



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA



***Roadmap* Tecnológico: Etanol de Batata-Doce**

Autor: Jhonatan Steffen Gülden

Orientador: Luciane Ferreira Trierweiler

Co-orientador: Caroline Trevisan Weber

Porto Alegre, 28 de junho de 2019

Sumário

Sumário	ii
Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Lista de Figuras	v
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica	2
2.1 Batata-doce	2
2.2 Biorrefinarias	3
2.3 Bioetanol	4
2.4 Processo de Obtenção de Etanol a Partir da Batata-doce	5
3 Metodologia da Prospecção Tecnológica e da Elaboração do <i>Roadmap</i> Tecnológico	8
3.1 Estratégias de Busca	8
3.2 Definição das Taxonomias	9
3.2.1 Nível Macro	9
3.2.2 Nível Meso	9
3.2.2.1 Processo Produtivo	9
3.2.2.2 Variedades da Batata-doce	9
3.2.2.3 Impactos Ambientais do Ciclo Produtivo	9
3.2.2.4 Avaliação Econômica do Ciclo Produtivo	9
3.2.2.5 Coprodutos	9
3.2.3 Nível Micro	10
4 Resultados e Discussões da Fase de Prospecção <i>Roadmap</i>	11
4.1 Análise Macro	11
4.1.1 Análise temporal sobre a série histórica dos documentos	11
4.1.2 Análise da distribuição das pesquisas por países	12
4.1.3 Parcerias/Autoria	12
4.2 Análise Meso	13
4.3 Análise Micro	15
4.3.1 Processo Produtivo	16
4.3.2 Avaliação Energética	19
4.3.3 Processo Produtivo e Análise Econômica	20
4.3.4 Variedades de Batata-doce	20
4.3.5 Impactos Ambientais do Ciclo Produtivo	21
4.3.6 Avaliação Econômica e de Impactos Ambientais do Ciclo	22
4.3.7 Avaliação Econômica do Ciclo Produtivo	22
4.3.8 Coprodutos	22
4.4 Conclusões Sobre a Fase da Prospecção Tecnológica	23
5 <i>Roadmap</i>	24
5.1 Análise do <i>Roadmap</i>	27
6 Conclusões e Trabalhos Futuros	29
7 Referências	30

Agradecimentos

Aos meus pais por não medirem esforços para proporcionar o melhor para mim, pela dedicação e apoio desde sempre, além de todo o amor e carinho.

Aos meus irmãos pela paciência e apoio.

À doutoranda Caroline Weber pelo apoio à realização do trabalho.

À minha orientadora Dra. Luciane Ferreira Trierweiler pela proposição do tema e pelo auxílio durante a realização deste trabalho.

Aos professores do departamento de Engenharia Química da UFRGS por não medirem esforços para proporcionar uma educação de qualidade a seus alunos.

Resumo

A sociedade atual é muito dependente de energia, e esta dependência tende a aumentar principalmente pelo acesso a melhores condições de qualidade de vida por grande parte da população de países em desenvolvimento e pela disseminação de novas tecnologias em países desenvolvidos. Mais de 80 % de toda energia produzida no mundo é proveniente de combustíveis fósseis, o que levante questionamentos quanto aos impactos ambientais causados por estas fontes e quanto a soberania energética, uma vez que estas fontes se apresentam concentradas em alguns países. Neste contexto, os biocombustíveis aparecem como uma alternativa às fontes fósseis. O tema do presente trabalho é a utilização de batata-doce para a produção de bioetanol visando diminuir a utilização de combustíveis fósseis. O principal objetivo deste trabalho é a construção de um documento capaz de analisar de maneira sistêmica o estágio de desenvolvimento da tecnologia de produção de etanol a partir de batata-doce, compilando informações técnicas e mercadológicas e analisando-as sob a perspectiva de identificar as principais tendências de pesquisa e investimento acerca do tema. O trabalho desenvolve a análise a partir da construção de um *roadmap* tecnológico, que se trata de uma importante ferramenta de prospecção tecnológica capaz de identificar tendências e apontá-las sob a forma de um mapa. A metodologia consiste de três etapas. A primeira é a etapa pré-prospectiva, que consiste no estudo e entendimento do tema e definição das taxonomias a serem identificadas nos documentos analisados. As taxonomias propostas são: Processo Produtivo, Avaliação Energética, Variedades da Batata-Doce, Análise de Impactos Ambientais e Análise Econômica. A segunda etapa é a etapa prospectiva, que consiste na pesquisa dos documentos e estudo dos mesmos. A terceira e última etapa consiste na análise e disposição das informações coletadas nos documentos para a construção do *roadmap*. O *roadmap* final proposto reúne as informações referentes aos autores, o país de origem e o tema abordado por cada um dos documentos analisados dispondo-os em um eixo temporal. A análise do *roadmap* permitiu a identificação do estágio atual de desenvolvimento, que está ainda em estágio inicial, observando-se uma concentração de esforços para o desenvolvimento de novas tecnologias e otimização das existentes visando aumentar a eficiência do processo produtivo. Além disso, constatou-se que a China se destaca com o maior número de pesquisas científicas sobre o tema, além de ser o país de origem de todos os documentos de patentes encontrados na etapa prospectiva.

Lista de Figuras

Figura 2.1: Produção de batata-doce no Brasil por estado. Fonte: IBGE (2017).	2
Figura 2.2: Produção de batata-doce no Brasil por região. Fonte: IBGE (2017).	3
Figura 2.3: Produção Mundial de Bioetanol por País em 2014. Fonte: Fao and Oecd (2015)	4
Figura 2.4: Projeção da Produção de Bioetanol por País em 2024. Fonte: Fao and Oecd (2015).....	5
Figura 2.5: Etanol de Batata Doce: Produção Simplificada. Fonte: elaboração própria.....	6
Figura 2.6: Estruturas da (A) Amilose e da (B) Amilopectina. Fonte: (Collares, 2011)	6
Figura 4.1: Análise Macro – Análise temporal de artigos científicos. Fonte: elaboração própria. Base: Scopus – período analisado entre 2007 a 2018.....	11
Figura 4.2: Análise Macro – Análise temporal de patentes. Fonte: elaboração própria. Base: Espacenet – período analisado entre 2007 a 2018.	11
Figura 4.3: Análise Macro – Análise de países de origem dos artigos científicos. Fonte: elaboração própria. Base: Scopus – período analisado entre 2007 a 2018.....	12
Figura 4.4: Análise Macro – Análise do tipo de Titular dos artigos científicos. Fonte: elaboração própria. Base: Scopus – período analisado entre 2007 a 2018.....	13
Figura 4.5: Análise Macro – Análise do tipo de Titular das patentes. Fonte: elaboração própria. Base: Espacenet – período analisado entre 2007 a 2018.....	13
Figura 4.6: Análise Meso – Análise das Taxonomias abordadas nos artigos científicos. Fonte: elaboração própria. Base: Scopus – período analisado entre 2007 a 2018.	14
Figura 4.7: Análise Meso – Análise das Taxonomias abordadas nos documentos de patentes. Fonte: elaboração própria. Base: Espacenet – período analisado entre 2007 a 2018.	15
Figura 5.2: Distribuição temporal das taxonomias abordadas. Fonte: Elaboração própria.	28

1 Introdução

A crescente preocupação quanto  segurança e soberania energética dos países, bem como o iminente decréscimo da disponibilidade de combustíveis fósseis e a intensificação dos efeitos nocivos resultantes das mudanças climáticas, vêm motivando pesquisadores, empresas e governos a encontrar fontes alternativas de energia. Estas “novas” fontes têm em comum o fato de serem renováveis, terem elevada disponibilidade e serem menos nocivas ao meio ambiente do que as fontes fósseis. Neste contexto o bioetanol aparece como uma alternativa devido a variabilidade de matérias prima capazes de fornecer este combustível e pela diminuição do impacto ambiental deste quando comparado às fontes fósseis.

A primeira utilização de etanol em um motor de combustão interna se deu em 1826, sendo Samuel Morey responsável pelo feito. Desde então a utilização de etanol como combustível enfrentou altos e baixos, que, na maioria das vezes, esteve fortemente relacionada à variação dos valores do petróleo. Não diferente em 1973, o etanol recebeu maior atenção, quando, devido a um embargo comercial promovido pela Liga dos Países rabes, fez com que o preço do petróleo atingisse patamares recordes. A partir de então, a busca por alternativas ao petróleo se intensificou. Preocupações com a soberania energética dos países e o aumento das preocupações com as mudanças climáticas, já citados, foram outros fatores que determinaram os altos investimentos observados até hoje no desenvolvimento de novas tecnologias para obtenção de etanol.

No presente trabalho é apresentada uma visão sistmica sobre o estágio de desenvolvimento do bioetanol proveniente de batata-doce. Para tanto, se utiliza a ferramenta *Roadmap Tecnológico* que, ao conectar mercado, produto e tecnologia em relação ao tempo, permite identificar, avaliar e selecionar alternativas tecnológicas que podem ser usadas para responder aos problemas do presente e do futuro (Coutinho and Bomtempo, 2011).

O objetivo deste trabalho é fornecer a pesquisadores, empresas, governos e investidores uma visão estratégica acerca do estágio de desenvolvimento atual do bioetanol de batata-doce. O desenvolvimento se dá pela identificação dos principais campos de estudo, investimentos e atores responsáveis pelos principais estudos acerca do tema nos últimos anos, além do apontamento das principais barreiras que devem ser superadas para que a produção de etanol utilizando batata-doce como matéria-prima se torne competitiva.

2 Revisão Bibliográfica

O presente capítulo tem o objetivo de introduzir os principais conceitos a respeito da batata-doce, das biorrefinarias, do bioetanol e do processo de produção de etanol a partir da batata-doce.

2.1 Batata-doce

A batata-doce se apresenta como a sétima mais importante cultura alimentar do mundo, em grande parte devido à versatilidade, adaptabilidade e resistência dessa cultura, que torna seu cultivo possível em situações climáticas e de solo adversas (*Yam - Crop Trust, 2019*). Além de constituir alimento humano de bom conteúdo nutricional, principalmente como fonte de energia, a cultura da batata-doce tem grande importância na alimentação animal e na produção industrial de farinha, amido e álcool.

Mais de 130 milhões de toneladas são produzidas por ano, sendo 95 % da produção anual proveniente de países em desenvolvimento, dos quais se destaca a China, responsável por 80 % da produção mundial (*Yam - Crop Trust, 2019*).

No Brasil, segundo dados do IBGE, no ano de 2017 foram produzidas 780 mil toneladas de batata-doce. Na Figura 2.1 observa-se a predominância da produção no estado do Rio Grande do Sul, que sozinho contabiliza 24 % da produção nacional. Entre as regiões, observa-se na Figura 2.2 que as Regiões Sul, Sudeste e Nordeste se destacam, sendo responsáveis por quase 96 % da produção nacional.

A produção de batata doce apresenta uma elevada taxa de desperdício devido a não conformidade das raízes com as especificações do mercado consumidor. Devido a relevância desta parcela de raízes não conformes, o Grupo de Intensificação, Modelagem, Simulação, Controle e Otimização de Processos, GIMSCOP realizou diversos estudos que propõe a utilização desta parcela para geração de bioetanol. O presente trabalho se insere neste contexto.

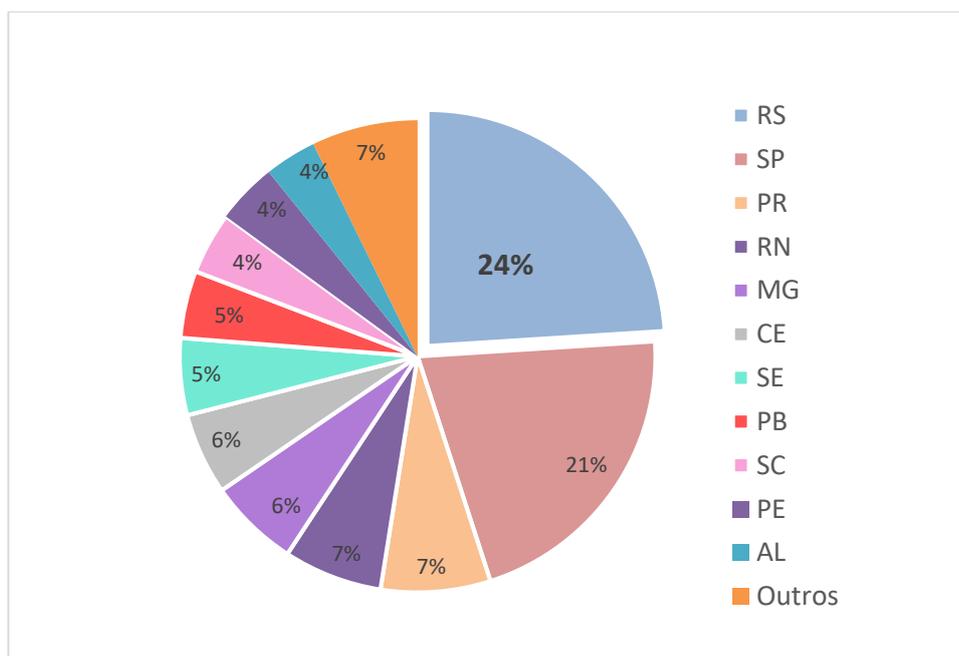


Figura 2.1: Produção de batata-doce no Brasil por estado.
Fonte: IBGE (2017).

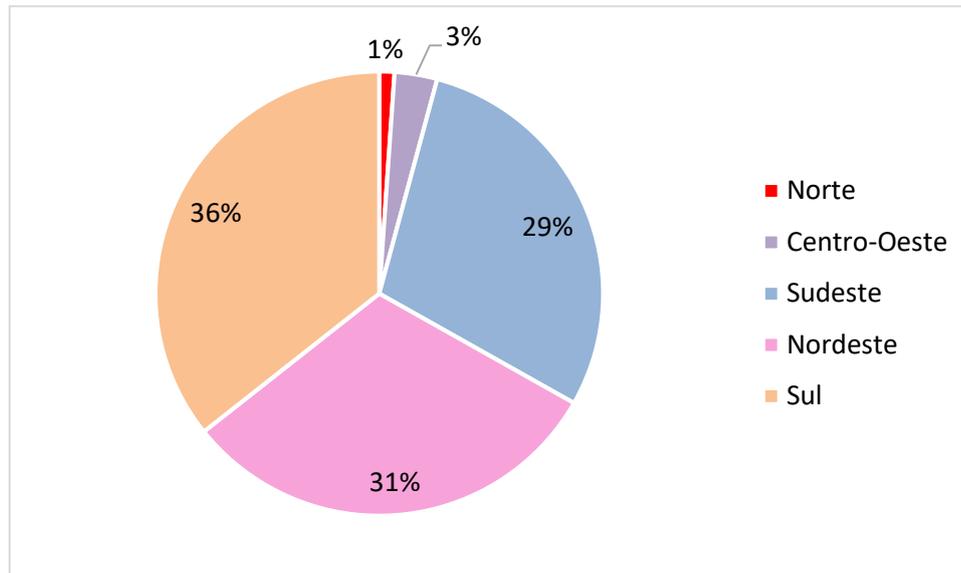


Figura 2.2: Produção de batata-doce no Brasil por região.

Fonte: IBGE (2017).

2.2 Biorrefinarias

O conceito de biorrefinaria engloba uma grande variedade de tecnologias capazes de separar fontes de biomassa (madeira, palhas, cascas...) em seus constituintes primários (carboidratos, proteínas, gorduras...) que podem ser convertidos em produtos de maior valor agregado, biocombustíveis e químicos. Este conceito é análogo ao conceito de refinarias de petróleo, que produzem diversos combustíveis e produtos a partir do petróleo (Cherubini, 2010). A *International Energy Agency* (IEA) define o termo *biorrefinar*: “Biorrefinar é o ato de processar sustentavelmente biomassa em uma variedade de produtos de interesse comercial (alimentos, químicos, combustíveis, minerais, CO₂) e bioenergia (combustíveis, energia, calor)” (Jong, 2009).

A produção eficiente de biocombustíveis é vista como um dos principais fatores que irão incentivar o desenvolvimento de biorrefinarias no futuro (Commission, 2006). O setor de transportes vem crescendo ano a ano ao redor do mundo, chamando atenção a taxa de crescimento em países em desenvolvimento como China e Índia. As crescentes preocupações acerca da poluição e da garantia de segurança energética permitem projetar que a demanda por biocombustíveis deve crescer acima dessas taxas. Dito isso, observa-se que os maiores desafios para o desenvolvimento das biorrefinarias são o aumento da eficiência e a redução de custos na produção dos biocombustíveis, sendo a coprodução de biomaterias e bioquímicos uma alternativa que pode contribuir para a redução de custos (Cherubini, 2010).

Espera-se que, no futuro, as indústrias de biorrefino desenvolvam complexos industriais descentralizados capazes de revitalizar as áreas rurais. Diferentemente de uma refinaria de petróleo, que invariavelmente opera em grande escala, as biorrefinarias provavelmente abrangerão toda uma gama de instalações de diferentes tamanhos. Neste contexto, muitas bioindústrias poderão combinar os seus fluxos de material visando à completa utilização de todos os componentes da biomassa: os resíduos de uma bioindústria (ex.: lignina de uma planta de produção de etanol a partir de lignocelulose) podem se tornar matéria-prima para outras indústrias, fomentando o sistema de

integração entre as mesmas. Aliado a isso, fontes de biomassa estão disponíveis em muitos países e seu uso pode contribuir para a independência da importação de combustíveis fósseis destes países (Cherubini, 2010).

2.3 Bioetanol

O bioetanol é uma alternativa aos combustíveis fósseis, sendo majoritariamente produzido pela fermentação de diferentes matérias primas. É um combustível de elevada octanagem, utilizado principalmente no setor de transportes, seja misturado diretamente à gasolina ou como agente de aumento de octanagem (etil butil éter (ETBE), formado por 45% de bioetanol e 55% de isobutileno em volume).

O uso de etanol como combustível automotivo vem de longa data. Os primeiros protótipos de motores de combustão interna construídos em 1826 por Samuel Morey e em 1876 por Nicholas Otto já eram compatíveis com a utilização de etanol como combustível (Mussatto *et al.*, 2010). O primeiro carro produzido por Henry Ford em 1986 era compatível com etanol, e o Ford Model-T de 1908, primeiro carro produzido em série, também era compatível com etanol, gasolina e misturas destes.

O bioetanol se consolidou como o biocombustível mais produzido no mundo, e seu mercado continua crescendo ano-a-ano. Dados de (Fao and Oecd, 2015) apontam uma produção anual, em 2014, de 108 bilhões de litros de bioetanol, com projeção de atingir a marca de 135 bilhões de litros em 2024. Grande parte desse crescimento, projeta-se que venha do mercado brasileiro, que deve atingir a marca de 42 bilhões de litros em 2024, aumentando a sua participação global de 25% para 32%, conforme pode-se observar nas Figuras 2.3 e 2.4.

Enquanto no Brasil a principal matéria prima utilizada para geração de bioetanol é a cana-de-açúcar, no restante do mundo as fontes amiláceas se destacam. O milho é a matéria prima responsável por 95 % da produção nos Estados Unidos (*Alternative Fuels Data Center*, 2014) e cerca de 50 % da produção na China, que também produz bioetanol a partir de mandioca (Gu, Patton and Corporation, 2019).

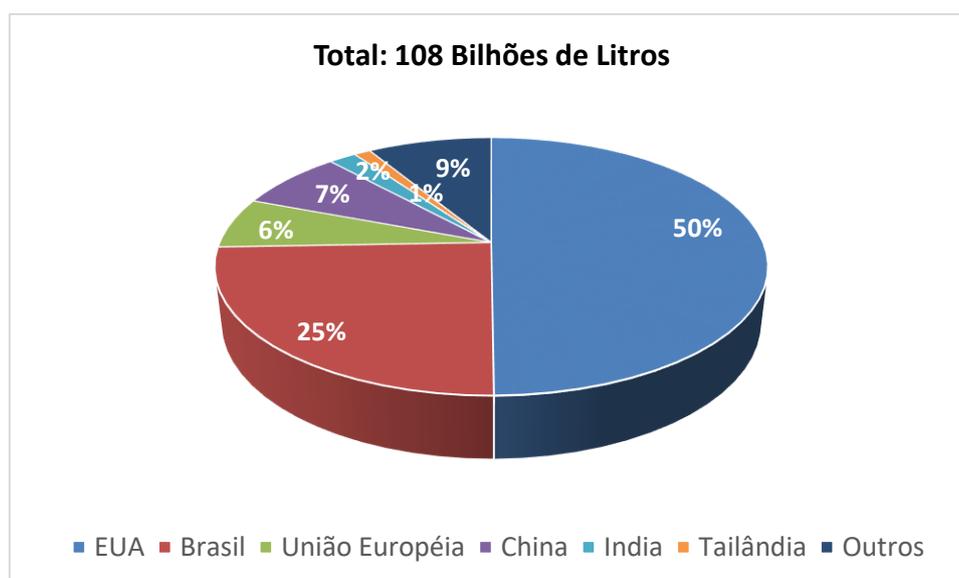


Figura 2.3: Produção Mundial de Bioetanol por País em 2014.

Fonte: Fao and Oecd (2015)

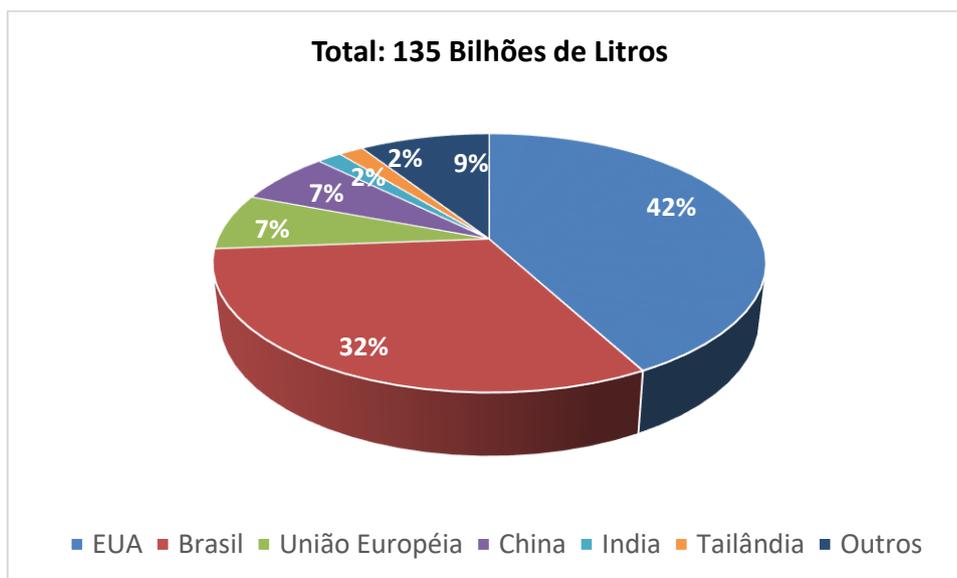


Figura 2.4: Projeção da Produção de Bioetanol por País em 2024.
Fonte: Fao and Oecd (2015)

2.4 Processo de Obtenção de Etanol a Partir da Batata-doce

A produção de etanol pela rota biológica é responsável pela maior parte do etanol produzido no mundo. Cerca de 95 % de todo etanol produzido é proveniente de produtos agrícolas. A produção de etanol de cultivares sacaríneos, como cana-de-açúcar, contabilizam 40 % da produção mundial, enquanto quase 60 % provêm de cultivares amiláceos (Mussatto *et al.*, 2010).

Etanol combustível pode ser produzido pela fermentação direta de açúcares simples ou polissacarídeos como amido e celulose que podem ser convertidos em açúcar. Pode-se separar estas fontes em três grandes grupos: (1) açúcares simples: cana-de-açúcar; sorgo sacarino e beterraba; (2) amido: milho; trigo; mandioca e batata-doce; (3) celulose: madeira e resíduos agrícolas/agroindustriais.

O processo básico para obtenção de etanol a partir de batata doce consiste em 6 passos, conforme Figura 2.5: (1) moagem, (2) preparo do mosto, (3) liquefação, (4) sacarificação, (5) fermentação e (6) destilação. O grande desafio em se utilizar fontes amiláceas, como é o caso da batata-doce, objeto de estudo desse trabalho, é o fato de que a levedura responsável pela fermentação alcoólica, *Saccharomyces cerevisiae*, não é capaz de metabolizar o polissacarídeo amido. Deve-se então implementar as etapas predecessoras (3) liquefação e (4) sacarificação para quebrar as ligações glicosídicas que compõe este polissacarídeo, para obter a glicose.

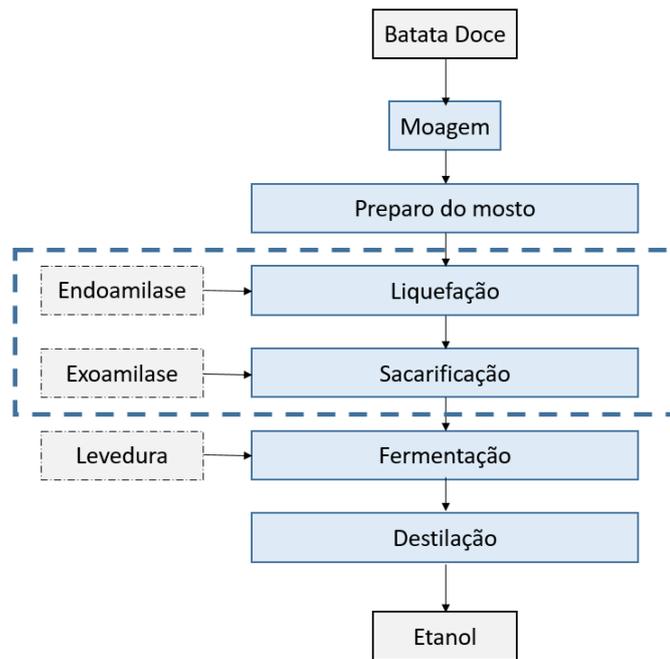


Figura 2.5: Etanol de Batata Doce: Produção Simplificada

Fonte: elaboração própria.

A maior parte do amido de ocorrência natural é composta por dois tipos de polissacarídeos: amilose e amilopectina, cujas estruturas podem ser observadas na Figura 2.6. A quebra do amido pode ser realizada através da hidrólise ácida ou enzimática. A hidrólise ácida tem como vantagem a grande velocidade de sacarificação, porém os problemas relacionados à corrosão dos equipamentos e a necessidade de neutralização da solução após a hidrólise diminuem a utilização desta técnica (Cereda, 2003). A hidrólise enzimática por sua vez, é uma técnica consolidada nos EUA, onde o etanol é produzido a partir do milho.

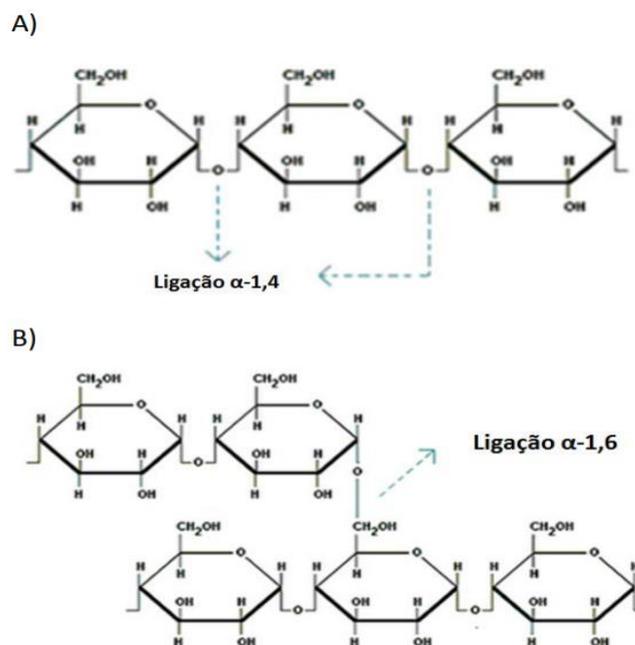


Figura 2.6: Estruturas da (A) Amilose e da (B) Amilopectina.

Fonte: (Collares, 2011)

As enzimas utilizadas são chamadas amilolíticas e podem ser divididas em dois grupos, endoamilases e exoamilases, de acordo com a forma de atuação. As endoamilases atuam no interior do amido de forma randômica, catalisando a hidrólise de ligações α -1,4, gerando oligossacarídeos lineares e ramificados. Já as exoamilases hidrolisam as extremidades das cadeias de amilose e amilopectina agindo tanto sobre as ligações α -1,4 quanto sobre as α -1,6. Dentre as enzimas ditas endoamilases, a mais conhecida é a α -amilase, enquanto entre as exoamilases, a mais comumente empregada é a glucoamilase (Cinelli, 2012).

As enzimas endoamilases e exoamilases apresentam diferentes condições ótimas de pH e temperatura, e por isso, usualmente são adicionadas em etapas distintas. A primeira a ser adicionada  a endoamilase, na etapa de liquefação. Após a liquefação, o pH e a temperatura são ajustados e a exoamilase é adicionada na etapa chamada de sacarificação. Após o processo de sacarificação, ocorre então processo de fermentação dos acres obtidos (Schweinberger, 2016).

Alternativamente, pode-se aplicar o método de Sacarificação Simultânea com a Fermentação (SSF). Neste método, logo após a liquefação, a glucoamilase e a levedura são adicionadas em uma única etapa. A grande vantagem deste método está no fato de que a glicose é liberada na medida em que a levedura consegue metabolizá-la, evitando assim problemas relacionados à elevada concentração de glicose no meio, como elevação da pressão osmótica, que prejudicam o desempenho da levedura (Schweinberger, 2016). Por outro lado, o fato de ocorrerem em uma única etapa torne impossível que se opere nas condições ótimas de pH e temperatura de cada microrganismo.

3 Metodologia da Prospecção Tecnológica e da Elaboração do *Roadmap* Tecnológico

3.1 Estratégias de Busca

A Informação Científica é o conhecimento que constituiu, em certo momento da evolução da ciência, um acréscimo ao entendimento universal então existente sobre algum fato ou fenômeno, tendo-se tornado disponível como resultado de uma pesquisa científica, ou seja, de um trabalho de investigação conduzido segundo o método científico. Pode ser resumida nos diferentes tipos de buscas que podem efetuar-se para obter conhecimento sobre tecnologias disponíveis, serve para orientação em pesquisas, teses e constitui-se em uma excelente base de dados para novos investimentos na indústria.

No que tange às informações científicas e tecnológicas, pode-se destacar o uso de artigos científicos (fonte importante de informações tecnológicas provenientes do meio científico) e o uso de bancos de patentes, como o Espacenet da União Europeia, o USPTO dos Estados Unidos e o INPI do Brasil (Borschiver and Silva, 2016).

Para a construção do *Roadmap* Tecnológico, decidiu-se consultar ambas as fontes, artigos científicos e bancos de patentes, por entender-se que a combinação destas duas fontes permite uma melhor visualização acerca do estágio de desenvolvimento das pesquisas e dos esforços que atualmente estão sendo direcionados para este tema.

Para garantir a efetividade da busca se utilizou da combinação de palavras-chave relevantes, capazes de exprimir tendências e compreender toda a extensão do assunto abordado, aplicadas em bancos de grande disseminação e credibilidade. Ainda, como a intenção é de se obter uma visão no âmbito de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, as pesquisas foram feitas considerando apenas o período de 2007 até 2018.

Para os artigos científicos se utilizou da base *Scopus*. A base *Scopus* pertence à editora Elsevier e é a maior base de dados bibliográficos da literatura revisada por pares, contendo informações técnicas e científicas que fornecem uma visão ampla de tudo que é publicado referente ao tema estudado (SCOPUS, 2018). As palavras-chave buscadas nos campos título do artigo, resumo e palavras chave foram: “sweet”, “potato”, “ethanol” e “energy”.

Do total de 56 documentos encontrados constatou-se, após análise, que 31 têm relevância com o tema da produção de etanol a partir de batata-doce, sendo estes analisados mais profundamente para a construção do *Roadmap* Tecnológico.

Para as patentes, se utilizou da base *Espacenet*. A base *Espacenet* é a base da *European Patent Organisation*, uma organização intergovernamental criada em 1977 que se constitui como uma das maiores bases de patentes do mundo, reunindo documentos a nível mundial. As palavras-chave utilizadas para a busca foram as mesmas utilizadas na pesquisa dos artigos científicos, sendo aplicadas também nos campos título do artigo, resumo e palavras-chave.

Foram encontrados 18 documentos entre solicitações de patentes e patentes concedidas. Destes, 11 têm relação com o tema e apenas três são patentes já concedidas. Os 11 documentos com relevância foram analisados mais profundamente para a construção do *Roadmap* Tecnológico.

3.2 Definição das Taxonomias

A definição dos níveis de análise segue divisão proposta por Moreira (2016) na construção de um Roadmap Tecnológico sobre Elastmeros Manufaturados (Moreira, 2016), aqui aplicados  produção de etanol a partir de batata-doce.

3.2.1 Nível Macro

Análise ampla dos documentos, sem investigar detalhes específicos do tema desenvolvido. Observa-se o ano de publicação, países envolvidos, universidades/centros de pesquisa e empresas atuantes no setor. Constatação de parcerias entre empresas, universidades ou empresa-universidade.

3.2.2 Nível Meso

Identifica a área de interesse abordada no documento dentro do tema geração de etanol utilizando batata-doce. A categorização proposta não é exclusiva, ou seja, um documento pode abordar mais de uma área de interesse das propostas a seguir. Serão estas áreas de interesse que darão origem ao Roadmap. Cabe ressaltar que a determinação dos níveis Meso se deu após leitura prévia dos documentos analisados.

3.2.2.1 Processo Produtivo

Refere-se ao estudo de melhorias, otimização e propostas de novas etapas no processo produtivo de etanol da batata-doce.

3.2.2.2 Variedades da Batata-doce

Engloba estudos sobre a eficiência na geração de etanol a partir de diferentes variedades de batata-doce.

3.2.2.3 Impactos Ambientais do Ciclo Produtivo

Cobre as avaliações de impactos ambientais na produção de etanol da batata-doce quando comparados a outras matérias-primas ou outros processos já constituídos de produção de etanol da batata-doce frente ao proposto no trabalho. Uma vez que o etanol da batata-doce é considerado uma alternativa energética renovável, não surpreende que muitos trabalhos estudem os impactos gerados na obtenção de etanol da batata-doce para defender a técnica estudada.

3.2.2.4 Avaliação Econômica do Ciclo Produtivo

Representa todas as análises de impacto econmico causado pela mudança proposta, seja no método produtivo, na variedade testada ou na produção de coprodutos simultaneamente a produção de etanol da batata-doce.

3.2.2.5 Coprodutos

Identifica estudos de produção simultânea de etanol da batata-doce com outro produto. A constante presença deste tema nos trabalhos analisados sinaliza que as pesquisas estão procurando formas de melhorar a viabilidade econômica da produção de etanol da batata-doce tentando gerar produtos de maior valor agregado no processo ou mesmo gerando produtos de aparente menor valor com os resíduos do processo, mas que devido à elevada quantidade pode vir a afetar significativamente a viabilidade econômica.

3.2.3 *Nível Micro*

O nível Micro constitui a análise mais profunda do documento, apresentando as particularidades do nível Meso sobre o tema estudado.

4 Resultados e Discussões da Fase de Prospecção *Roadmap*

4.1 Análise Macro

A análise Macro inclui a série histórica dos documentos, a distribuição entre os países e universidades responsáveis pelas publicações e a avaliação do tipo de instituição/parceria entre instituições responsável.

4.1.1 Análise temporal sobre a série histórica dos documentos

Procedeu-se a análise temporal dos artigos científicos e patentes, sendo os resultados demonstrados nas Figuras 4.1 e 4.2, respectivamente.

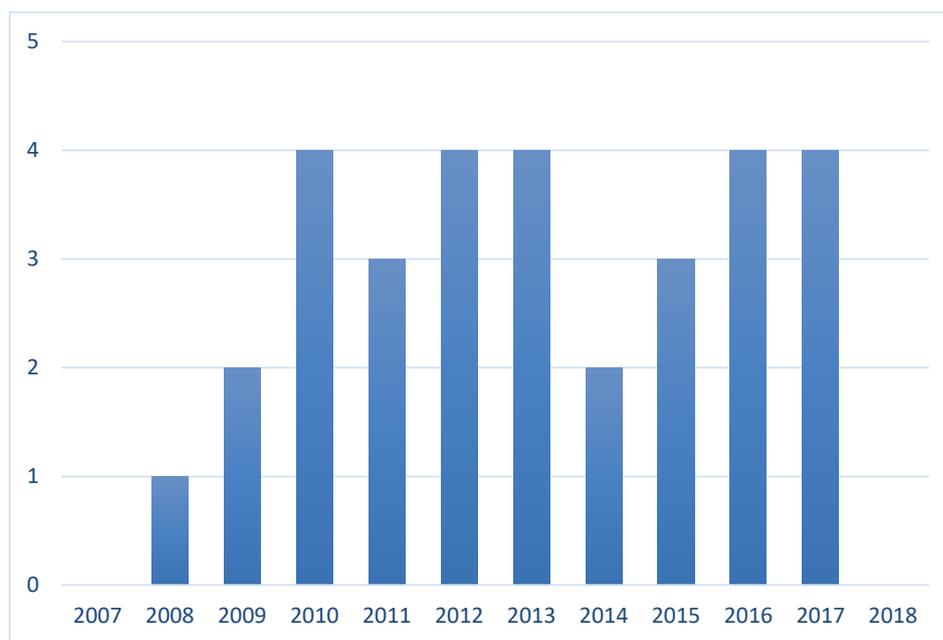


Figura 4.1: Análise Macro – Análise temporal de artigos científicos.

Fonte: elaboração própria.

Base: Scopus – período analisado entre 2007 a 2018.

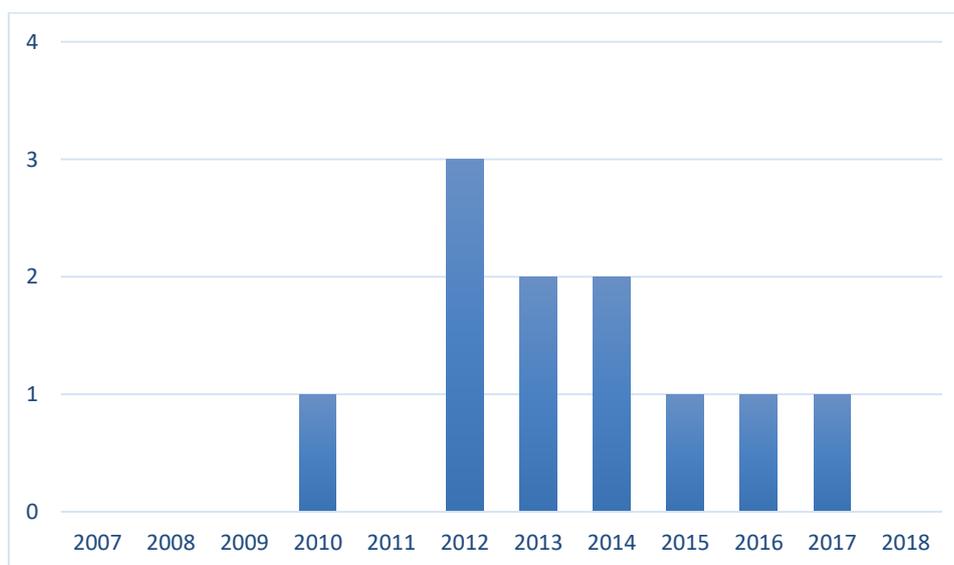


Figura 4.2: Análise Macro – Análise temporal de patentes.

Fonte: elaboração própria.

Base: Espacenet – período analisado entre 2007 a 2018.

A análise da distribuição temporal não permite identificar um padrão de crescimento no número de artigos científicos e patentes ao longo do período analisado. Uma explicação para a aleatoriedade observada pode ser o estágio em que as pesquisas estão sendo aplicadas. A maior parte das pesquisas encontradas trata de etapas separadas do processo, que visam aumentar a eficiência dos mesmos para justificar o investimento de grandes empresas. Sem o apoio de grandes empresas e o *drive* de consumo, as pesquisas acabam sendo incentivadas por Universidades e Centros de Tecnologia específicos que não geram uma “onda” de pesquisas sobre o tema.

4.1.2 Análise da distribuição das pesquisas por países

A análise da distribuição dos artigos científicos por países encontra-se na Figura 4.3. A China lidera o ranking de países com maior número de artigos científicos, com 11 dos 31 artigos. Taiwan com 4, Estados Unidos, Índia e Brasil com 3 e Japão com 2 são os outros países que apresentam mais de um artigo científico no período analisado.

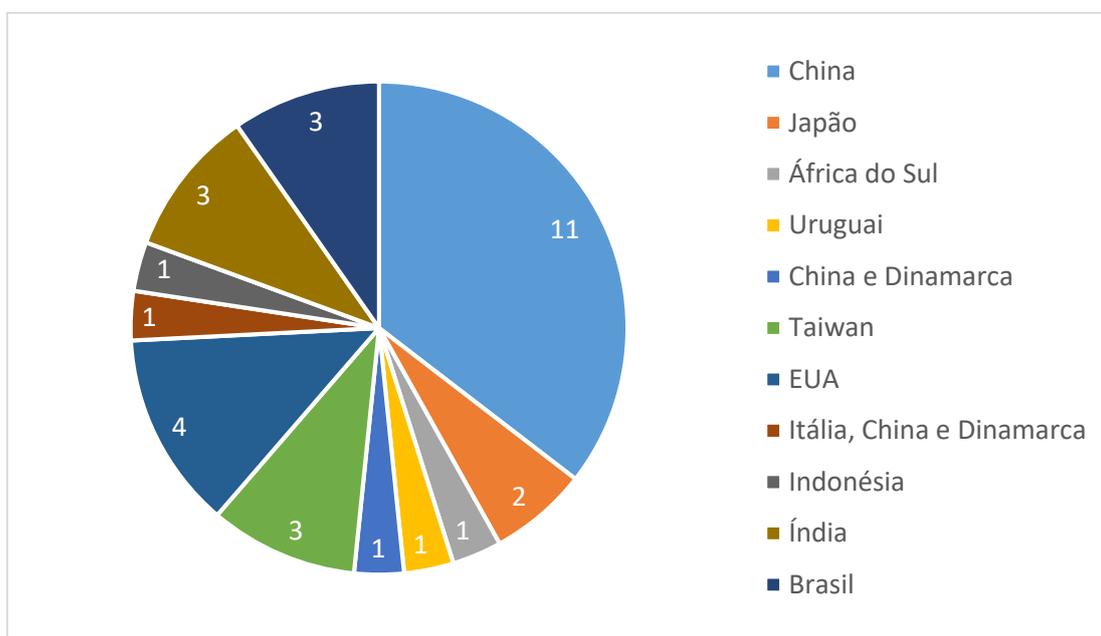


Figura 4.3: Análise Macro – Análise de países de origem dos artigos científicos.

Fonte: elaboração própria.

Base: Scopus – período analisado entre 2007 a 2018.

Já quanto os documentos de patentes, a análise de países solicitantes encontrou que todas as 11 patentes, solicitadas e concedidas, tem origem na República Popular da China.

4.1.3 Parcerias/Autoria

A Figura 4.4 mostra a distribuição dos titulares dos artigos científicos. São considerados artigos sob responsabilidade de universidades, organizações governamentais, empresas e parcerias entre estas. Observa-se ampla predominância das universidades, estando presente em 28 dos 31 artigos considerados.

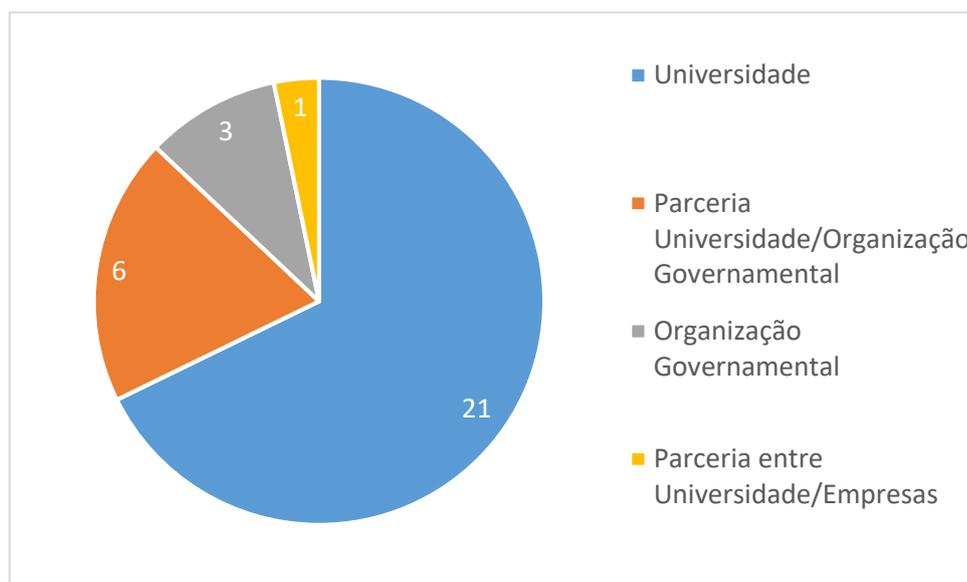


Figura 4.4: Análise Macro – Análise do tipo de Titular dos artigos científicos.

Fonte: elaboração própria.

Base: Scopus – período analisado entre 2007 a 2018.

Já no que diz respeito às patentes, pode-se observar na Figura 4.5 que a distribuição entre universidades/centros de pesquisa, empresas e pessoas físicas é menos discrepante. Mesmo assim, há predominância de patentes solicitadas por universidades/centros de pesquisa, que juntas são responsáveis por quase 50% das solicitações.

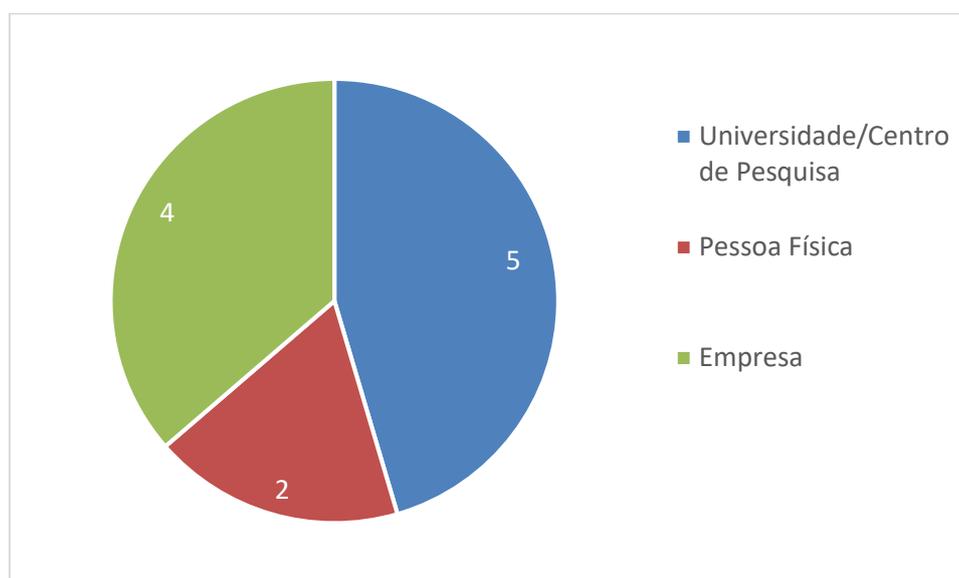


Figura 4.5: Análise Macro – Análise do tipo de Titular das patentes.

Fonte: elaboração própria.

Base: Espacenet – período analisado entre 2007 a 2018.

4.2 Análise Meso

Agora serão analisadas as taxonomias abordadas em cada um dos documentos investigados (artigos e patentes). Analisando a Figura 4.6 percebe-se que há duas taxonomias que se destacam, sendo abordadas em mais de 50% dos documentos estudados, estudo do Processo Produtivo e Avaliação Energética do Processo.

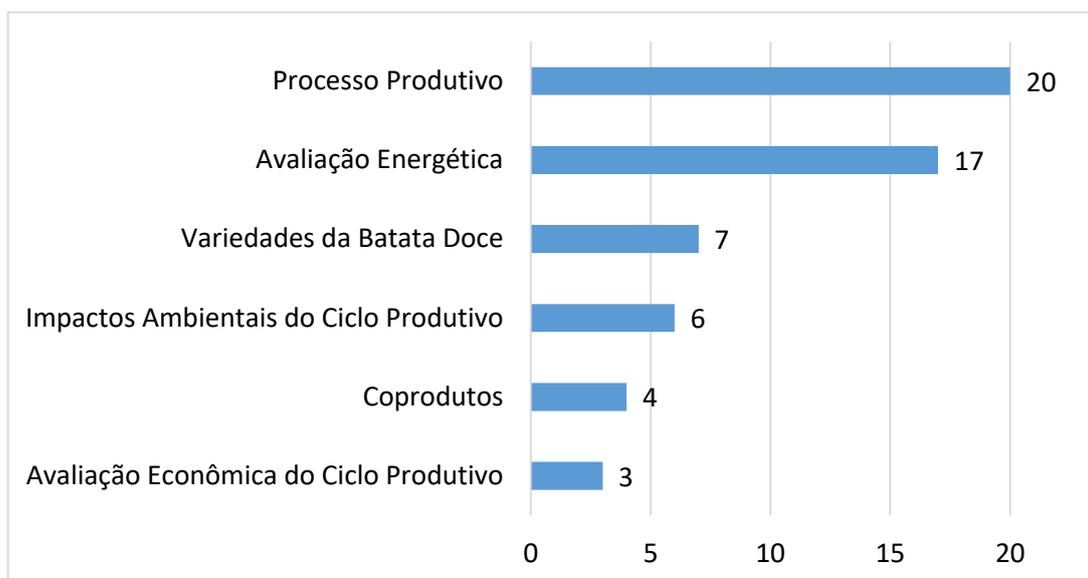


Figura 4.6: Análise Meso – Análise das Taxonomias abordadas nos artigos científicos.

Fonte: elaboração própria.

Base: Scopus – período analisado entre 2007 a 2018.

Uma hipótese para explicar o interesse em se abordar essas taxonomias pode ser a de que o processo de produção de etanol a partir de batata-doce não está consolidado e por isso são estudadas alternativas ao mesmo. A grande quantidade de estudos referentes à avaliação energética do processo pode ser entendida como uma extensão do estudo de novos processos de produção, uma vez que apenas processos que apresentem saldos positivos de energia podem ser considerados viáveis, e que quanto maior este saldo, mais promissor é este processo, do ponto de vista energético.

Em terceiro lugar, aparecendo em 23% dos documentos, está a análise e comparação da variedade das batatas doces utilizadas para a geração de etanol. Este número dá suporte aos questionamentos que se faz quanto à especificação da matéria-prima, nesse caso a batata-doce, que tem por característica a pouca uniformidade e grande variação do conteúdo e disponibilidade do amido entre os diversos cultivares. A quantidade de amido e a disponibilidade para acessá-lo são os principais fatores que levam os autores a investigar diferentes cultivares em busca do maior rendimento. Cabe ainda citar um terceiro fator que faz com que sejam estudadas diferentes variedades de batata-doce, a elevada taxa de rejeito de batatas doce nas plantações devido à incompatibilidade com o mercado consumidor. Muitos estudos comparam o rendimento de diversas espécies no processo proposto para identificar a viabilidade desse processo com estas diferentes espécies.

As outras três categorias, Impactos Ambientais do Ciclo Produtivo, estudo quanto à Formação de Coprodutos e Avaliação Econômica do Ciclo Produtivo aparecem empatadas, todas sendo citadas em 20% dos documentos. O estudo dos impactos ambientais do ciclo produtivo são de extrema importância, pois como já dito, o impacto ambiental da utilização do etanol proveniente de batata-doce é uma das alavancas que justificam os investimentos nessa tecnologia. Estudos referentes à produção de coprodutos são majoritariamente motivados pela dificuldade em tornar o processo de obtenção de etanol de batata-doce viável financeiramente quando há produção exclusivamente de etanol. A produção de coprodutos capazes de agregar valor à cadeia, como por exemplo, ração animal e etanol para uso cosmético é extensamente estudada para viabilizar o processo em grande escala.

Analisando a Figura 4.7 percebe-se que a taxonomia Processo Produtivo é a mais explorada nos documentos, sendo abordada por 8 dos 11 documentos. A predominância deste tpico nas patentes pode ser explicada pela natureza dos documentos de patente, cujo viés é o de apresentar uma invenção para resolver um problema específico.

Empatadas em segundo lugar estão as taxonomias de Coprodutos e Impactos Ambientais do Ciclo Produtivo, ambas citadas em 5 dos 11 documentos. O aumento da participação destas taxonomias nos documentos de patente comparados aos artigos científicos pode ser explicado pela maior proximidade dos documentos de patente ao mercado. Neste contexto, a formação de coprodutos de maior valor agregado e a implementação de processos que causem menor dano ao meio ambiente têm grande relevância.

Chama atenção ainda a presença de apenas dois documentos de patentes relacionados à taxonomia Variedades de Batata-doce. A criação de variedades de cultivares é um caso clássico de solicitação de patente, porém esta taxonomia foi abordada apenas em dois dos 11 documentos.

As demais taxonomias, Avaliação Energética e Avaliação Econômica do Ciclo Produtivo aparecem em dois e nenhum documento, respectivamente. Uma hipótese para a baixa adesão a estas taxonomias é novamente a natureza dos documentos de patentes, devido à proximidade destes documentos com o mercado, estas taxonomias apresentam-se como condições para a existência das patentes, afinal ser viável energética e economicamente é condição necessária para a aplicação de uma tecnologia a nível de mercado.

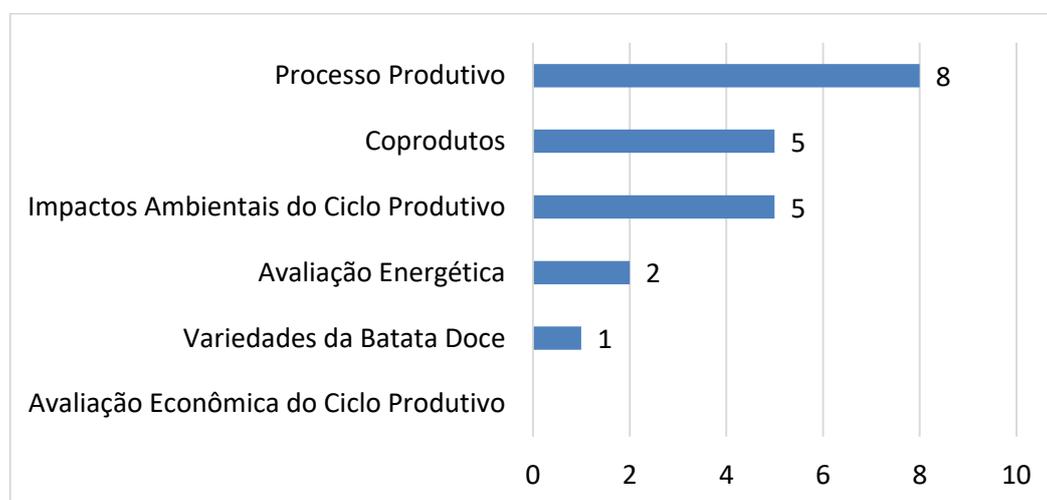


Figura 4.7: Análise Meso – Análise das Taxonomias abordadas nos documentos de patentes.

Fonte: elaboração própria.

Base: Espacenet – período analisado entre 2007 a 2018.

4.3 Análise Micro

Neste subitem, cada taxonomia da análise Meso é detalhada e suas particularidades são identificadas. Os artigos são citados na categoria Meso correspondente ao foco do documento, neste sentido, aqui a classificação é excludente, ou seja, cada artigo será citado apenas uma vez.

4.3.1 Processo Produtivo

O processo produtivo de obtenção de etanol a partir da batata-doce ainda não é um processo consolidado. O aumento do saldo energético do processo e da rentabilidade do mesmo são os principais *drives* que incentivam os pesquisadores a direcionar suas pesquisas para o estudo de novas tecnologias e do melhor ponto de operação das mesmas.

Identificou-se que o controle da liberação de glicose para ser metabolizada pela levedura apresenta grande potencial de aumentar o rendimento do processo. Um controle eficiente evita o aumento da pressão osmótica do meio, garantindo assim um melhor desempenho da levedura no processo fermentativo.

O processo mais estudado que visa otimizar a liberação de glicose é a Liquefação e Sacarificação Simultânea. Neste processo a glicose é liberada à medida que a levedura a metaboliza. Neste contexto, o artigo da Universidade de Ciência e Tecnologia de Taiwan (Lee *et al.*, 2012) desenvolve e avalia um processo de etapa única para a fermentação de amido de batata-doce utilizando um método de co-imobilização do fungo aeróbico (*Aspergillus oryzae*) e a levedura anaeróbica facultativa (*Saccharomyces cerevisiae*). Já o artigo do Centro de Biotecnologia de Jawaharlal, na Índia (Subhash *et al.*, 2016), determina as condições ótimas de processo para aumento da eficiência global da produção do etanol de dois métodos fermentação: (1) fermentação em estado sólido; (2) liquefação e sacarificação simultânea. Por fim, são realizadas análises para caracterizar o conteúdo dos resíduos de batata-doce.

Outro artigo que propõe a utilização desta tecnologia é o artigo do Instituto Nacional de Pesquisa de Alimentos do Japão (Watanabe *et al.*, 2010). Este artigo compara o desempenho de diferentes cepas de levedura, no processo de liquefação e sacarificação simultâneas. Os resultados mostram que as cepas que apresentam maior eficiência pertencem à mesma levedura, *Saccharomyces cerevisiae*.

A patente solicitada pela Empresa Química de Matérias Primas Taicang Tongji (DAYONG, 2012), refere-se a um método para a produção de etanol através da aplicação da sacarificação e fermentação simultâneas. Ainda, o estudo sugere as condições ótimas de operação.

Outra tecnologia muito estudada é a fermentação de mosto com alta concentração de açúcares. O artigo do Centro de Pesquisa e Engenharia da China (Shen *et al.*, 2011) propõe o uso dessa técnica. Os resultados encontrados indicam que o uso de soluções mais concentradas de açúcar concomitante a sacarificação apresenta maior eficiência na geração de etanol e menor geração de resíduos aquosos. Já o artigo da Academia Chinesa de Ciências (Zhang *et al.*, 2010) estuda a redução do gasto energético na produção do etanol de batata-doce ao se utilizar este método. O estudo mostra que a fermentação de soluções com altas concentrações de glicose leva a um aumento no rendimento da fermentação. Entretanto, devido as características da batata-doce, a utilização de mostos com altas concentrações de sólidos traz problemas relacionados à elevada viscosidade do mosto, que vão desde a dificuldade de movimentação, até hidrólise incompleta do amido. A solução proposta pelos autores é a utilização de enzimas para ajustar a viscosidade a partir da dissociação enzimática das paredes celulares. Por fim, outro artigo da Academia Chinesa de Ciências (Jin *et al.*, 2009) aplica métodos de análise econômica para mostrar a redução nos custos de produção ao se utilizar este método.

Além do controle da liberação da glicose, outro ponto de destaque nos estudos de otimização da produção de etanol da batata-doce é a redução da viscosidade do mosto. A elevada viscosidade do mosto é apontada como fator chave para o bom rendimento nos processos de *high gravity fermentation*. Viscosidades elevadas dificultam o acesso das enzimas ao substrato, limitando a transferência de massa, reduzindo fortemente a eficiência do processo fermentativo. Além disso, viscosidades elevadas levam a obstrução das linhas no processo, o que eleva os gastos com energia para movimentar este mosto.

Outro artigo da Academia Chinesa de Ciências (Huang *et al.*, 2012) estuda o processo de redução de viscosidade do mosto utilizando a enzima celulase para tal. Diferentes cultivares de batata-doce são avaliados sob diferentes condições. Os resultados indicam que a utilização desta enzima sob condições ótimas de processo leva a uma redução de pelo menos 95% na viscosidade do mosto em todas as espécies avaliadas. Já o artigo da Universidade de Jiangnan na China (Chen *et al.*, 2016) avalia a redução na viscosidade da fermentação ao expressar a enzima *pectinesterase* em *Saccharomyces cerevisiae*. Os resultados apontam uma redução na viscosidade quando comparada a utilização da *S. cerevisiae* sem modificações genéticas.

Além destes dois grandes grupos de estudo: Liquefação e Sacarificação Simultânea e Redução da Viscosidade, outros artigos tem como foco o estudo do método de produção, são eles:

O artigo de Zhang *et al.* (2013), conduzido na Universidade de Jiangsu na China, estuda a utilização de uma cepa de *Aspergillus niger*, isolada de raízes de batata-doce, que tem a capacidade de produzir enzimas capazes de fermentar o amido cru da batata-doce. O estudo compara a redução na viscosidade utilizando raízes de batata-doce cruas tratadas com estas enzimas versus raízes cozidas. Os resultados apontam uma redução maior na viscosidade das raízes cruas, indicando o potencial de se utilizar esta tecnologia para o desenvolvimento de um método produtivo em larga escala capaz de reduzir o consumo energético do processo.

O artigo de Dash and Mohapatra (2017), conduzido na Universidade de Tecnologia Biju Patnaik, na Índia, estudou a utilização de uma cocultura imobilizada de *Saccharomyces cerevisiae* e *Pichia sp.* para realizar a fermentação da farinha de batata-doce, já sacarificada. O artigo investigou ainda as melhores condições operacionais utilizando o método de variação de uma variável por vez (OVAT).

O artigo da Universidade Feng Chia em parceria com o Conselho Nacional de Ciência de Taiwan (Lay *et al.*, 2012) avalia a produção de etanol e hidrogênio a partir de batata-doce, primeiro utilizando apenas as bactérias já presentes na batata-doce para a fermentação e depois utilizando, para tanto, uma mistura bactérias naturalmente presentes no estrume de vacas e no lodo de esgoto. Os resultados indicam que a utilização de lodo de esgoto aumenta a produção de hidrogênio a partir da fermentação.

O artigo da Universidade Tecnológica Jawaharlal Nehru (Prasad *et al.*, 2011), na Índia, estuda a produção de etanol a partir de batata-doce e batata tradicional variando as condições operacionais. Os maiores resultados foram encontrados com a utilização de uma cultura mista de microrganismos imobilizados.

O artigo de Masiero *et al.* (2014) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul estuda o emprego da hidrólise a frio para degradação do amido. A vantagem de se utilizar este método é que a temperatura de hidrólise é similar à temperatura de fermentação, possibilitando que estes processos ocorram em uma única etapa. Além disso, o fato de se conduzir a hidrólise abaixo da temperatura de gelatinização faz com que haja uma economia de energia no processo. Entretanto, a utilização deste método traz algumas barreiras que precisam ser vencidas para tornar o método economicamente competitivo, duas se destacam: (1) problemas com contaminação devido às baixas temperaturas utilizadas; (2) limitação da transferência de massa, diferentemente do amido gelatinizado o amido granular permanece sólido, e a reação de degradação acontece num sistema líquido-sólido que reconhecidamente apresenta limitações para transferência de massa.

O artigo de Huang *et al.* (2016), também da Academia Chinesa de Ciências, em parceria com a Universidade de Aalborg na Dinamarca, utiliza um micro arranjo de alto rendimento para caracterizar as mudanças nos polímeros que compõe a parede celular quando a batata-doce é submetida ao processo de redução de viscosidade. Os resultados indicam uma grande variabilidade no comportamento destes polímeros de acordo com a espécie de batata-doce estudada.

A patente solicitada pela Academia Chinesa de Ciências (WEIDONG, 2017) apresenta um método para produção de etanol a partir de batata-doce utilizando o método de explosão a vapor. Este processo acontece em um tanque sob uma pressão de vapor que varia de 0,5 Mpa a 0,8 Mpa. O emprego deste método substitui o longo processo de cozimento, reduzindo o consumo de energia. O método sugere menor consumo energético, e menor geração de efluente líquido, levando a menores custos de produção.

A patente solicitada pela Academia Chinesa de Ciências (FANG, 2010) refere-se a um método para a produção de etanol pela fermentação de batata-doce fresca. A fermentação da matéria-prima fresca é possibilitada devido o emprego de uma solução de enzimas de pré-tratamento composta por *pectinase*, celulose e *xilanase*. Segundo o documento, o emprego deste método leva a diminuição do custo operacional da produção de etanol.

A patente solicitada por Wu Xiangyang (2012) refere-se a um processo de obtenção de etanol a partir de batata-doce e de posterior aditivação do mesmo, com incremento na octanagem.

A patente solicitada pela Universidade de Shandong na China (KANGLE, 2015), refere-se a um método para produção de etanol e açúcar a partir de batata-doce. O método consiste na adição de uma solução microbiana para realizar a enzimólise, seguido da adição de alfa-amilase e de uma enzima sacarificadora que irão realizar a hidrólise. De acordo com o método, o emprego da solução microbiana em conjunto com a alfa-amilase e a enzima sacarificadora conjuntamente agem sobre uma pluralidade de resíduos de batata-doce polissacarídica, desta forma os polissacarídeos presentes nos resíduos de batata-doce podem ser rapidamente degradados em açúcares fermentáveis, levando a uma melhora na eficiência de biotransformação das matérias primas.

A patente solicitada pelo Centro de Pesquisas de Batata-doce de Jiangsu (SUN JIAN; HONG, 2013) aponta um método para obtenção de etanol a partir do resíduo aquoso do processo de obtenção de etanol a partir de batata-doce. O método consiste na filtração e posterior condensação da água residual. O resíduo aquoso condensado é fermentado por sacarificação e fermentação simultâneas e em seguida é destilado de modo a obter etanol.

A aplicação desta tecnologia leva a redução de resíduos e aumento do valor da cadeia de produção de batata-doce.

4.3.2 Avaliação Energética

O objetivo principal dos artigos avaliados e também da construção deste *Roadmap* é consolidar o processo de produção de etanol a partir de batata-doce como um processo em larga escala utilizado em diversos lugares ao redor do mundo, e o maior desafio para isto é o aumento do saldo total de energia do processo.

Neste contexto, diversos trabalhos focaram seus estudos na avaliação energética do processo, propondo alternativas e estudando seu impacto no saldo energético. O artigo de Zhao (2010), da Academia Chinesa de Ciências estuda a utilização da água residual do processo de obtenção de etanol da batata-doce para geração de energia elétrica. Para tanto, se utilizou uma célula combustível microbiana que utiliza o resíduo aquoso com elevada demanda química de oxigênio (DQO) para geração de energia.

Outros artigos utilizam métodos de análise sofisticados, o artigo da Universidade da República, Uruguai (Ferrari, Guigou and Lareo, 2013), utiliza um software de simulação para investigar o saldo energético na produção de etanol de batata-doce, utilizando diferentes configurações e condições operacionais. O estudo aponta três fatores determinantes para garantir um saldo energético positivo: (1) elevada concentração de matéria seca no meio operacional; (2) microrganismos de alta performance, capazes de garantir uma fermentação eficiente; (3) cultivar de batata-doce com alta concentração de carboidratos. Já Ren *et al.* (2014), da Universidade de Padova, Itália, em parceria com a Universidade de Chongqing da China e da Universidade de Aarhus da Dinamarca, utilizam análise envoltória de dados para determinar o ciclo energético de quatro diferentes fontes de biocombustíveis: trigo, milho, mandioca e batata-doce. O método permite que se variem condições como: gasto energético de cada processo, quantidade de fertilizantes e condições de plantio para se avaliar o cenário produtivo de determinada região, permitindo identificar qual a matéria-prima mais indicada para cada situação.

Há ainda artigos que estudam o potencial energético em determinadas regiões ou países, de acordo com suas características de solo e clima. O artigo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Ziska *et al.*, 2009) estuda o potencial energético da utilização de batata-doce e mandioca como alternativa à utilização de milho como fonte para produção de etanol em diversos estados americanos. Os dados indicam que há grande potencial na utilização de batata-doce em substituição ao milho principalmente quando em terras menos férteis. Já o artigo da Universidade de Agricultura da China (Zhang *et al.*, 2008) investiga o potencial energético chinês considerando a utilização de terras marginais, que não são utilizadas para a plantação de alimentos, para a plantação de batata-doce para produção de etanol. Os resultados indicam um elevado potencial de produção.

A patente solicitada por Zhouhua *et al.*, (2012) dispõe sobre a utilização de excrementos de animais para a geração de biogás que será utilizado como fonte de energia térmica para realizar a fermentação de batata-doce para obtenção de etanol. A utilização do método traz benefícios ambientais e econômicos ao utilizar do excremento animal como fonte de energia.

4.3.3 Processo Produtivo e Análise Econômica

Esta seção foi criada para apresentar o artigo de Schweinberger *et al.* (2016), conduzido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O artigo abrange duas das taxonomias propostas. A taxonomia Processo Produtivo aparece em dois momentos, primeiro na análise da influência do amadurecimento da batata-doce, pós-colheita, na produção de etanol, cujos resultados indicam que a maior conversão de etanol é atingida quando o tempo entre a colheita e a utilização da batata-doce é de 25 dias; segundo, na comparação de dois métodos de aquecimento, aquecimento convencional em água e aquecimento utilizando-se micro-ondas. Os resultados indicam que o método tradicional é levemente superior em termos de eficiência de conversão. Já a taxonomia Análise Econômica aparece quando o artigo procede a uma análise dos custos de produção utilizando os resultados obtidos em laboratório que foram escalonados para uma planta industrial com a proposta de descentralização, por meio de estudos de simulação.

4.3.4 Variedades de Batata-doce

O estudo da variedade ótima de batata-doce a ser utilizada, capaz de fornecer o maior rendimento de etanol por área plantada, o maior saldo energético do processo e ainda o maior saldo financeiro do ciclo, é fundamental para a implementação do processo de obtenção de etanol a partir de batata-doce em larga escala. Diferentes variedades apresentam diferentes características físicas, como tamanho médio e formato, e químicas, como composição e disponibilidade de amido. Além disso, cada variedade tem características específicas de plantio, como tipo de solo, disponibilidade hídrica e temperatura.

No contexto exploratório, o artigo da Universidade de Brawijaya, na Indonésia (Waluyo *et al.*, 2015), analisa o conteúdo de amido e de matéria seca de 50 cultivares de batata-doce, para identificar quais cultivares tem potencial para a produção de etanol na Indonésia.

O grande impacto causado pela utilização de uma variedade própria para a produção de etanol fez com que muitos pesquisadores desenvolvessem cultivares geneticamente modificados que combinam as características ótimas de diversas variedades para gerar a maior quantidade de etanol possível. Neste sentido, o artigo da Universidade da Flórida (Mussoline *et al.*, 2017) procede a uma avaliação do ciclo de vida de um cultivar industrial de batata-doce. Este cultivar, que não é próprio para consumo, apresenta alta concentração de glicose e pode ser cultivado em terras pobres em nutrientes. A análise avaliou todos os aspectos agrônômicos e biotecnológicos do processo de converter a batata-doce em etanol, e apontou diversas vantagens na utilização de um cultivar industrial que incluem elevada produtividade em climas quentes, conversão de amido bem estabelecida e formação de coprodutos viáveis para oportunidades de recuperação de bioenergia adicionais. Ainda, a não disponibilidade deste cultivar para consumo humano minimiza a discussão quanto ao uso da terra para produção de combustíveis, frente a produção de alimentos.

Outro estudo dos mesmos pesquisadores Mussoline and Wilkie (2017), investiga a utilização deste mesmo cultivar industrial como um cultivar de duplo propósito: matéria-prima para produção de etanol e suplemento nutricional para alimentação animal. O estudo deste tipo de alternativa é motivado pelo aumento das discussões acerca do dilema quanto à utilização de terras aráveis para o cultivo de alimentos versus o cultivo de matéria-

prima para a produção de biocombustíveis. Uma abordagem é o cultivo de espécies que sirvam aos dois propósitos, e neste cenário a batata-doce aparece como uma alternativa atrativa pela sua alta produtividade em terras de baixa qualidade e mínima necessidade de fertilização e irrigação. Ao ponto que este cultivar tem por característica é a elevada concentração de amido em sua raiz, que tem grande potencial na geração de biocombustíveis, as folhas da batata-doce contribuem uma parte substancial do rendimento total da cultura, podendo ser utilizadas como suplemento na alimentação animal.

O artigo da Universidade Estadual da Carolina do Norte (Santa-Maria *et al.*, 2011) propõe a modificação genética em um cultivar de batata-doce para que o mesmo seja capaz de auto processar seu amido, facilitando o processo de disponibilização de açúcares fermentáveis, reduzindo assim, o custo total do processo. Já o artigo do Instituto Nacional Japonês de Pesquisa de Alimentos em conjunto com a Universidade de Miyagi (Srichuwong *et al.*, 2012) investigou a utilização de um cultivar de batata-doce recentemente desenvolvida, K159, que apresenta baixa temperatura de gelatinização, aproximadamente 20°C a menos do que uma espécie tradicional. Esta redução na temperatura de gelatinização é explicada pela maior proporção de amilopectinas de cadeias curtas. Investigou-se ainda a diferença de temperatura necessária para a liquefação. Encontrou-se uma diferença de 30°C, isto é, 90°C no caso da espécie tradicional versus 60°C da espécie em questão. Uma estimativa acerca dos impactos ambientais destes dois fatores mostrou uma redução de 50% no consumo energético e emissão de CO₂ comparando-se a K159 à espécie tradicional.

A patente solicitada pelo Centro de Pesquisas de Batata-doce de Jiangsu (JIAN *et al.*, 2013) refere-se a um método para prever a produção de etanol pela análise da batata-doce fresca. O invento consiste na utilização de métodos de infravermelho e métodos químicos para determinar a taxa de secagem e os valores de amido e proteína da batata-doce fresca. A partir destes dados é calculada a produção prevista de etanol. O método permite a rápida avaliação da produtividade de diferentes variedades, podendo ser utilizado no estudo da criação de variedades de batata-doce especialmente desenvolvidas para a obtenção de etanol combustível.

4.3.5 Impactos Ambientais do Ciclo Produtivo

Um dos *drives* que motiva a implementação de uma tecnologia sólida, aplicável em larga escala e economicamente viável para a produção de etanol a partir da batata-doce é o ganho ambiental que a substituição de combustíveis fósseis pelo etanol traz. A diminuição da emissão de gases do efeito estufa quando se utiliza etanol já é conhecida, mas há ainda diversos fatores que precisam ser levados em conta para se determinar o grau de melhora que esta substituição acarreta.

Neste contexto, o artigo do Instituto de Pesquisas Econômicas de Taiwan em parceria com a Universidade Nacional de Taiwan (Su *et al.*, 2015) investiga o consumo de água no ciclo produtivo de quatro cultivares utilizados na produção de biocombustíveis (milho, batata-doce, cana-de-açúcar e sorgo doce). A análise concluiu que a batata-doce apresenta a menor pegada de água, seguida da cana-de-açúcar e do sorgo doce. O milho foi o cultivar que apresentou a maior pegada de água.

Já o artigo da Agência Chinesa de Poluição Ambiental (Cheng *et al.*, 2015) propõe a utilização de batata-doce para tratamento de solo contaminado por meio da

fitorremediação. A utilização de batata-doce para este fim se justifica pela possibilidade de gerar etanol, justificando economicamente a sua utilização. O estudo concluiu que a variedade TNG-31 apresenta ambas, a maior produtividade de etanol e a maior remoção de contaminantes por área plantada.

4.3.6 Avaliação Econômica e de Impactos Ambientais do Ciclo

Há dois artigos cujo foco é a Avaliação Econômica e Impactos Ambientais, e por isso serão citados nesta seção. O artigo da Universidade de Changzhou, na China (Wang *et al.*, 2013), aplicou o método de avaliação do ciclo de vida para avaliar a eficiência energética e os impactos ambientais da produção de etanol a partir de batata-doce. Os resultados revelam que o consumo de vapor exerce o maior efeito sob o consumo energético, seguido da produtividade da batata-doce. Eutrofização exerce o maior efeito ambiental, seguido de acidificação e aquecimento global.

O artigo da Universidade West Normal, na China (Zhang *et al.*, 2017), compara o ciclo energético e o impacto ambiental de três métodos de produção de etanol de batata-doce: (1) método da economia circular; (2) método de produção convencional e (3) método de cogeração. Os resultados indicam que o método de produção da economia circular é efetivo no aumento da eficiência energética e especialmente na redução dos impactos ambientais.

4.3.7 Avaliação Econômica do Ciclo Produtivo

Há ainda um artigo cujo foco é a Avaliação Econômica do Ciclo Produtivo, o artigo da Universidade Federal de Santa Maria (Taborda *et al.*, 2015), avalia a viabilidade técnica e econômica da produção de etanol de batata-doce em uma planta piloto. Os resultados indicam que 35% dos custos relacionados à produção são provenientes da matéria-prima e 65% dos custos de processamento.

4.3.8 Coprodutos

A geração de coprodutos de maior valor agregado tem grande potencial para aumentar a viabilidade econômica da produção de etanol a partir de batata-doce. O artigo da Universidade de Witwatersrand, na África do Sul (Ntoampe *et al.*, 2010), estuda a produção de químicos e combustíveis a partir da batata-doce. O processo é conduzido em um biorreator de leite fluidizado. Análises de cromatografia gasosa indicam o potencial deste processo na produção concomitante de etanol, ácido acético, ácido propiônico e ácido butírico, assim como hidrogênio e metano.

A patente solicitada pela QINGDAO JIENENG ENERGY SAVING ENVIRONMENTAL PROT TECHNOLOGY CO LTD (ZHENGQIN, 2014a), refere-se a um método para geração de energia a partir da água residual proveniente da produção de etanol combustível a partir de batata-doce. As matérias-primas são licor de fermentação residual obtido em fermentação com etanol de batata-doce e outros aditivos. Um dispositivo de célula de combustível microbiológico é utilizado. A utilização desta tecnologia permite a recuperação de parte da energia gasta no tratamento de águas residuais, aumentando a geração de valor do ciclo.

Outra invenção, da mesma empresa (ZHENGQIN, 2014b), refere-se à produção de ração animal composta de resíduos de batata-doce obtidos na produção de etanol, milho, probióticos e sal de mesa. A destinação dos resíduos de batata-doce para produção de ração animal resolve o problema do tratamento de resíduos, reduz a poluição ambiental e

fornece alimentos baratos para o desenvolvimento da pecuária, apresentando-se como um elo indispensável no desenvolvimento do etanol de batata-doce industrial.

A patente solicitada pela WUXI HUADONG ELECTRIC POWER EQUIPMENT CO LTD (JIANFENG, 2016) refere-se a um método para a preparação de forragem grossa a partir de resíduos de batata-doce. A forragem é preparada a partir dos resíduos gerados pela produção de etanol a partir de batata-doce. A aplicação deste método diminui o impacto ambiental do processo e agrega valor ao processo.

4.4 Conclusões Sobre a Fase da Prospecção Tecnológica

Observou-se o percentual elevado de documentos científicos que estudam o tema “Processo Produtivo”, sendo foco de 15 estudos e sendo investigado em 20 dos 31 documentos. É um bom indicador do estágio de desenvolvimento do tema, indicando que o tema ainda está numa etapa inicial de desenvolvimento.

Nos documentos de patentes, a taxonomia “Processo Produtivo” também predomina em seis das 11 invenções cujo foco é o Processo Produtivo e um total de nove que discorrem sobre o tema.

Dentre os assuntos abordados na taxonomia “Processo Produtivo”, destacam-se os estudos de liquefação e sacarificação simultâneos e liquefação a altas pressões.

A China é o país que mais destina esforços para a produção de etanol a partir de batata-doce, com 11 dos 31 artigos científicos e todas as 11 patentes. Em segundo plano, aparecem países com elevada produção de etanol, EUA com quatro artigos e Brasil com três, além de Índia e Taiwan com três artigos cada.

Dentre os documentos de pesquisa científica, houve a predominância do tipo de autor Universidade na publicação de artigos, com 21 artigos. Chama atenção também a baixa participação de Empresas, que aparecem em apenas um artigo em parceria com Universidades.

O mesmo fato citado no item anterior é verificado nos documentos de patentes, sendo as Universidades responsáveis por seis das 11 solicitações de patente.

Concluída a etapa de prospecção, o próximo capítulo representa a fase pós-prospectiva. Será abordada a construção e a posterior análise do Roadmap Tecnológico da produção de etanol a partir de batata-doce.

5 Roadmap

O *Roadmap Tecnológico* é uma ferramenta de análise de prospecção tecnológica que permite identificar tendências, analisando mercado, produto e tecnologia em função do tempo. Aqui, sua utilização permite identificar os principais *players*, o estágio de desenvolvimento das tecnologias e a identificação de parcerias, seja entre empresas e universidades/centros de pesquisa ou governos e universidades/centros de pesquisa.

O *software* utilizado para construção e visualização final do *Roadmap* foi o Microsoft Excel 2016. Primeiramente, o mapa é dividido em dois eixos: vertical e horizontal. O eixo vertical representa a análise temporal, enquanto o eixo horizontal contém as taxonomias abordadas nos documentos. Os documentos são dispostos no mapa, e é feita uma distinção entre a taxonomia correspondente ao foco do documento (azul forte) e demais taxonomias abordadas pelo documento (azul fraco). Há ainda uma sinalização em “X” que indica os documentos de origem de patente. O *Roadmap* encontra-se na Figura 5.1.

Ano	Processo Produtivo	Variedades	Coprodutos	Avaliação Energética	Avaliação Econômica	Impactos Ambientais	Documento	Tipo Autor	Universidade/Empresa/Organização Governamental	Pais
2008							(Zhang et al., 2008)	Universidade	China Agricultural University	China
2009							(Jin et al., 2009)	Universidade	Chinese Academy of Sciences	China
							(Ziska et al., 2009)	Organização Governamental	United States Department of Agriculture	EUA
2010							(Ntoampe et al., 2010)	Universidade	University of the Witwatersrand	África do Sul
							(Zhang et al., 2010)	Parceria Universidade/Organização Governamental	Chinese Academy of Sciences Graduate University of the Chinese Academy of	China
							(b Zhao, 2010)	Universidade	Chinese Academy of Sciences Graduate University of Chinese Academy of Sciences	China
							(Watanabe et al., 2010)	Universidade	National Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization (NARO)	Japão
							(FANG, 2010)	Universidade/Centro de Pesquisa	Chinese Academy of Sciences	China
2011							(Santa-Maria et al., 2011)	Parceria entre Universidade/Empresas	North Carolina State University; Golden LEAF Foundation; Bayer	EUA
							(Shen et al., 2011)	Universidade	Chongqing Technology and Business University Chongqing University	China
							(Prasad et al, 2011)	Universidade	DVR and HS MIC College of Technology Jawaharlal Nehru Technological University	Índia
2012							(Lay et al., 2012)	Parceria Universidade/Organização Governamental	Taiwan's Bureau of Energy e Feng Chia University	Taiwan
							(Lee et al., 2012)	Universidade	China University of Science and Technology	Taiwan
							(Huang et al., 2012)	Universidade	Chinese Academy of Sciences Graduate University of Chinese Academy of Sciences	China
							(Srichuwong et al., 2012)	Parceria Universidade/Organização Governamental	National Agriculture and Food Research Organization (NARO)	Japão
							(XIONG, 2012)	Pessoa Física	ZENG ZHOUHUA	China
							(DAYONG, 2012)	Empresa	TAICANG TONGJI CHEMICAL RAW MATERIAL FACTORY	China
2013							(WU, 2012)	Pessoa Física	XIANGYANG WU	China
							(Wang et al., 2013)	Universidade	Changzhou University	China
							(Zhang et al., 2013)	Universidade	Jiangsu Normal University Macau University of Science and Technology	China
							(Ferrari, Guigou and Lareo, 2013)	Universidade	Universidade de la República	Uruguai
							(HONG et al., 2013a)	Universidade/Centro de Pesquisa	Chinese Academy of Agricultural Sciences	China
						(HONG et al., 2013b)	Universidade/Centro de Pesquisa	Chinese Academy of Agricultural Sciences	China	

2014						(Masiero et al., 2014)	Universidade	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Brasil
						(Ren et al., 2014)	Parceria Universidade/Organização Governamental	University of Padova Chongqing University	Itália, China e Dinamarca
						(ZHENGQIN, 2014a)	Empresa	QINGDAO JIENENG ENERGY SAVING ENVIRONMENTAL PROT TECHNOLOGY CO LTD	China
						(ZHENGQIN, 2014b)	Empresa	QINGDAO JIENENG ENERGY SAVING ENVIRONMENTAL PROT TECHNOLOGY CO LTD	China
2015						(Su et al., 2015)	Parceria Universidade/Organização Governamental	Taiwan Institute of Economic Research National Taiwan University	Taiwan
						(Waluyo et al., 2015)	Universidade	University of Brawijaya University of Padjadjaran	Indonésia
						(Cheng et al., 2015)	Organização Governamental	Environmental Pollution Agency of the Republic of China	China
						(Taborda et al., 2015)	Universidade	Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)	Brasil
						(KANGLE, 2015)	Universidade/Centro de Pesquisa	University of Shandong	China
2016						(Huang et al., 2016)	Parceria Universidade/Organização Governamental	Chinese Academy of Sciences	China e Dinamarca
						(Chen et al., 2016)	Universidade	Jiangnan University	China
						(Schweinberger et al., 2016)	Universidade	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Brasil
						(Subhash et al., 2016)	Universidade	Biotechnology Centre, Jawaharlal Nehru Krishi Vishwa Vidyalaya	Índia
						(JIANFENG, 2016)	Empresa	WUXI HUADONG ELECTRIC POWER EQUIPMENT CO LTD	China
2017						(WEIDONG, 2017)	Universidade/Centro de Pesquisa	Chinese Academy of Science	China
						(Mussoline et al., 2017)	Universidade	University of Florida-IFAS	EUA
						(Mussoline and Wilkie, 2017)	Organização Governamental	Florida Department of Agriculture and Consumer Services (FDACS)	EUA
						(Dash and Mohapatra, 2017)	Universidade	Biju Patnaik University of Technology, Indian Institute of Technology	Índia
					(Zhang et al., 2017)	Universidade	China West Normal University	China	

Figura 5.1: Roadmap Tecnológico: Etanol de Batata-doce. **Azul forte: foco principal. Azul fraco: foco secundário. Marcação em X: documento de patente.**

Fonte: Elaboração própria.

5.1 Análise do Roadmap

Em relação ao foco dos documentos, pode-se perceber que a taxonomia mais mencionada foi a “Processo Produtivo”. Isso pode ser entendido como um termmetro que reflete o estágio de desenvolvimento da produção de etanol a partir de batata-doce. Grande número de pesquisas sobre o processo de produção indica que ainda há muito interesse em aperfeiçoar o processo. Ainda em relação ao foco dos documentos, a segunda taxonomia mais mencionada foi a “Avaliação Energética”. O interesse por avaliar a capacidade energética do ciclo de produção pode ser justificado pela natureza do produto em questão, uma vez que é fundamental que se alcance elevados saldos energéticos na produção de um combustível.

A taxonomia “Processo Produtivo” é a com maior número de citações, seja como foco do documento ou como assunto abordado, aparecendo constantemente ao longo do período analisado. Ao analisar o tipo de autor, a taxonomia aparece bem distribuída entre universidades, centros de pesquisa, organizações governamentais, empresas e pessoas físicas, reiterando sua importância para a evolução da tecnologia. Ao se analisar o país de origem dos documentos que abordam esta taxonomia percebe-se, aqui também, uma presença constante em todos os países abordados no levantamento

A respeito da taxonomia “Variedades de Batata-doce”, percebe-se uma distribução do foco ao longo do período analisado, chamando atenção  presença de apenas um documento que aborda este tema sem ser este o foco do documento. Isso pode ser explicado pela natureza do tpico, uma vez que este é, dos tpicos identificados, o mais independente. Chama atenção ainda a baixa presença de empresas na autoria ou patrocínio de pesquisas acerca de novos cultivares capazes de aumentar a produtividade de etanol, principalmente quando se compara  elevada participação de empresas na descoberta e no desenvolvimento de novos cultivares agrícolas de um modo geral.

Em relação à taxonomia “Coprodutos” destaca-se o grande número de documentos de patente, e a grande participação de empresas como autoras e/ou patrocinadoras, o que pode ser explicado pela proximidade deste tema ao mercado. Chama atenção ainda a grande quantidade que tratam desta taxonomia, mas cujo foco do documento é outro. Uma hipótese para explicar este comportamento é a importância da produção de coprodutos de maior valor agregado no aumento da rentabilidade do processo.

A taxonomia “Avaliação Energética” é a segunda taxonomia mais citada, revelando o interesse de se determinar o saldo energético do processo. Assim como no caso da taxonomia coprodutos, chama a atenção a grande quantidade de documentos que procedem avaliações energéticas, mas que têm seu foco em outra taxonomia. Uma explicação é a de que independente do que se está estudando, a aplicabilidade dos resultados s é relevante se após uma análise energética do ciclo se constate sua viabilidade.

“Avaliação Econômica” é a taxonomia com menor presença entre os documentos, este fato pode ser entendido como outro indicativo do estágio, ainda precoce de desenvolvimento da tecnologia. A tecnologia precisa se desenvolver mais, amadurecer para que faça sentido se realizarem análises econmicas mais aprofundadas, capazes de determinar a melhor localização geográfica e a quantidade ótima a ser produzida para garantir os maiores lucros.

Sobre a taxonomia “Impactos Ambientais”, chama atenção a distribuição ao longo do período analisado, podendo-se observar um crescimento a partir de 2012. Uma explicação é o aumento acerca das preocupações quanto ao impacto ambiental ao longo deste período. Ainda, chama atenção a forte presença desse tema em documentos de patente, onde não necessariamente a análise de impactos ambientais é o foco, mas é abordada, indicando a importância deste tema.

A análise dos principais autores e ou patrocinadores dos documentos destaca a Academia Chinesa de Ciências como grande expoente na pesquisa de etanol de batata-doce. A Academia está presente, seja como autora ou coautora, em 7 documentos, sendo 6 artigos e 1 patente, que distribuídos ao longo do período analisado cobrem múltiplas taxonomias.

Na tentativa de identificar uma tendência temporal construiu-se o gráfico das taxonomias ao longo do tempo, conforme Figura 5.2. A análise do gráfico não permite identificar tendências de desenvolvimento de um tópico frente a outro.

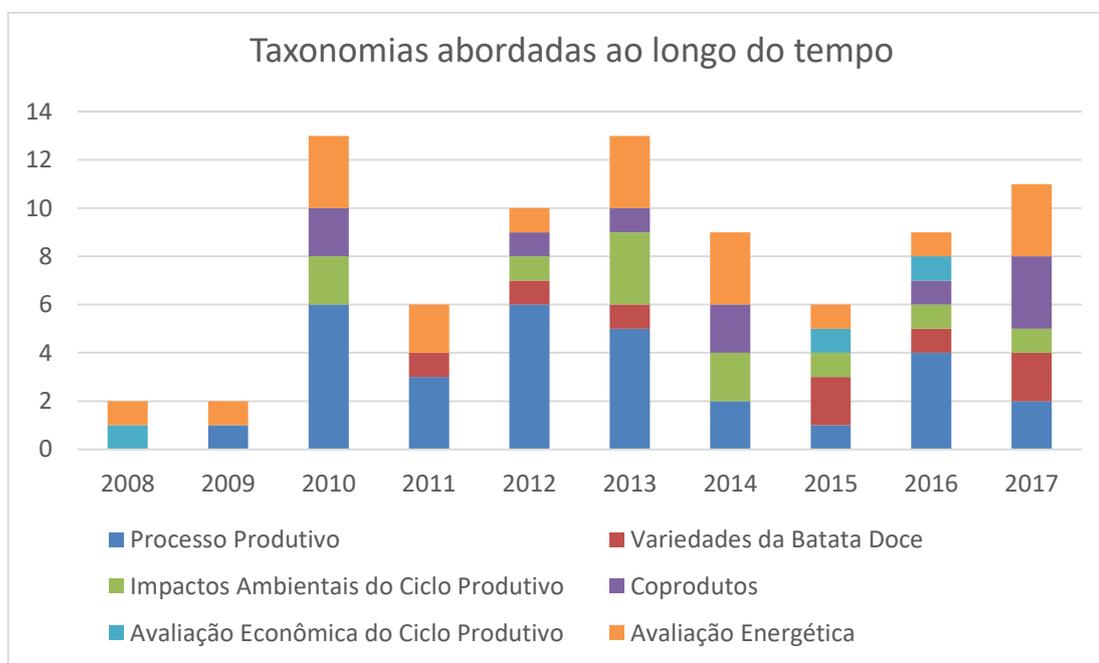


Figura 5.2: Distribuição temporal das taxonomias abordadas.

Fonte: Elaboração própria.

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Conclui-se que o trabalho fornece uma base estruturada que reflete de maneira qualitativa e quantitativa o estágio de desenvolvimento atual do etanol de batata-doce, possibilitando a visualização dos principais países e *players* atuantes e suas tendências tecnológicas ao longo do eixo temporal.

Dentre as conclusões que podem ser obtidas a partir do *Roadmap* elaborado, podem ser destacadas as seguintes:

- A China se destaca frente aos outros países, sendo responsável por 30% de todos os artigos científicos e pela totalidade dos documentos de patente. Ainda, a Academia Chinesa de Ciências se destaca como *player* sendo responsável por 7 documentos.
- Os outros países que se destacam, Taiwan, Índia, Brasil e EUA, têm em comum o fato de já terem um mercado desenvolvido de etanol.
- A tecnologia de produção de etanol a partir de batata-doce ainda está em estágio inicial de desenvolvimento, fato esse corroborado pelo elevado percentual de artigos cujo tópico é o processo produtivo, além da baixa quantidade de patentes e da pequena atuação de empresas.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se aprofundar o entendimento sobre as principais tecnologias em desenvolvimento, a partir da realização de comparações energéticas e análises econômicas. Com estes resultados poderá se ter uma visão do real estágio de desenvolvimento de cada uma das etapas envolvidas no processo.

7 Referências

Alternative Fuels Data Center (2014) *Choice Reviews Online*. doi: 10.5860/choice.51-3266.

Borschiver, S. and Silva, A. L. R. da (2016) *Technology Roadmap - Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia*. 1st edn. Interciência.

Cereda, M. P. (2003) *Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas*. Available at: <http://books.google.com.br/books?id=XoH4ZwEACAAJ>.

Chen, X. *et al.* (2016) *Surface display of pectinesterase on Saccharomyces cerevisiae for efficient bioethanol production from sweet potato starch*, *ACTA MICROBIOLOGICA SINICA*.

Cheng, S.-F. *et al.* (2015) 'Exploring the benefits of growing bioenergy crops to activate lead-contaminated agricultural land: a case study on sweet potatoes', *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(3), p. 144. doi: 10.1007/s10661-014-4247-y.

Cherubini, F. (2010) 'The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals', *Energy Conversion and Management*. Pergamon, 51(7), pp. 1412–1421. doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2010.01.015.

Cinelli, B. A. (2012) *Produção de etanol a partir da fermentação simultânea às hidrólise do amido granular de resíduo agroindustrial*. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Collares, R. M. (2011) *OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE HIDRÓLISE DA MANDIOCA IN NATURA, COM O USO DE ENZIMAS AMILOLÍTICAS E PECTINOLÍTICA*. Universidade Federal de Santa Maria. Available at: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7949> (Accessed: 14 July 2019).

Commission, E. (2006) *A vision for 2030 and beyond*. Available at: http://www.etipbioenergy.eu/images/biofuels_vision_2030.pdf (Accessed: 8 October 2018).

Coutinho, P. and Bomtempo, J. V. (2011) *ROADMAP TECNOLÓGICO EM MATÉRIAS-PRIMAS RENOVÁVEIS: UMA BASE PARA A CONSTRUÇÃO DE POLÍTICAS E ESTRATÉGIAS NO BRASIL*, *Quim. Nova*. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v34n5/32.pdf> (Accessed: 16 March 2019).

Dash, P. K. and Mohapatra, S. (2017) 'Optimization of bioethanol production from saccharified sweet potato root'.

DAYONG, S. (2012) 'Method for producing fuel ethanol by performing simultaneous saccharification and fermentation on sweet potato starch'. China.

FANG, H. Z. Y. J. Y. (2010) 'Method for producing high-concentration ethanol by fermenting sweet potato raw materials'. China.

Fao and Oecd (2015) *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024*. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i4738e.pdf> (Accessed: 2 May 2019).

Ferrari, M. D., Guigou, M. and Lareo, C. (2013) 'Energy consumption evaluation of fuel bioethanol production from sweet potato', *Bioresource Technology*, 136, pp. 377–384. doi: 10.1016/j.biortech.2013.03.045.

- Gu, H., Patton, D. and Corporation, C. (2019) 'China set to triple its ethanol production capacity: government researcher', *Reuters*, pp. 2019–2021. Available at: <https://www.reuters.com/article/us-china-ethanol/china-set-to-triple-its-ethanol-production-capacity-government-researcher-idUSKBN1OA0FH> (Accessed: 14 July 2019).
- HONG, S. J. (2013) 'Method for evaluating ethanol output of fresh sweet potato material'. China.
- HONG, S. J. (2013) 'Preparation method of ethanol by using sweet potato starch waste water'. China.
- Huang, Y. *et al.* (2012) 'Viscosity reduction during fuel ethanol production by fresh sweet potato fermentation', *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 18(4), pp. 661–666. doi: 10.3724/SP.J.1145.2012.00661.
- Huang, Y. *et al.* (2016) 'High-throughput microarray mapping of cell wall polymers in roots and tubers during the viscosity-reducing process', *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 63(2), pp. 178–189. doi: 10.1002/bab.1367.
- JIANFENG, D. (2016) 'Method for preparing coarse fodder from sweet potato fuel ethanol residues'.
- Jin, Y. *et al.* (2009) 'Very high gravity fermentation of ethanol with fresh sweet potato', *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 15(3), pp. 410–413. doi: 10.3724/SP.J.1145.2009.00410.
- Jong, E. de (2009) *IEA Bioenergy Task42 Biorefineries*. Available at: https://www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com/upload_mm/6/1/6/3dc6bf0d-9871-4841-be91-5d79e7fc3e5f_Leaflet IEA LR 100309.pdf.
- KANGLE, F. X. H. S. L. S. N. (2015) 'Method for preparing sugar and ethanol by use of sweet potato wastes'. China.
- Lay, C. H. *et al.* (2012) 'Simultaneous hydrogen and ethanol production from sweet potato via dark fermentation', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 27, pp. 155–164. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.12.027.
- Lee, W.-S. *et al.* (2012) 'Bioethanol production from sweet potato by co-immobilization of saccharolytic molds and *Saccharomyces cerevisiae*', *Renewable Energy*, 39(1), pp. 216–222. doi: 10.1016/j.renene.2011.08.024.
- Masiero, S. S. *et al.* (2014) 'Simultaneous cold hydrolysis and fermentation of fresh sweet potato', *Biomass and Bioenergy*. Elsevier Ltd, 70, pp. 174–183. doi: 10.1016/j.biombioe.2014.08.007.
- Moreira, V. A. (2016) *Elaboração de um roadmap tecnológico: estudo de caso de elastômeros manufaturados a partir de matérias-primas renováveis*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Mussatto, S. I. *et al.* (2010) 'Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production', *Biotechnology Advances*, 28(6), pp. 817–830. doi: 10.1016/j.biotechadv.2010.07.001.

- Mussoline, W. A. *et al.* (2017) 'Agronomic productivity, bioethanol potential and postharvest storability of an industrial sweetpotato cultivar', *Industrial Crops and Products*. Elsevier B.V., 95, pp. 96–103. doi: 10.1016/j.indcrop.2016.10.013.
- Mussoline, W. A. and Wilkie, A. C. (2017) 'Feed and fuel: the dual-purpose advantage of an industrial sweetpotato', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(5), pp. 1567–1575. doi: 10.1002/jsfa.7902.
- Ntoampe, M. *et al.* (2010) 'Microbial fuel and chemical production using sweet potatoes', *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 138, pp. 213–223. doi: 10.2495/DN100191.
- Prasad *et al.* (2011) 'Studies on bioethanol production from spoiled starch rich and cellulose rich'.
- Ren, J. *et al.* (2014) 'Determining the life cycle energy efficiency of six biofuel systems in China: A Data Envelopment Analysis', *Bioresource Technology*, 162, pp. 1–7. doi: 10.1016/j.biortech.2014.03.105.
- Santa-Maria, M. C. *et al.* (2011) 'Starch self-processing in transgenic sweet potato roots expressing a hyperthermophilic α -amylase', *Biotechnology Progress*, 27(2), pp. 351–359. doi: 10.1002/btpr.573.
- Schweinberger, C. M. *et al.* (2016) 'Ethanol production from sweet potato: The effect of ripening, comparison of two heating methods, and cost analysis', *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 94(4), pp. 716–724. doi: 10.1002/cjce.22441.
- Schweinberger, C. M. (2016) 'Inovação e otimização no processo de produção de etanol a partir de batata-doce'. Available at: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/143930> (Accessed: 11 May 2019).
- SCOPUS (2018) *Scopus | O maior banco de dados da literatura revisada por pares | Elsevier*. Available at: <https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus> (Accessed: 2 June 2019).
- Shen, Y. *et al.* (2011) 'Very High Gravity Fermentation Using Sweet Potato for Fuel Ethanol Production', *Advanced Materials Research*, 236–238, pp. 59–62. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.236-238.59.
- Srichuwong, S. *et al.* (2012) 'Sweet potato having a low temperature-gelatinizing starch as a promising feedstock for bioethanol production', *Biomass and Bioenergy*, 39, pp. 120–127. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.12.023.
- Su, M. H. *et al.* (2015) 'Water footprint analysis of bioethanol energy crops in Taiwan', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 88, pp. 132–138. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.06.020.
- Subhash *et al.* (2016) 'Studies on production of bioethanol from waste potatoes using co-culture of *saccharomyces cerevisiae* and *aspergillus Niger*'.
- Taborda *et al.* (2015) 'Evaluation of the technical and economic feasibility of ethanol production in a pilot plant using sweet potatoes'.

- Waluyo, B. *et al.* (2015) 'Identification of Fifty Sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) Promising Clones for Bioethanol Raw Materials', in *Energy Procedia*, pp. 22–28. doi: 10.1016/j.egypro.2015.01.024.
- Wang, M. *et al.* (2013) 'Life-cycle energy efficiency and environmental impacts of bioethanol production from sweet potato', *Bioresource Technology*, 133, pp. 285–292. doi: 10.1016/j.biortech.2013.01.067.
- Watanabe, T. *et al.* (2010) 'Selection of stress-tolerant yeasts for simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of very high gravity (VHG) potato mash to ethanol', *Bioresource Technology*, 101(24), pp. 9710–9714. doi: 10.1016/j.biortech.2010.07.079.
- WEIDONG, C. H. F. X. W. (2017) 'Method for producing ethanol from steam exploded sweet potato by fermentation'. China.
- WU, X. (2012) 'Ethanol fuel made from sweet potato'. China.
- XB, Cai, Yang Y, Sun YP, Zhang L, Xiao Y, Z. H. (2010) 'Electricity generation from sweet potato fuel ethanol wastewater using microbial fuel cell technology'.
- XIONG, Z. Z. N. C. C. H. Z. X. K. Z. X. (2012) 'Heat energy self-supporting ecological circulation technology for preparing fuel ethanol with sweet potato residue raw material'. China.
- Yam - Crop Trust* (2019). Available at: <https://www.croptrust.org/crop/sweet-potato/> (Accessed: 4 May 2019).
- Zhang *et al.* (2008) 'Potential yields of bio- ethanol from energy crops and their regional'.
- Zhang, J. *et al.* (2017) 'Life cycle energy efficiency and environmental impact assessment of bioethanol production from sweet potato based on different production modes', *PLOS ONE*. Edited by C. Du, 12(7), p. e0180685. doi: 10.1371/journal.pone.0180685.
- Zhang, L. *et al.* (2010) 'Energy-saving direct ethanol production from viscosity reduction mash of sweet potato at very high gravity (VHG)', *Fuel Processing Technology*, 91(12), pp. 1845–1850. doi: 10.1016/j.fuproc.2010.08.009.
- Zhang, P. *et al.* (2013) 'Starch saccharification and fermentation of uncooked sweet potato roots for fuel ethanol production', *Bioresource Technology*, 128, pp. 835–838. doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.166.
- ZHENGQIN, Y. (2014a) 'Method for power generation by sweet potato fuel ethanol waste water'. China.
- ZHENGQIN, Y. (2014b) 'Method for preparing roughage from sweet potato fuel ethanol dregs'. China.
- Ziska, L. H. *et al.* (2009) 'An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland', *Biomass and Bioenergy*. Pergamon, 33(11), pp. 1503–1508. doi: 10.1016/J.BIOMBIOE.2009.07.014.