduro.
Indústria de alimentos	Farinha de soja nutricionalmente melhorada	Adicionar mais etapas no processo produtivo das indústrias transformadoras de soja para também processarem o farelo.	Manter o preço do produto baixo Competição em um mercado já maduro.
	Nuggets de Frango	Adaptação dos equipamentos para trabalhar com o pó de farelo. Determinar e dosar a concentração máxima permitida na substituição da farinha por farelo de soja.	Manter as características sensoriais originais Competição em um mercado já maduro.
Indústria de tratamento de efluentes	Pirólise de PVC	Controle do peso molecular dos polímeros Controle da emissão de gases do efeito estufa Controle da emissão de gases controlados pela legislação ambiental.	Comprovação para os órgãos ambientais de que o processo atenua a poluição atmosférica. Disposição dos resíduos formados na pirólise.

Tabela 5. 9 – Análise dos produtos/aplicações do farelo de soja (continuação)

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Desafios tecnológicos	Desafios não-tecnológicos
Indústria de tratamento de efluentes	Remoção Metais Pesados da água	Remoção eficiente em efluentes complexos com diversos compostos. Adaptação do sistema de tratamento já existente. Recuperação do adsorvente em escala industrial.	Investimentos para a substituição dos sistemas já existentes.
	Remoção de corantes industriais da água	Remoção eficiente em efluentes complexos com diversos compostos. Adaptação do sistema de tratamento já existente. Recuperação do adsorvente em escala industrial.	Investimentos para a substituição dos sistemas já existentes.
Indústria de polímeros	Polímeros reforçados com celulose microcristalina	Estudos mais específicos para verificar a viabilidade em cada tipo de polímero. Verificar em quais condições operacionais a celulose não é degradada no processo. Adaptação das unidades industriais para a produção do novo tipo de polímero.	Estruturar a logística para o transporte dos microcristais até as plantas de produção de plásticos. Estudar qual o impacto ambiental esses plásticos mais resistentes vão causar ao meio ambiente.
Indústria da construção civil	Painéis aglomerados de madeira e farelo	Encontrar uma justificativa tecnológica que torne esse processo viável. Verificar até que concentração de farelo torna o processo viável industrialmente.	Justificar junto aos clientes que o produto não perde durabilidade. Competição com um mercado já maduro.
	Resíduo de Asfalto modificado com farelo	Realizar estudos para a verificação dos danos causados no teste de estresse do material em temperaturas médias.	Justificar junto às empresas o aumento no custo de produção.

Tabela 5. 10 – Análise dos produtos/aplicações do farelo de soja (continuação)

Indústria empregada	Produto/Aplicação	Desafios tecnológicos	Desafios não-tecnológicos
Indústria no geral	Celulase	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Trabalho de divulgação dos novos produtos. Aceitação do mercado para os novos produtos produzidos a partir dos princípios ativos.
	Peroxidase	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Separação do produto do mosto de fermentação. Tratamento dos resíduos contendo microrganismos.	Trabalho de divulgação dos novos produtos. Aceitação do mercado para os novos produtos produzidos a partir dos princípios ativos.
	Bio-oil	Aumento de escala mantendo a mesma taxa de produção e recuperação de produto. Controle do reator com pirólise. Otimização do gasto energético.	Trabalho de divulgação dos novos produtos. Competição com o mercado de biocombustíveis já consolidado.

5.1 - Classificação e análise dos produtos/aplicações para o Okara

5.1.1 - Agroindústria

O antibiótico e antifúngico Iturim A faz parte da categoria de produtos finais para plantações com características de um biocida e inseticida. Em grandes concentrações é tóxico também para as próprias plantas, então, o volume de produto empregado por unidade de terra é pequeno. Entretanto, como o Brasil é um país com uma grande produção de produtos agrícolas, assim como mostrado no início deste trabalho, o volume potencial para o total de plantações é grande. Ademais, por ser um produto que demanda diversas etapas de produção, o seu custo associado é relativamente alto, conseqüentemente, o preço de venda tende a ser alto. Realizando a simplificação adotada, é possível classificar o produto como uma especialidade.

Em razão dos diversos processos a serem adotados para obter o produto em concentração suficientemente grande, essa rota de produção encontra algumas barreiras tecnológicas. A tecnologia empregada segue a rota fermentativa, portanto, é necessário um estudo de aumento de escala, de forma a manter a mesma produção de antibiótico sem comprometer o mosto fermentativo. Da mesma forma, o processo de extração do produto em laboratório, geralmente inutiliza os microrganismos, entretanto, em escala industrial se torna inviável trocar todo o volume de reação a cada batelada mantendo o custo competitivo, portanto a etapa de recuperação de produto em escala industrial também se torna um desafio. Por fim, faz-se necessário o tratamento dos microrganismos empregados no processo, gerando mais um custo operacional.

Unindo esses desafios tecnológicos a um mercado de biocidas e inseticidas já consolidado, pode-se inferir que o principal desafio não-tecnológico está relacionado ao preço de venda do produto que deverá ser competitivo e comparável às soluções já existentes e ainda cobrir os custos operacionais. Entretanto, como já mencionado, o produto tem potencial de mercado no Brasil por fazer parte do segmento da agroindústria.

5.1.2 - Indústria de Cosméticos

A produção das isoflavonas genisteína e daidzeína se enquadra no mercado de produtos intermediários para a produção de cremes e loções na indústria de cosméticos. Como citado no Capítulo 4, esses produtos têm diversas aplicações relacionadas ao antienvelhecimento.

Essas isoflavonas são utilizadas como princípios ativos em pequenas quantidades nos produtos finais. Portanto, o seu volume de produção pode ser considerado pequeno. Em contrapartida, o processo de produção envolve diversas etapas e tem um alto custo, logo o preço de venda foi considerado elevado. Considerando essas duas classificações, o produto foi considerado uma especialidade.

As publicações encontradas foram descritas em escala de bancada, e por trabalhar com CO₂ supercrítico apresentam alguns desafios tecnológicos no aumento de escala. Empregar substâncias em condições extremas requer equipamentos com especificações especiais e o desenvolvimento de processos para controlar a extração e obter o produto na pureza desejada para atender a indústria de cosméticos. Da mesma forma, deve-se verificar se os produtos derivados desses princípios ativos já consolidados no mercado necessitam passar novamente por ensaios clínicos, visto que, apesar de serem a mesma molécula, foram obtidos a partir de uma rota alternativa.

Por fim, para novos produtos, existe o desafio de marketing para desenvolver o mercado de forma a divulgar essas rotas alternativas e torná-las atrativas para o público alvo.

5.1.3 - Indústria farmacêutica

As duas aplicações encontradas para a indústria farmacêutica são princípios ativos, portanto classificados como produtos intermediários, do mesmo tipo que as isoflavonas na indústria farmacêutica. Os processos produtivos descritos pelas publicações contêm diversas etapas e como esses produtos são utilizados em medicamentos, as quantidades empregadas são pequenas. Por esse motivo, a classificação de volume foi considerada pequena e o preço de venda dos produtos alto.

Ambos os antioxidantes e os polissacarídeos foram obtidos através de processos fermentativos, ou seja, envolve toda a tecnologia de desenvolvimento de processos com microrganismos em escala industrial. Ademais, é necessária a verificação para legislações específicas para testes clínicos para produtos, cujo princípio ativo foi obtido através de rotas alternativas. Para novos produtos desenvolvidos, esses testes já são obrigatórios para medicamentos.

Os desafios não-tecnológicos envolvem todo o esforço de marketing para a divulgação dos novos produtos para alcançar o público-alvo, sendo estes pacientes e médicos. A inserção de novos medicamentos no mercado é custosa e exige investimentos consideráveis pela indústria. Ademais, as publicações sobre os antioxidantes são ambas do ano de 1995 e não foram encontradas outras evidências de trabalhos futuros, o que pode indicar um problema no desenvolvimento da tecnologia.

5.1.4 - Indústria de alimentos

A indústria de alimentos foi o ramo que mais apresentou aplicações diversas para a utilização do farelo. Esses produtos provenientes do aproveitamento do Okara podem ser divididos em grupos com a mesma classificação e desafios.

O primeiro grupo de produtos inclui a paçoca, os cookies e o patê. Esses produtos são produtos finais obtidos a partir da substituição parcial da farinha de trigo na composição pelo Okara. Como são produtos de varejo, são vendidos em pequenas quantidades. Portanto, mesmo que vendidos em diversos locais, pode-se inferir que a quantidade de Okara utilizada como matéria-prima é pequena quando comparada, por exemplo, com a exportação para a alimentação animal. Dessa forma, adotou-se que o volume potencial de uso do Okara para esta aplicação seria baixo. Na mesma linha de pensamento, o Okara não sofreu nenhuma grande transformação ou diferenciação para ser utilizado como matéria-prima, portanto, para conseguir uma competição mercadológica com a farinha, o mesmo deve ter preço de venda baixo.

Por se tratar de aplicações inseridas em uma indústria já consolidada, os desafios tecnológicos envolvendo esses três produtos estão ligados somente com a adaptação do

maquinário industrial para trabalhar e controlar processos utilizando farinha de Okara junto à farinha de trigo em seus processos.

Os demais desafios encontrados são sensoriais e mercadológicos. O Okara apresenta problemas de digestibilidade por ser fibroso, portanto, é importante que mais análises sensoriais sejam feitas nos novos produtos para aprovação do mercado consumidor. Por fim, o processo utilizando essa nova farinha deve ter custos iguais ao processo original para não haver mudança no preço final do produto, o que possivelmente afetaria as vendas.

O segundo grupo de produtos que pode ser classificado de forma similar contém a proteína de soja e o Okara nutricionalmente melhorado. A proteína pode ser utilizada para o consumo direto humano ou para a preparação de alimentos com um melhor apelo nutricional. O Okara nutricionalmente melhorado pode ser entendido como um produto que pode ser utilizado para compor produtos que utilizam farinha em seu preparo. Ambos os produtos são commodities clássicas, ou seja, produtos com pouca ou nenhuma diferenciação e preço de venda baixo, mas com o volume de produção alto.

Não há grandes desafios tecnológicos para a implementação dessa tecnologia. O mais interessante a ser feito, seria avançar na cadeia produtiva do leite de soja ao invés de exportar o Okara diretamente, incluindo mais etapas para a produção desses dois produtos alternativos.

Atualmente, essa aplicação não é utilizada devido à competição direta com a alimentação animal, que demanda menos etapas de produção e gera um lucro já interessante para a indústria da soja. Entretanto, essas duas novas aplicações podem se tornar interessantes devido ao apelo nutricional que o Okara e as proteínas da soja têm em um estilo de vida mais saudável da população mundial, em substituição aos produtos de origem animal.

O terceiro grupo de produtos faz referência aos produtos típicos da cultura oriental, os alimentos fermentados de tradição chinesa e o fungo *Ganoderma lucidum*. Esses produtos são diferentes dos anteriores, porque não são típicos da cultura brasileira. De acordo com a literatura encontrada, eles são principalmente empregados em aplicações ao nível residencial

em países como o Japão e a China. Deste modo, o volume de Okara empregado para produção desses alimentos é relativamente baixo quando comparado com outras aplicações como a produção de proteínas de soja. Da mesma forma, o preço de venda desses produtos é limitado, devido à produção caseira, portanto, de uma forma aproximada, esses produtos foram classificados como commodities de baixo volume.

Por não ser comum no Brasil, não existem plantas industriais já existentes que poderiam ser adaptadas para a fabricação em específico desses dois produtos. Dessa forma, se faz necessário o desenvolvimento de toda uma cadeia industrial. Sob uma visão não-tecnológica, são necessários investimentos de marketing para criar demanda para um produto que, atualmente, não tem mercado no país. Ou seja, os desafios e as barreiras são grandes nessas duas aplicações. Em contrapartida, é um mercado sem concorrência, o que pode, teoricamente, gerar produtos pioneiros.

As últimas duas aplicações encontradas apresentam características e desafios diferentes dos outros grupos e, portanto, foram tratadas de forma individual. Os queijos modificados com o fungo *Yarrowiali polytica* constituem uma gama de produtos com especificações diferenciadas. A produção de queijo se trata de um processo fermentativo. Portanto, nessa aplicação, há a introdução de um segundo microrganismo no processo produtivo o que confere algumas vantagens e também alguns riscos.

Primeiro, é necessário avaliar que cada tipo de queijo tem características sensoriais específicas que são consequência do processo produtivo especializado. Portanto, a própria literatura cita que a adição do *Yarrowiali polytica* deve ser feita em pequena quantidade para não afetar essas características sensoriais. A partir dessas informações, é possível verificar que o volume de Okara utilizado para o cultivo desses microrganismos é comparativamente pequeno.

Já o preço de venda pode ser classificado como alto, porque esses queijos especiais teriam um apelo e uma divulgação como produtos com um valor nutricional diferenciado, o que justificaria o preço mais elevado.

Como mencionado anteriormente, existe um desafio tecnológico grande para colocar em prática essa aplicação. Os processos produtivos de queijos são muito específicos para cada tipo de queijo e a adição de qualquer composto ou microrganismos deve ser previamente estudada para não afetar a qualidade e nem as características, inclusive sensoriais, já reconhecidas dos diversos tipos do produto. Por ser um produto com demanda relevante no Brasil, essa nova aplicação oferece um bom potencial de mercado. Entretanto, se faz necessário um trabalho de divulgação das propriedades desses novos produtos para que o mercado consumidor entenda qual a vantagem em utilizar esses produtos e aceite pagar mais pelo produto proposto dadas as melhorias nutricionais.

A produção de beta-fructofuranosidase se configura como a última aplicação potencial a ser classificada e estudada na indústria de alimentos. Essa enzima é responsável por quebrar polissacarídeos complexos, os quais serão utilizados como adoçantes, portanto, a enzima se configura como um produto intermediário. Esse produto foi classificado como uma especialidade na indústria, porque o volume de enzima utilizado para a conversão de uma grande quantidade de polissacarídeos é pequeno, ao mesmo tempo em que, por se tratar de um processo complexo de obtenção, esse produto deverá apresentar valor de venda elevado.

O processo produtivo é complexo porque se trata de um processo fermentativo em escala industrial que visa à produção e purificação de uma enzima específica. Portanto, há um desafio tecnológico referente ao aumento de escala e visando a mesma taxa de produção e purificação de enzima que em escala de bancada. Ademais, existe a etapa de tratamento dos resíduos biológicos gerados a ser considerada.

Os desafios não-tecnológicos tangem o desenvolvimento de novos açúcares. Esses novos produtos devem ser divulgados e inseridos no mercado como produtos de melhor valor nutricional que os açúcares vendidos atualmente. Caso consolidados, os açúcares complexos são uma opção viável para pessoas com diabetes, por exemplo.

5.1.5 - Indústria de tratamento de efluentes

O Okara tem uma aplicação específica para a remoção de metais de efluentes da indústria. Em sua classificação, o Okara modificado com ácido/base foi considerado uma commodity por não haver uma diferenciação, sendo o seu preço considerado baixo. Esse fato, ligado ao volume anual de efluentes gerados pelas indústrias no Brasil e no mundo, levou à conclusão de que o volume de demanda poderia ser classificado como grande.

Por ser uma aplicação simples, de alto valor para a indústria e teoricamente barata, a aplicação do Okara para a adsorção de metais de efluentes se mostrou altamente atrativa para o Brasil, uma vez que uma parte da indústria tem rejeitos contendo metais pesados.

Todavia, por se tornarem cada vez mais complexos, os efluentes das indústrias estão cada vez mais difíceis de serem tratados. Dessa forma, é necessário verificar na prática, qual a eficiência de separação de metais pesados em efluentes reais. Outro ponto a ser considerado é a implementação de um sistema de recuperação do adsorvente para que este possa ser utilizado diversas vezes no sistema de tratamento.

Essa aplicação não tem muitos desafios não-tecnológicos. O único relevante encontrado foi a realização de investimentos para a substituição dos maquinários e processos já existentes para a utilização do farelo como remediador.

5.1.6 - Indústria química

O Okara também pode ser utilizado para produzir uma aplicação interessante para a indústria química. Essa aplicação como catalisador C/N é um produto final para substituir os catalisadores de platina. Considerando as aproximações realizadas no início deste capítulo, esse produto pode ser classificado como uma especialidade. É um produto cujo volume empregado na reação é pequeno e o valor de venda do catalisador pronto tende a ser elevado para cobrir os custos, dado que o Okara passa por diversos processos até o produto final.

Por ser um produto novo, a obtenção e recuperação de catalisadores em escala industrial é um desafio devido às especificações que esse tipo de produto deve manter. Da mesma forma, empregar nanopartículas em escala industrial configura um desafio

tecnológico adicional. Por fim, um último desafio é a caracterização da durabilidade do catalisador.

Os desafios não-tecnológicos não são muito relevantes para essa aplicação. A troca de catalisadores de platina pelo novo catalisador é o desafio encontrado.

5.1.7 - Indústria no geral

Os produtos posicionados na indústria no geral foram divididos em três grupos de classificação e análise. O primeiro grupo contém o ácido cítrico e o ácido lático. Esses dois produtos são considerados commodities devido ao seu preço de venda baixo já praticado no mercado e ao alto volume vendido.

Essas duas oportunidades tecnológicas foram agrupadas porque seus processos produtivos atualmente já são fermentativos. Por isso, a indústria já está adaptada para a produção e recuperação. Então, o maior desafio tecnológico é a mudança de substrato para a utilização de um subproduto junto à mudança de microrganismo, mantendo a produtividade e a taxa de recuperação do produto. Um desafio secundário, já existente, é o tratamento desses microrganismos utilizados no processo produtivo.

Por serem produtos já amplamente conhecidos e estabelecidos em um mercado consolidado, devem-se buscar custos competitivos para essas novas formas de obtenção utilizando o Okara. Os preços do ácido cítrico e do ácido lático são amplamente conhecidos, portanto, há um limite no custo de produção desses produtos utilizando o Okara para que essas rotas se tornem competitivas.

O segundo grupo de aplicações está ligado ao metano e ao hidrogênio. Esses produtos também são commodities, ou seja, tem um volume de vendas alto, enquanto que o seu valor agregado (preço de venda) é relativamente baixo. Eles podem ser utilizados diretamente em aplicações como, por exemplo, geração de energia, mas também podem ser empregados como produtos intermediários na indústria química (precursores para a obtenção de outros químicos). Por esse motivo, receberam a classificação de intermediário/final.

Atualmente, a rota de produção desses dois produtos não é fermentativa, portanto, os trabalhos explicados no Capítulo 4 são novas rotas produtivas. Dessa forma, é necessária a estruturação do processo produtivo para esses dois produtos em escala industrial. O primeiro ponto a ser considerado é a produtividade e recuperação de produto considerando os processos fermentativos. Então, deve-se pensar no tratamento dos efluentes biológicos gerados, assim como em todos os outros processos fermentativos. Por fim, o hidrogênio tem um desafio a mais, que é a sua estocagem. Estocar esse produto demanda altas quantidades de energia e se torna um ponto de estudos posteriores para otimizar as tecnologias existentes nesse sentido.

Os desafios não-tecnológicos do metano e do hidrogênio produzidos a partir do Okara advêm diretamente dos desafios tecnológicos. O processo de *scale-up* deve ser feito de modo a manter o preço dessas aplicações baixo, porque o mercado para esses produtos já é bastante consolidado e, portanto, a barreira de entrada nesse sentido é grande.

Por fim, os últimos dois produtos agrupados foram os compostos fenólicos e os biossurfactantes. Os compostos fenólicos são produtos intermediários, enquanto que os biossurfactantes são produtos finais, entretanto, ambos podem ser considerados especialidades. O preço de venda de ambos os produtos é alto, visto que os seus processos produtivos envolvem diversas etapas. Os compostos fenólicos, geralmente são utilizados como princípios ativos para medicamentos ou para a indústria de cosméticos em quantidades pequenas. Já os surfactantes são utilizados em pequenas quantidades para emulsionar líquidos imiscíveis, entretanto devido à diversidade de indústrias que utilizam e os volumes praticados nessas indústrias, pode-se considerar o volume total de vendas alto.

Ambos os processos foram descritos como fermentativos, portanto, mais uma vez, os desafios tecnológicos estão pautados na produção e recuperação de produto em escala industrial sem comprometer o mosto fermentativo e o tratamento dos resíduos biológicos produzidos ao decorrer do processo. Os compostos fenólicos ainda contam com um desafio tecnológico adicional, a verificação da necessidade de testes clínicos para esse produto em

caso de rotas tecnológicas alternativas, uma vez que são produtos da área farmacêutica e de cosméticos.

Por fim, os desafios não-tecnológicos estão baseados no marketing e no preço de venda. Os produtos antigos já produzidos a partir dos compostos fenólicos não requerem estratégias de divulgação, somente os novos. Já os biossurfactantes entram para competir em um mercado que já está consolidado, portanto, o processo produtivo deve ser competitivo em custos.

5.2 - Classificação e análise dos produtos/aplicações para o farelo de soja

5.2.1 - Agroindústria

O adubo proveniente da compostagem do farelo de soja é uma aplicação interessante em um primeiro momento. O Brasil, por ser um país de grande produção agrícola, tem interesse em desenvolver soluções para melhorar a produtividade das suas plantações e por esse motivo, poderia absorver um volume grande de adubo produzido. Esse volume foi considerado elevado devido à grande disponibilidade, dada a quantidade de farelo que é produzida e exportada, conforme evidenciado no capítulo II deste trabalho. Notavelmente, o adubo é um produto sem grande diferenciação e por esse motivo, não pode apresentar preço de venda alto.

Apesar de não apresentar complexidade elevada em seu uso, existem alguns desafios tecnológicos a serem considerados na utilização do farelo de soja pela agroindústria como adubo. Primeiro, a diminuição do tempo de compostagem é essencial para aumentar a produtividade, tornando o processo mais competitivo. Da mesma forma, é importante estudar uma forma de manter a proporção de C/N ideal, sendo este um desafio indispensável para evitar outras etapas de equalização posteriores. Por fim, é crítico estudar formas de diminuir a perecibilidade do farelo, de forma a aumentar o volume útil para a produção.

A compostagem requer áreas apropriadas com espaço significativo para o volume que pode ser produzido, portanto, este desafio é significativo, visto que as condições de temperatura e umidade influenciam diretamente na qualidade do produto final e essas

variáveis devem ser controladas. Da mesma forma, o adubo é um produto tradicional e desta forma, o mercado deste produto já é maduro, dificultando a entrada de novos produtos.

5.2.2 - Indústria de biocombustíveis

O farelo de soja também pode ser visto como uma fonte de matéria-prima para a produção de combustíveis, sobretudo o bioetanol e o biodiesel. Esses combustíveis são de grande valor para o Brasil. Segundo a União Nacional da Bioenergia, (2019), o Brasil se tornará o maior produtor de biodiesel do mundo até 2023. Igualmente, o Brasil figura entre os maiores produtos mundiais de etanol, portanto é compatível afirmar que o volume estimado de venda desses dois combustíveis pode ser considerado grande. Entretanto, as rotas de produção desses biocombustíveis são diferentes das atuais em que o etanol é produzido a partir da fermentação da cana e o biodiesel a partir da transesterificação de ácidos graxos. (SEGALLA, 2019)

Essas rotas atuais apresentam uma vantagem competitiva em relação à fermentação, o custo de produção. Por serem commodities com pouca diferenciação, os combustíveis são suscetíveis à flutuação no preço e a competição se dá pela obtenção de custos de produção mais baixos.

Dessa forma, as rotas tecnológicas via fermentação a partir do farelo ainda necessitam de estudos para aumentar a produtividade e a taxa de recuperação de produto para que seja possível a competição em termos econômicos com as rotas tradicionais. Os resíduos gerados por essas novas rotas também não são os mesmos, então todo o sistema de tratamento para esses microrganismos deve ser desenvolvido. (ZHANG; HU, 2012)

5.2.3 - Indústria de alimentos

Primeiro, a farinha de soja, assim como a farinha de Okara, poderiam substituir a farinha de trigo branca em preparações, visto que o Brasil é um grande consumidor de pães e produtos produzidos a partir da farinha. Todavia, mesmo com o volume grande potencial para a venda de produto, dois desafios devem ser considerados.

Primeiro, conforme a relevância das propriedades sensoriais descritas no capítulo anterior propõe-se o uso do pó de farelo ou a farinha de farelo como substituinte de apenas

uma parte da farinha nas preparações devido às suas diferenças na composição e o impacto que estas trariam para o produto final. Portanto, a farinha de farelo de soja não foi testada sozinha como substituinte total da farinha branca. O outro ponto a ser estudado é o nível de maturação do mercado de farinha de trigo. Por ser a farinha mais consumida do Brasil, os produtores e importadores desse produto dominam esse mercado e conseguem trabalhar com preços baixos para o produto. Logo, a barreira de entrada de um novo tipo de farinha no mercado é grande apesar do seu potencial nutricional. (SOUZA et al., 2013)

Assim como o caso da paçoca, dos cookies e do patê, a produção de nuggets de frango utilizando o farelo de soja em pó como substituinte de parte da farinha de trigo representa uma alteração interessante. Como já mencionado no tópico 4.2.3 - Indústria de alimentos, o farelo de soja por sua quantidade de fibras e proteínas poderia enriquecer o nugget de frango do ponto de vista nutricional. Portanto, o produto poderia representar uma nova linha de mercado, com especificações nutricionais melhores.

Para que o farelo seja incluso neste produto, basta a adaptação do maquinário e das condições de fabricação, de forma a manter a qualidade final do produto. Um outro desafio seria manter as características anteriormente conhecidas do produto, uma vez que o farelo de soja é um material fibroso e tende a causar problemas de digestibilidade.

Por fim, essas mudanças na composição não podem impactar no preço final de venda do produto, se não se tornaria inviável para este ser competitivo.

5.2.4 - Indústria de tratamento de efluentes

As três aplicações referentes à indústria de tratamento de efluentes foram separadas em dois grupos diferentes. Primeiro, foi analisada somente a pirólise de PVC, então, em um segundo momento, a remoção de metais pesados e de corantes industriais da água foram agrupadas por terem classificações e análise similares.

A pirólise de PVC utilizando farelo de soja para diminuir a quantidade de gases tóxicos emitidos deve ser avaliada com certa cautela. No contexto descrito pelos autores, a aplicação descrita pode ser resumida como a adição de farelo na queima do PVC. Pelo fato da Braskem, maior produtora de PVC do Brasil, produzir sozinha até 710 mil toneladas por

ano desse polímero, o volume de farelo que deveria ser consumido é grande, entretanto, por ser utilizado diretamente, o seu preço agregado é baixo. (SANTOMAURO, 2019)

Por ser uma aplicação relativamente simples de ser executada, essa aplicação pode apresentar pequenos desafios tecnológicos, entretanto se faz válido ressaltar que a pirólise é um processo de queima e vai de encontro com toda a política ambiental desenvolvida para a diminuição do efeito estufa e da emissão de moléculas tóxicas na atmosfera. Ademais, esse processo demanda alto consumo energético, o que pode tornar o processo caro e não competitivo. Por último, os autores relataram dificuldades para determinar completamente o perfil do peso molecular dos compostos formados durante a queima e controlar a emissão do composto nitrogenado N-diol.

Por ser controversa, essa aplicação tem desafios não-tecnológicos grandes para ser aceita. Provar para os órgãos ambientais que o processo funciona corretamente pode demandar tempo e estudos da parte das empresas. Também, a disposição final dos resíduos que sobraram da queima é uma incógnita para os trabalhos.

Assim como para o Okara, a remoção de compostos provenientes de rejeitos industriais pode ser realizada a partir do farelo de soja modificado. Essa aplicação apresenta interesse para o Brasil visto que o país tem diversas indústrias cujos rejeitos apresentam metais pesados e corantes, elevando o volume necessário para atender a demanda. Por ser um material sem diferenciação, o farelo de soja tem o seu preço de venda baixo e, portanto, foi classificado como uma commodity quando utilizado para ambas as aplicações. Diferentemente do Okara, há diversos íons já explicitados que foram testados para o farelo, aumentando o seu espectro de utilização.

Ambas as publicações descrevem os mesmos desafios tecnológicos para essas aplicações. Por serem cada vez mais complexos, os efluentes das indústrias ficam cada vez mais difíceis de serem tratados. Dessa forma, é necessário verificar na prática, qual a eficiência de separação de metais pesados e de corantes em efluentes reais. Outro ponto a ser considerado é a implementação de um sistema de recuperação do adsorvente para que este possa ser utilizado diversas vezes no sistema de tratamento.

Assim como descrito para o Okara, Essa aplicação utilizando o farelo de soja não tem muitos desafios não-tecnológicos. O único relevante encontrado foi a realização de investimentos para a substituição dos maquinários e processos já existentes para a utilização do farelo como remediador.

5.2.5 - Indústria de polímeros

Em um primeiro momento, a produção de polímeros reforçados com celulose microcristalina foi classificada segundo os parâmetros definidos no início da discussão. Todavia, essa avaliação deve ser seguida de uma ressalva. O mundo produziu somente em 2017, 348 milhões de toneladas de plástico. Dentro da literatura relacionada aos polímeros, há estudos sobre como reforçar e melhorar a estrutura e a durabilidade desses materiais. (ABIPLAST, 2017)

O volume de microcristais de celulose produzidos teria de ser alto para suprir parte da demanda brasileira e por ser um produto com diversas etapas de fabricação, os microcristais de celulose poderiam ser vendidos e até exportados por um preço alto, sendo considerados uma especialidade segundo a aproximação adotada.

Contudo, existem alguns desafios tecnológicos a serem discutidos. Por ainda estar na fase de testes laboratoriais, o avanço dessa tecnologia requer custos relacionados ao *scale up* além de investimentos para adaptações no processo produtivo. Mudar as características estruturais de polimerização pode ser um desafio, visto que as condições das reações em escala industrial são especiais e adversas. Também, seria essencial um estudo com cada tipo de polímero produzido para avaliar a viabilidade da inclusão dos microcristais de celulose em suas estruturas. Por fim, é necessário verificar se a estrutura dos cristais resistiria as condições das reações a nível industrial.

Os desafios não-tecnológicos estão embasados na questão logística. As plantas de produção de plásticos no Brasil já estão consolidadas e não necessariamente, encontram-se nas mesmas regiões das plantas produtoras de farelo de soja. Por ser um produto perecível, seria necessário estabelecer a localização da cadeia produtiva dos microcristais de celulose. Caso se encontrassem acopladas com as plantas de farelo de soja, um fluxo logístico deveria

ser criado para o transporte desses microcristais até as plantas de polímeros. Já se as plantas de microcristais fossem implementadas junto às plantas de plásticos, um outro fluxo teria que ser criado para o transporte do farelo, sem que houvesse a perda excessiva de produto por decomposição.

Os plásticos têm um desafio adicional relacionado com o uso. O Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo. Investir na utilização de um subproduto para a fabricação de produtos poluentes é conflitante com as diretrizes atuais mundiais de redução de produção de lixo não biodegradável. Por isso, essa aplicação deve ser avaliada com cautela, sendo impreterível o estudo dessa possibilidade de aplicação do farelo para a produção de bioplásticos ou plásticos biodegradáveis que não agridam a natureza. (WWF, 2019)

5.2.6 - Indústria da construção civil

No grupo dos produtos referentes à indústria da construção civil as classificações e análises foram realizadas de forma separada. Os painéis aglomerados são produtos populares no Brasil devido a sua facilidade de implementação em locais fechados como escritórios, casas e até móveis. São produtos onde o farelo de soja pode ser utilizado diretamente para substituir a madeira e, portanto, necessitariam de um volume alto para atender à demanda de painéis. Segundo a literatura, por se tratar somente da troca de parte da madeira por farelo, não há como justificar um preço de venda do farelo alto, portanto, o farelo nesse caso foi considerado uma commodity.

Os desafios tecnológicos desse produto estão baseados no argumento de que o farelo, diminui as propriedades de resistência dos painéis e aumenta a absorção de água. Por isso, não há uma justificativa técnica que justifique uma melhora estrutural desses painéis em relação aos já produzidos.(MARTINS, 2015)

Esse desafio tecnológico gera, conseqüentemente, um desafio não-tecnológico: apresentar uma forma de justificar junto aos clientes, a compra desses painéis e não dos painéis que já são vendidos hoje em dia. Essa justificativa pode ser baseada em questões

ambientais, entretanto, esses argumentos devem ser embasados por estudos tecnológicos que indiquem a durabilidade igual ou superior das placas produzidas com adição de farelo.

Já o resíduo de asfalto representa um resíduo da repavimentação de vias. Estudado pelas suas limitações estruturais e térmicas, este apresentou melhoras significativas quando misturado ao farelo de soja, conforme o tópico 4.2.6 - Indústria da construção civil. Todas as vias rodoviárias têm um tempo de vida útil que pode ser encurtado pelas condições climáticas as quais são submetidas. O Brasil, por ser um país tropical, é conhecido por ter uma amplitude térmica grande durante os dias e durante as estações do ano em alguns locais.

Da mesma forma, o Brasil tem um sistema rodoviário grande, portanto o potencial volume de utilização do farelo de soja nessa aplicação é grande. Entretanto, por não ter diferenciação e ser utilizado diretamente, o farelo deverá ter preço de venda baixo. Devido aos dois argumentos apresentados, a possibilidade da implantação dessa nova tecnologia na reutilização do próprio asfalto já utilizado representaria um ganho real.

Apesar de todos os esses pontos positivos, as publicações envolvendo essa tecnologia carecem de mais estudos tecnológicos. Algumas informações não conclusivas sobre a resistência térmica e estruturais necessitam ser verificadas. Segundo o estudo realizado pelos autores, as amostras testadas tiveram danos estruturais grandes em temperaturas médias, portanto, afim de validar a aplicação, são necessários mais estudos até que esta seja comparada com um asfalto novo. (ELKASHEF; WILLIAMS, 2017)

O desafio não-tecnológico encontrado foi o aumento do custo de produção desse asfalto reciclado em relação ao produzido. Esse argumento pode distanciar investimentos da indústria nesse sentido, apesar de representar uma solução melhor para o meio ambiente.

5.2.7 - Indústria no geral

A catalase e a peroxidase do ramo da indústria no geral podem ser agrupadas juntas pois tem análises e desafios similares. Ambas as aplicações são enzimas com a utilização variando em diversas indústrias, como a de cosméticos, alimentos, farmacêutica e química. Por se tratarem de moléculas com um alto grau de complexidade e que são utilizadas na extração e tratamento de outras moléculas específicas, como descrito no tópico 4.2.7 -

Indústria no geral, essas moléculas são produzidas em pequenas quantidades para a matéria-prima empregada e, também, dependem de processos cujo grau de complexidade de obtenção é alto, portanto, de forma geral, podem ser classificadas como especialidades.

Como contraponto há desafios tecnológicos relacionados com os processos fermentativos. A produtividade e a taxa de recuperação desses produtos são desafios encontrados na estruturação da cadeia produtiva em escala industrial. Da mesma forma, a questão do tratamento dos resíduos biológicos se faz presente.

Já os desafios não-tecnológicos estão baseados na divulgação dos produtos finais produzidos através da catalase e da peroxidase, caso se tratem de produtos novos no mercado. Através desse trabalho de marketing, os produtos finais buscariam ganhar espaço no mercado para competir com os já existentes.

Analisando agora o bio-oil, é possível notar que este produto é um novo tipo de óleo com múltiplas aplicações a ser explorado. Já existe um produto chamado Bio-oil® no mercado que contém em sua formulação o óleo proveniente do farelo de soja, entretanto esse é um produto que apresenta somente a aplicação no ramo de cosméticos. Como apresentado no tópico 4.2.7 - Indústria no geral, esse produto tem alto potencial por poder ser aplicado em diversas indústrias como a farmacêutica, a de biocombustíveis, a indústria química e a de cosméticos.

Por ser um produto novo, com diversas aplicações de interesse, o valor de venda associado ao bio-oil tende a ser elevado. Já o volume produzido pode mudar de acordo com a aplicação em que for utilizado, por exemplo, se for utilizado como intermediário da indústria de biocombustíveis, o volume empregado tende a ser alto, todavia, quando aplicado à produção de fármacos, comparativamente, o volume tende a ser pequeno. Portanto, se trata de um produto estratégico, visto que ele visa entrar em mercados de grande interesse para o Brasil.

Para que se torne um produto com maior penetração no mercado, é necessário definir qual das duas rotas exemplificadas neste trabalho seria aquela com a maior produtividade e menor gasto energético. Ademais, ambas as rotas de produção são complexas, com

temperaturas de reação altas e necessitam de controle especial, caso contrário podem gerar uma falha de segurança e comprometer a equipe e a instalação. Por fim, é necessário verificar que por trabalhar em altas temperaturas, o gasto energético dessas rotas é bastante alto, portanto, se faz necessário um estudo para definir se esse o preço de venda é suficientemente elevado para compensar esse custo operacional.

Os desafios não-tecnológicos dependem do mercado no qual o produto está sendo aplicado. No caso das indústrias de fármacos, cosméticos e química, os produtos finais produzidos através do bio-oil seriam novas aplicações de mercado e por isso, estratégias de marketing devem ser empregadas para a consolidação do novo mercado. Já na indústria de biocombustíveis por exemplo, os produtos derivados devem ser competitivos em preço, para que o mercado aceite substituir os combustíveis já disponíveis e consolidados.

CAPÍTULO 6 – Conclusão

Neste trabalho, foram mapeadas e avaliadas as oportunidades para o reaproveitamento tecnológico da soja de acordo com a perspectiva do mercado brasileiro. Do total de trabalhos pesquisados, foram encontrados 22 produtos/aplicações para o aproveitamento tecnológico do Okara e 21 produtos/aplicações para o aproveitamento tecnológico do farelo de soja. Esses trabalhos foram listados e separados segundo o segmento industrial dos produtos.

A partir dos dados levantados, foi possível concluir que existem potenciais aplicações para a utilização do Okara e do farelo de soja no Brasil. Essa conclusão é corroborada pela diversidade no tipo de indústrias em que esses subprodutos podem ser utilizados. Essa grande diversidade de produtos e aplicações confirma o grande potencial em se buscar usos de maior valor agregado para esses resíduos.

De maneira geral, as oportunidades relacionadas com processos fermentativos, exigem pesquisas para aumentar a produtividade para chegar na escala industrial e têm desafios na recuperação e remediação dos efluentes biológicos. Já as oportunidades relacionadas com a indústria de alimentos têm como maiores desafios manter as características sensoriais e melhorar a digestibilidade do Okara e do farelo para que estes sejam aceitos no mercado. Os produtos classificados como especialidades são descritos nos trabalhos, em sua maioria, em escala de bancada, indicando a necessidade de grandes esforços para realizar o *scale-up* e estruturar cadeias produtivas. Por fim, os produtos cujos equivalentes já estão estabelecidos no mercado devem ter custo produtivo competitivo para que o preço de venda final consiga ser equivalente, o que se configura como um desafio relevante dado que essas oportunidades terão que competir com equivalentes produzidos em escala.

A partir dos resultados apresentados, é coerente o entendimento que os produtos/aplicações identificados apresentam desafios tecnológicos e não-tecnológicos.

Entretanto é possível visualizar que esses produtos/aplicações estão em níveis diferentes de desenvolvimento. Existem aplicações que têm poucos desafios tecnológicos, porém, tem diversas barreiras mercadológicas, como o adubo orgânico. Outros produtos, tais quais, os polímeros reforçados e o tratamento de efluentes, têm grandes desafios tecnológicos, todavia poucos desafios mercadológicos. Uma terceira percepção é de que existem produtos com altos desafios tecnológicos e não tecnológicos como os biocombustíveis. Por fim, existem produtos como os pratos tradicionais chineses e o fungo *Ganoderma lucidum* os quais têm a questão da demanda no Brasil a ser desenvolvida.

Esses desafios apresentados são barreiras relevantes para que esses novos produtos entrem no mercado brasileiro de forma competitiva, substituindo assim a rota original de utilização do Okara e do farelo de soja, a alimentação animal.

Este trabalho também abre oportunidades futuras para a realização de trabalhos para completar as análises sobre quais das oportunidades seriam mais relevantes para o caso brasileiro. Vale ressaltar que este trabalho não explorou as oportunidades em patentes, o que poderia resultar em um conjunto mais amplo de possibilidades de aproveitamento dos resíduos da soja. Análises quantitativas aprofundadas podem ser conduzidas a fim de determinar quais são as áreas e quais soluções trariam um melhor retorno econômico e social para o país. Além disso, um estudo de caso em parceria com a indústria poderia ser realizado para determinar, individualmente, quais seriam as aplicações mais adequadas para cada setor industrial em específico.

O autor espera que esse trabalho consiga contribuir para o desenvolvimento da indústria brasileira de soja e acredita que a partir deste, novos trabalhos mais aprofundados serão desenvolvidos levando a temática ao nível industrial.

Referências

ABIHPEC. **Setor brasileiro de cosméticos em lenta recuperação retoma posições – ABIHPEC 2018.**

ABIOVE. **Capacidade instalada e exportação soja - Histórico**, 2019a. Disponível em:

<[ABIOVE. **pesquisa de capacidade instalada 2018**ABIOVE, , 2019b. Disponível em:](http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=></p></div><div data-bbox=)

<[ABIPLAST. Perfil 2017 - Produção, Distribuição e reciclagem de plástico. 2017.](http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=></p></div><div data-bbox=)

ANTUNES, V.; FREIRE, A. C.; NEVES, J. A review on the effect of RAP recycling on bituminous mixtures properties and the viability of multi-recycling. **Construction and Building Materials**, v. 211, p. 453–469, 2019.

Archer Daniels Midland c. Comissão. Colect., 2006. Disponível em:

<[ASHORI, A.; NOURBAKHSI, A. Performance properties of microcrystalline cellulose as a reinforcing agent in wood plastic composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 41, n. 7, p. 578–581, 2010.](https://www.adm.com/adm-worldwide/brazil-pr></p></div><div data-bbox=)

BRANDLI, E. N. et al. A identificação dos resíduos em uma indústria de alimentos e sua política ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 13, p. 45–51, 2009.

BUGAY, C. **Biossurfactantes produzidos por Bacillus sp .: Estudos de produção e caracterização**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2009.

BUNGE. **História da Bunge Agronegócio no Brasil**, [s.d.]. Disponível em:

<[CAMPA, M.; BARON, E. Anti-aging Effects of Select Botanicals : Scientific Evidence and Current trends. **cosmetics**, p. 1–15, 2018.](http://www.bunge.com.br/Bunge/Nossa_Historia.aspx></p></div><div data-bbox=)

CARGILL. **Nossa história Cargill Brasil**Cargill, , [s.d.]. Disponível em:

<[CHAGAS, P. M. B. et al. Immobilized soybean hull peroxidase for the oxidation of phenolic compounds in coffee processing wastewater. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 81, p. 568–575, 2015.](https://www.cargill.com.br/pt_BR/nossa-história></p></div><div data-bbox=)

CHAMPAGNE, P. Feasibility of producing bio-ethanol from waste residues: A Canadian

perspective. Feasibility of producing bio-ethanol from waste residues in Canada. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, n. 3, p. 211–230, 2007.

CHUNG, I. M. et al. Effect of processing, fermentation, and aging treatment to content and profile of phenolic compounds in soybean seed, soy curd and soy paste. **Food Chemistry**, v. 127, n. 3, p. 960–967, 2011.

CIRIMINNA, R. et al. Citric acid: Emerging applications of key biotechnology industrial product. **Chemistry Central Journal**, v. 11, n. 1, p. 1–9, 2017.

CONAB. Perspectivas para a agropecuária - Safra 2018/2019. **Companhia Nacional de Abastecimento - Conab**, v. 6, p. soja 34, 2018.

CONTRERAS, M. DEL M. et al. Protein extraction from agri-food residues for integration in biorefinery: Potential techniques and current status. **Bioresource Technology**, v. 280, n. December 2018, p. 459–477, 2019.

CRUZ-SILVA, R. et al. Template-free enzymatic synthesis of electrically conducting polyaniline using soybean peroxidase. **European Polymer Journal**, v. 41, n. 5, p. 1129–1135, 2005.

CUI, F. J. et al. Optimization of the medium composition for production of mycelial biomass and exo-polymer by *Grifola frondosa* GF9801 using response surface methodology. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 10, p. 1209–1216, 2006.

DE OLIVEIRA, J. O. A. **A agroindústria da soja**. [s.l.] FGV, 1995.

DREYDUS, L. **Nosso legado - Louis Dreyfus Company**, [s.d.]. Disponível em:
<<https://www ldc.com/br/pr/sobre-nos/nosso-legado/>>

ELKASHEF, M.; WILLIAMS, R. C. Improving fatigue and low temperature performance of 100% RAP mixtures using a soybean-derived rejuvenator. **Construction and Building Materials**, v. 151, p. 345–352, 2017.

ELKHALIFA, S. et al. Food waste to biochars through pyrolysis: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 144, n. September 2018, p. 310–320, 2019.

- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Economia Circular**. Disponível em:
<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/conceito>>.
- EMBRAPA. Revista 30 anos Soja EMBRAPA. **EMBRAPA**, v. 67, n. 6, p. 14–21, 2005.
- EMBRAPA. **Cultivares - Portal Embrapa**, 2017. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/soja/cultivares>>
- EUROPEAN COMMISSION. **Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe**. Brussels: [s.n.].
- FAO. **Statistics of the Food and Agriculture Organization of the United Nations Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2018. Disponível em:
<<http://www.fao.org/faostat/en/#rankings>>
- FERRER, A.; SALAS, C.; ROJAS, O. J. Dewatering of MNFC containing microfibrils and microparticles from soybean hulls: mechanical and transport properties of hybrid films. **Cellulose**, v. 22, n. 6, p. 3919–3928, 2015.
- FLOCK, C.; BASSI, A.; GIJZEN, M. Removal of aqueous phenol and 2-chlorophenol with purified soybean peroxidase and raw soybean hulls. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 74, n. 4, p. 303–309, 1999.
- FURLAN, F. L. et al. Use of agricultural and agroindustrial residues as alternative adsorbents of manganese and iron in aqueous solution. **Revista Ambiente e Agua**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.
- GAO, J. et al. Binary biosorption of Acid Red 14 and Reactive Red 15 onto acid treated okara : Simultaneous spectrophotometric determination of two dyes using partial least squares regression. **Chemical Engineering Journal**, v. 171, n. 3, p. 967–975, 2011.
- GRIZOTTO, R. K. Okara na Alimentação Humana. **Pesquisa e Tecnologia**, v. 11, n. 1, 2014.
- GRUPO DE TRABALHO DA SOCIEDADE CIVIL. Relatório Luz Da Agenda 2030. p. 84, 2018.

GUIMARÃES, R. M. et al. Okara : A soybean by-product as an alternative to enrich vegetable paste. **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, n. November 2017, p. 593–599, 2018.

GUNSTONE, F. D. **Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses, Second Edition**. [s.l.] Blackwell Publishing, 2012.

HADLEY, C. **Uses of Methane Natural Gas**. Disponível em: <<https://sciencing.com/uses-methane-natural-gas-6134860.html>>.

HARBORNE, J. B.; WILLIAMS, C. A. Review Advances in Flavonoid research since 1992. **Phytochemistry**, v. 55, p. 481–504, 2000.

HATTORI, T. et al. Antioxidative effect of crude antioxidant preparation from soybean fermented by bacillus natto. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 135–138, 1995a.

HATTORI, T. et al. Beneficial effect of crude antioxidant preparation from fermented soybean food on xanthine oxidase-hypoxanthine-induced foot-edema in rats. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 2, p. 169–173, 1995b.

HAYASHI, S. et al. Utilisation of Soybean Residue for the Production of beta-fructofuranisade. **Bioresource Technology**, v. 41, p. 231–233, 1992.

HIGDON, J. et al. **Soy Isoflavones - Linus Pauling Institute - Oregon State University**. Disponível em: <<https://lpi.oregonstate.edu/mic/dietary-factors/phytochemicals/soy-isoflavones>>.

HSIEH, C.; YANG, F. C. Reusing soy residue for the solid-state fermentation of *Ganoderma lucidum*. **Bioresource Technology**, v. 91, n. 1, p. 105–109, 2004.

HYDROGEN EUROPE. **Hydrogen in industry**.

IBGE, I. B. DE G. E E. Indicadores IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. p. 92, 2019.

IMEA. Workshop Jornalismo Agropecuário. **IMEA**, 2015.

IPES FOOD. **Too big to feed**International Panel of experts on sustainable food systems.

[s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ipes-food.org/reports/>>.

JIN, X. et al. Ganoderma lucidum (Reishi mushroom) for cancer treatment. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 2016, n. 4, 2016.

JULIA, B. M. et al. Potential use of soybean hulls and waste paper as supports in SSF for cellulase production by *Aspergillus niger*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 6, p. 1–8, 2016.

KHARE, S. K.; JHA, K.; GANDHI, A. P. Citric acid production from Okara (soy-residue) by solid-state fermentation. **Bioresource Technology**, v. 54, n. 3, p. 323–325, 1995.

KRISHNA, B. S. et al. Industrial production of lactic acid and its applications. **International Journal of Biotech Research**, v. 1, n. 1, p. 42–54, 2018.

KUMAR, V. et al. Quality and storability of chicken nuggets formulated with green banana and soybean hulls flours. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 6, p. 1058–1068, 2013.

LEMONS, M. L. F. et al. Agregação de Valor na Cadeia da Soja. **Agroindústria BNDES Setorial**, v. 46, p. 167–217, 2017.

LI, C.; CHAMPAGNE, P. **Enzymatic hydrolysis of cellulose from various waste sources**. [s.l: s.n.].

LI, J. et al. Biosorption of Pb²⁺ with modified soybean hulls as absorbent. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 19, n. 2, p. 334–339, 2011.

LIU, J. et al. A simple preparation method of crystals of soybean hull peroxidase. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 74, n. 1, p. 249–255, 2007.

MA, C. Y. et al. Isolation and characterization of proteins from soymilk residue (okara). **Food Research International**, v. 29, n. 8, p. 799–805, 1996.

MANDARINO, J. M. G.; ROESSING, A. C. Tecnologia para Produção de Óleo de Soja: Descrição das Etapas, Equipamentos, Produtos e Subprodutos. **Embrapa Soja -**

Documentos 171, p. 43, 2015.

MARSHALL, W. E. et al. Enhanced metal adsorption by soybean hulls modified with citric acid. **Bioresource Technology**, v. 69, n. 3, p. 263–268, 1999.

MARTINS, E. H. **Aproveitamento Do Resíduo Do Processamento Da Soja Para Produção De Painéis Aglomerados**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 2015.

MERCI, A. et al. Properties of microcrystalline cellulose extracted from soybean hulls by reactive extrusion. **Food Research International**, v. 73, p. 38–43, 2015.

MIZUKAWA, V. **Análise Setorial Para a Agroindústria da Soja No Brasil**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2008.

MÓDENES, A. N. et al. Inhibitory effect on the uptake and diffusion of Cd²⁺ onto soybean hull sorbent in Cd-Pb binary sorption systems. **Journal of Environmental Management**, v. 154, p. 22–32, 2015.

MUROYAMA, K.; ATSUMI, R.; ANDOH, A. Effect of Pretreatment on Lactic Acid Fermentation of Bean Curd Refuse with Simultaneous Saccharification. **Studies in Surface Science and Catalysis**, v. 159, p. 133–136, 2006.

MUROYAMA, K.; MOCHIZUKI, T.; WAKAMURA, T. Methane fermentation of bean curd refuse. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 91, n. 2, p. 208–212, 2001.

NOIKE, T. et al. Inhibition of hydrogen fermentation of organic wastes by lactic acid bacteria. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 27, p. 1367–1371, 2002.

OHNO, A.; ANO, T.; SHODA, M. Use of Soybean Curd Residue, Okara, for the Solid State Substrate in the Production of a Lipopeptide Antibiotic, Iturin A, by *Bacillus subtilis* NB22. **Process Biochemistry**, v. 31, n. 8, p. 801–806, 1996.

OHYAMA, T. et al. **Amino Acid Metabolism and Transport in Soybean Plants**. [s.l.] IntechOpen, 2017.

OLIVEIRA, T. J. P.; CARDOSO, C. R.; ATAÍDE, C. H. Fast pyrolysis of soybean hulls: Analysis of bio-oil produced in a fluidized bed reactor and of vapor obtained in analytical

pyrolysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 120, n. 1, p. 427–438, 2015.

ONU. **Agenda 2030 ONU Brasil ONUBR Nações Unidas no Brasil**, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>

PARK, J.; CHOI, I.; KIM, Y. Cookies formulated from fresh okara using starch, soy flour and hydroxypropyl methylcellulose have high quality and nutritional value. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 660–666, 2015.

PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K. Frutooligossacarídeos : implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 33, n. 2, p. 385–390, 2003.

PHAE, C. G. et al. Biological Control of Crown and Root Rot and Bacterial Wilt of Tomato by *Bacillus subtilis* NB22. **Japanese Journal of Phytopathology**, v. 58, n. 3, p. 329–339, 1992.

QUITAIN, A. T. et al. Recovery of oil components of okara by ethanol-modified supercritical carbon dioxide extraction. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 13, p. 1509–1514, 2006.

RIBEIRO, V. D. E. A. **APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO EXTRATO DE SOJA NA ELABORAÇÃO DE UM PRODUTO TIPO PAÇOCA**. [s.l: s.n.].

RIZZUTI, A. M.; ELLIS, F. L.; COSME, L. W. Biosorption of mercury from dilute aqueous solutions using soybean hulls and rice hulls. **Waste and Biomass Valorization**, v. 6, n. 4, p. 561–568, 2015.

RIZZUTI, A. M.; LANCASTER, D. J. Utilizing soybean hulls and rice hulls to remove textile dyes from contaminated water. **Waste and Biomass Valorization**, v. 4, n. 3, p. 647–653, 2013.

ROJAS, M. J. et al. Sequential proteolysis and cellulolytic hydrolysis of soybean hulls for oligopeptides and ethanol production. **Industrial Crops and Products**, v. 61, p. 202–210, 2014.

SANTOMAURO, A. C. **Resinas suprem avanços do mercado - Fabricantes de compostos PVC**. Disponível em: <<https://www.plastico.com.br/resinas-suprem-avancos-do->

mercado-fabricantes-de-compostos-pvc/>.

SEGALLA, A. **Brasil será maior produtor de biodiesel do mundo**. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2019/01/23/internas_economia,1023631/brasil-sera-maior-produtor-de-biodiesel-do-mundo.shtml>.

SHI, M. et al. Bioactivity of the crude polysaccharides from fermented soybean curd residue by *Flammulina velutipes*. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, n. 4, p. 1268–1276, 2012.

SHU, H. H. et al. Antihyperlipidemic and antioxidant effects of extracts from *Pleurotus citrinopileatus*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 6, p. 2103–2110, 2006.

SINDHU, R. et al. Conversion of food and kitchen waste to value-added products. **Journal of Environmental Management**, v. 241, n. August 2018, p. 619–630, 2019.

SIRÓ, I.; PLACKETT, D. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: A review. **Cellulose**, v. 17, n. 3, p. 459–494, 2010.

SØRENSEN, L. M. et al. Flavour compound production by *Yarrowia lipolytica*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Debaryomyces hansenii* in a cheese-surface model. **International Dairy Journal**, v. 21, n. 12, p. 970–978, 2011.

SOUZA, A. DE M. et al. Alimentos mais consumidos no Brasil: Inquérito Nacional de Alimentação 2008-2009. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. suppl 1, p. 190s-199s, 2013.

TANG, Y. et al. Co-pyrolysis characteristics and kinetic analysis of organic food waste and plastic. **Bioresource Technology**, v. 249, n. September 2017, p. 16–23, 2018.

THE WORLD BANK. **Solid Waste Management**. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>>.

TOOLE, D. K. O.; KONG, H. **Soybean | Soymilk, Tofu, and Okara**. 2. ed. [s.l.] Elsevier Ltd., 2016. v. 3

UBERL, U. F. D. E. et al. Parâmetros de qualidade na clarificação da lecitina de soja. 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL

SERVICE (USDA). **World Agricultural Supply and Demand EstimatesUsda**. [s.l: s.n.].

Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL

SERVICE (USDA). **World Agricultural Supply and Demand EstimatesUsda**. [s.l: s.n.].

Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL

SERVICE (USDA). **World Agricultural Supply and Demand Estimates (September**

12th). [s.l: s.n.]. Disponível em:

<<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0819.pdf>>.

VONG, W. C.; AU YANG, K. L. C.; LIU, S. Q. Okara (soybean residue) biotransformation by yeast *Yarrowia lipolytica*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 235, p. 1–9, 2016.

VONG, W. C.; HUA, X. Y.; LIU, S. Q. Solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus* and *Yarrowia lipolytica* improved nutritional and flavour properties of okara. **LWT - Food Science and Technology**, v. 90, n. December 2017, p. 316–322, 2018.

VONG, W. C.; LIU, S. Q. Biovalorisation of okara (soybean residue) for food and nutrition. **Trends in Food Science and Technology**, v. 52, p. 139–147, 2016.

WACHTEL-GALOR, S.; TOMLINSON, B.; BENZIE, I. F. F. *Ganoderma lucidum* ('Lingzhi'), a Chinese medicinal mushroom: biomarker responses in a controlled human supplementation study. **British Journal of Nutrition**, v. 91, n. 2, p. 263–269, 2004.

WANG, R. et al. The enhanced electrocatalytic activity of okara-derived N-doped mesoporous carbon for oxygen reduction reaction. **Journal of Power Sources**, v. 274, p. 741–747, 2015.

WONG, J. W. C. et al. Co-composting of soybean residues and leaves in Hong Kong. **Bioresource Technology**, v. 76, n. 2, p. 99–106, 2000.

WONGTSCHOWSKI, P. **Indústria química – Riscos e oportunidades**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

- WWF. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico**. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>.
- XIU, S.; SHAHBAZI, A. Bio-oil production and upgrading research: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 7, p. 4406–4414, 2012.
- YANG, J.; XIAO, A.; WANG, C. Novel development and characterisation of dietary fibre from yellow soybean hulls. **Food Chemistry**, v. 161, p. 367–375, 2014.
- YUN, J. W. Fructooligosaccharides-Occurrence, preparation, and application. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 0229, n. 95, p. 107–117, 1996.
- ZAND, R. S. R.; JENKINS, D. J. A.; DIAMANDIS, E. P. Flavonoids and steroid hormone-dependent cancers. **Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences**, v. 777, n. 1–2, p. 219–232, 2002.
- ZHANG, J.; HU, B. Solid-state fermentation of *Mortierella isabellina* for lipid production from soybean hull. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 166, n. 4, p. 1034–1046, 2012.
- ZHOU, Y. et al. Influence of substrate-to-inoculum ratio on the batch anaerobic digestion of bean curd refuse-okara under mesophilic conditions. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 3251–3256, 2011.
- ZHU, Y. P. et al. Improvement of the antioxidant activity of Chinese traditional fermented okara (Meitauza) using *Bacillus subtilis* B2. **Food Control**, v. 19, n. 7, p. 654–661, 2008.

ANEXOS

Produto/Aplicação	Autor	Resíduo	Destino
-------------------	-------	---------	---------

Iturin A	<i>OHNO; ANO; SHODA, 1996</i> <i>PHAE et al., 1992</i>	Okara	Agroindústria
Isoflavonas: Genisteína e daidzeína	<i>QUINTAIN et al., 2006</i>	Okara	Indústria de cosméticos
Antioxidantes	<i>HATTORI et al., 1995a</i> <i>HATTORI et al., 1995b</i>	Okara	Industria farmacêutica
Polissacarídeos	<i>CUI et al., 2006</i> <i>SHI et al., 2012</i> <i>SHU et al., 2006</i>	Okara	Industria farmacêutica
Paçoca	<i>Ribeiro, 2006</i>	Okara	Indústria de alimentos
Cookies	<i>PARK; CHOI; KIM, 2015</i>	Okara	Indústria de alimentos
Patê	<i>GUIMARÃES et al., 2018</i>	Okara	Indústria de alimentos
Proteína de soja	<i>MA et al., 1996</i>	Okara	Indústria de alimentos
Alimentos fermentados de tradição chinesa	<i>ZHU et al., 2008</i>	Okara	Indústria de alimentos
Fungo ganoderma lucidum	<i>HSIEH; YANG, 2004</i> <i>JIN et al., 2016</i> <i>WACHTEL-GALOR; TOMLINSON;</i> <i>BENZIE, 2004</i>	Okara	Indústria de alimentos
Queijos modificados com o fungo <i>Yarrowia</i> <i>lipolytica</i>	<i>VONG; AU YANG; LIU, 2016</i> <i>SØRENSEN et al., 2011</i>	Okara	Indústria de alimentos
Okara nutricionalmente melhorado	<i>VONG; HUA; LIU, 2018</i>	Okara	Indústria de alimentos
Beta- Fructofuranosidase	<i>Higashi et al., 1992</i>	Okara	Indústria de alimentos
Sequestrante de metais pesados	<i>GAO et al., 2011</i>	Okara	Indústria de tratamento de efluentes

Produto/Aplicação

Autor

Resíduo

Destino

Catalisador para a reação de redução do oxigênio	<i>WANG et al., 2015</i>	Okara	Indústria química
Ácido Cítrico	<i>KHARE; JHA; GANDHI, 1995</i> <i>CIRIMINNA et al., 2017</i>	Okara	Indústria no geral
Metano	<i>MUROYAMA; MOCHIZUKI; WAKAMURA, 2001</i>	Okara	Indústria no geral
Metano	<i>ZHOU et al., 2011</i> <i>HADLEY, 2018</i>	Okara	Indústria no geral
Hidrogênio	<i>NOIKE et al., 2002</i> <i>HYDROGEN EUROPE, 2017</i>	Okara	Indústria no geral
Ácido Lático	<i>MUROYAMA; ATSUMI; ANDOH, 2006</i> <i>KRISHNA et al., 2018</i>	Okara	Indústria no geral
Compostos fenólicos	<i>CHUNG et al., 2011</i> <i>HARBORNE; WILLIAMS, 2000</i> <i>HARBORNE; WILLIAMS, 2000;</i> <i>ZAND; JENKINS; DIAMANDIS, 2002</i>	Okara	Indústria no geral
Biossurfactantes	<i>BUGAY, 2009</i>	Okara	Indústria no geral

Produto/Aplicação	Autor	Resíduo	Destino
--------------------------	--------------	----------------	----------------

Adubo Orgânico	<i>WONG et al., 2000</i>	Farelo de soja	Agroindústria
Bioetanol	<i>LI; CHAMPAGNE, 2005</i> <i>CHAMPAGNE, 2007</i> <i>CONTRERAS et al., 2019</i>	Farelo de soja	Indústria de Biocombustíveis
Bioetanol	<i>ROJAS et al., 2014</i> <i>CASSALES et al., 2011</i>	Farelo de soja	Indústria de Biocombustíveis
Biodiesel	<i>ZHANG; HU, 2012</i>	Farelo de soja	Indústria de Biocombustíveis
Farinha de soja nutricionalmente melhorada	<i>YANG; XIAO; WANG, 2014</i>	Farelo de soja	Indústria de alimentos
Nuggets de Frango	<i>KUMAR et al., 2013</i>	Farelo de soja	Indústria de alimentos
Pirólise de PVC	<i>TANG et al., 2018</i>	Farelo de soja	Indústria de tratamento de efluentes
Remoção de Cd ²⁺	<i>MÓDENES et al., 2015</i>	Farelo de soja	Indústria de tratamento de efluentes
Remoção de Pb ²⁺	<i>LI et al., 2011</i>	Farelo de soja	Indústria de tratamento de efluentes
Remoção de Hg ²⁺	<i>RIZZUTI; ELLIS; COSME, 2015</i>	Farelo de soja	Indústria de tratamento de efluentes
Remoção de Cu ²⁺	<i>MARSHALL et al., 1999</i>	Farelo de soja	Indústria de tratamento de efluentes
Remoção de corantes Industriais	<i>RIZZUTI; LANCASTER, 2013</i>	Farelo de soja	Indústria de tratamento de efluentes
Remoção de Fe e Mn	<i>FURLAN et al., 2014</i>	Farelo de soja	Indústria de tratamento de efluentes
Microcristais de celulose	<i>ASHORI; NOURBAKSH, 2010</i> <i>MERCI et al., 2015</i> <i>SIRÓ; PLACKETT, 2010</i>	Farelo de soja	Indústria de polímeros
Microcristais de celulose	<i>FERRER; SALAS; ROJAS, 2015</i>	Farelo de soja	Indústria de polímeros
Produto/Aplicação	Autor	Resíduo	Destino

Painéis Aglomerados	<i>MARTINS, 2015</i>	Farelo de soja	Indústria da construção civil
Asfalto reciclado	<i>ANTUNES; FREIRE; NEVES, 2019 ELKASHEF; WILLIAMS, 2017</i>	Farelo de soja	Indústria da construção civil
Celulase	<i>JULIA et al., 2016 SINDHU et al., 2019</i>	Farelo de soja	Indústria no geral
Peroxidase	<i>CHAGAS et al., 2015</i>	Farelo de soja	Indústria no geral
Peroxidase	<i>LIU et al., 2007 FLOCK; BASSI; GIJZEN, 1999 CRUZ-SILVA et al., 2005</i>	Farelo de soja	Indústria no geral
bio-oil	<i>OLIVEIRA; CARDOSO; ATAÍDE, 2015 XIU; SHAHBAZI, 2012</i>	Farelo de soja	Indústria no geral
