



# **Aproveitamento de amido de mandioca para aplicações industriais: caso bioplásticos**

Diego do Carmo Simões

Monografia em Engenharia de Alimentos

Orientadores:

Prof. Bernardo Dias Ribeiro, D. Sc.

Prof.<sup>a</sup> Flávia Chaves Alves, D. Sc.

Dezembro de 2015

# **Aproveitamento de amido de mandioca para aplicações industriais: caso bioplásticos.**

***Diego do Carmo Simões***

Monografia em Engenharia de Alimentos submetido ao corpo docente da Escola de Química como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Graduação de Engenharia de Alimentos .

Aprovado por:

---

Aline Machado de Castro, D. Sc.

---

Prof. Fábio de Almeida Oroski, D. Sc.

---

Prof. Rodrigo Pires de Nascimento, D. Sc.

Orientado por:

---

Prof. Bernardo Dias Ribeiro, D. Sc.

---

Prof.<sup>a</sup>. Flávia Chaves Alves, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Dezembro de 2015

Simões, Diego do Carmo.

Aproveitamento de amido de mandioca para aplicações industriais: caso bioplásticos. Diego do Carmo Simões. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2015.

vii, 122 p.; il.

(Monografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2015.

Orientadores: Bernardo Dias Ribeiro e Flávia Chaves Alves.

1. Mandioca. 2. Amido. 3. Bioplástico. 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Bernardo Dias Ribeiro e Flávia Chaves Alves. I. Título

*“Sua tarefa é descobrir o seu trabalho e, então, com todo o coração, dedicar-se a ele.”*

*Siddharta Gautama*

## Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais por todo esforço, carinho, apoio e dedicação de vida para criar e educar seus filhos, tornando-se meus ídolos e aspiração para vida pessoal e profissional. Agradeço também ao meu irmão, Thiago, e minha cunhada, Giselly, por todos os conselhos profissionais e pessoais, momentos alegres e momentos tristes que nos ensinam mais que qualquer livro.

Agradeço aos meus orientadores, Bernardo e Flávia, por todo apoio, ensinamento, dedicação e carinho tanto durante esta monografia quanto como professores em sala e como monitor. As conversas, além de sempre agradáveis, eram muito proveitosas. Considero-me de sorte por ter orientadores como vocês que além de professores, são tutores que aconselham e ajudam. Aprendi com vocês que se aprende mais “quebrando a cara”, e levarei para minha vida profissional este e todos os outros ensinamentos passados.

Agradeço aos meus amigos de longa data, de São Gonçalo, como Jonny, Yggor, Mari, Carol (s), Wesley e outros; do CEMD, que foi minha primeira escola onde recebi muito atenção e carinho por todos; do M3, que aprendi a estudar e tive excelentes amigos, como Lele, Kelly, Luck, Day, Alina, Ana, Re, Celso, Marquinhos e outros que também estão no meu coração, mas não cabe no limite da página.

Agradeço aos meus amigos da EQ/UFRJ que me acompanharam nessa luta praticamente tragicômica, com muitas tristezas e risos. Em especial, a minha melhor amiga que é minha parceira de viagens e tudo, Naty Azeredo e sua família, que sempre me acolhe bem.

Agradeço ao BIOSE, em especial a Maria Alice e Ana Iraidy, pela orientação por 3 anos, onde aprendi a ser profissional, com bons e maus momentos mas, com certeza, com bastante aprendizado.

Agradeço a CBPAK, em especial ao meu gestor Tardelli, que mesmo não estando trabalhando juntos agora, ainda continua sendo meu tutor profissional, além de ótimo ser humano.

Agradeço aos meus professores/chefes das disciplinas que fui monitor, em especial ao Rodrigo, que sempre me ensinou e teve confiança no meu trabalho. Em especial, Karen que foi minha inspiração para ser Engenheiro de Alimentos.

Agradeço a meus parentes que mesmo distantes, sempre davam um pulinho no Rio (e pelas hospedagens, pois me ajudaram muitos nas minhas viagens – Suíça, lá vou..fui!!) e conversavam e me davam dicas, além do carinho, claro! Agradeço em especial minha prima, Maria Teresa, que é minha inspiração profissional, sempre me ensinando tanto.

Agradeço aos meus amigos de Niterói, que sempre me levavam para beber quando estava estressado. Agradeço aos meus amigos da academia que são recentes, mas o convívio tem sido grande e ótimo. Em especial ao meu *personal trainer*, Paulo, que tem me ensinado a ser menos ansioso e monge como ele.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Graduação em Engenharia de Alimentos.

## **APROVEITAMENTO DE AMIDO DE MANDIOCA PARA APLICAÇÕES INDUSTRIAIS: CASO BIOPLÁSTICOS.**

Diego do Carmo Simões

Dezembro, 2015

Orientadores: Prof. Bernardo Dias Ribeiro, D.Sc.

Prof.<sup>a</sup>, Flávia Chaves Alves, D.Sc.

A questão ambiental é tema de intensa discussão no cenário mundial, nas últimas décadas, redefinindo a maneira pela qual as organizações vêm conduzindo seus modelos de organização social e seus processos de modernização para a busca do progresso, definindo conceitos como desenvolvimento sustentável e química verde. Do qual, vêm explorando a ideia do melhoramento dos existentes ou do desenvolvimento de novos produtos e processos químicos, de modo a torná-los menos perigosos, para a saúde humana e para o ambiente. Dentro da linha verde e sustentável, o desenvolvimento de novos tipos de materiais para a substituição de plásticos originários do petróleo tem sido bastante incentivado, onde esses materiais podem ser biopolímero e outros. Dentre estes materiais destaca-se o amido que vêm sendo utilizado como matéria-prima para diversos segmentos industriais, com crescente aumento de interesse no desenvolvimento de materiais termoplásticos devido a sua matriz polimérica amorfa e homogênea que pode ser obtido pelos processos de gelatinização, em que o amido é submetido a condições de aumento de temperatura, cisalhamento e pressão. O amido pode ser encontrado em diversas fontes, como batata, milho, mandioca e outros. Devido às facilidades de adaptação a diversas condições climáticas, a mandioca vem conquistando espaço em vários países do mundo. O Brasil continua entre os principais países produtores de mandioca e ocupa a 4<sup>a</sup> colocação no ranking mundial. Sendo assim a industrialização da mandioca como fonte de amido para matéria-prima é uma boa alternativa, proporcionando a geração de empregos e um retorno financeiro para a atividade agroindustrial. Portanto, o objetivo deste trabalho é aproveitamento do amido de mandioca para aplicações industriais para o caso de Bioplásticos. Neste trabalho, foi realizado um estudo de viabilidade tecnológica onde através de profunda pesquisa na literatura foi discutido o viés dos processos para obtenção de embalagens de espuma de amido de mandioca através de termoprensagem que vêm sendo estudada pela sua praticidade e custo de produção, apresentando bons resultados e tornando-se uma nova tecnologia alternativa para os processos já existentes. Para complementar este trabalho, foi realizado um estudo de avaliação econômica do projeto definido na discussão tecnológica, onde através de parâmetros econômico foi analisada a viabilidade do projeto. Com isso, foi concluído que há viabilidade operacional e econômica, porém com alto risco do projeto devido a sensibilidade ao preço de venda do produto.

## Sumário

Capítulo 1: Introdução.....	1
1.1    OBJETIVO:.....	6
Capítulo 2: Amido .....	7
2.1    FONTES E ESTRUTURAS:.....	7
2.2    MODIFICAÇÕES NO AMIDO: .....	9
2.3    APLICAÇÕES INDUSTRIAIS:.....	11
Capítulo 3: Mandioca .....	13
3.1    DADOS BOTÂNICOS E USOS: .....	13
3.2    DERIVADOS DE MANDIOCA: .....	15
3.2.1    FARINHA:.....	16
3.2.2    FÉCULA:.....	17
3.2.3    FERMENTADOS: .....	19
3.3    PRODUÇÃO E MERCADO DA MANDIOCA E SEUS DERIVADOS: .....	22
3.3.1    PRODUÇÃO MUNDIAL DE MANDIOCA:.....	22
3.3.2    PRODUÇÃO BRASILEIRA DE MANDIOCA: .....	24
3.3.3    MERCADO MUNDIAL DE MANDIOCA: .....	26
Capítulo 4: Tecnologia de produção de bioplásticos a partir de amido de mandioca.....	32
4.1    ANÁLISE DE TIPO DE PROCESSO: .....	34
4.2    TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS: .....	36
4.3    DISCUSSÃO DETALHADA DO PROCESSO: .....	38
4.3.1    FORMULAÇÃO:.....	38
4.3.1.1    ADITIVOS:.....	40
4.3.2    OBTENÇÃO DE ESPUMA DE AMIDO: .....	43
4.3.3    REVESTIMENTO PÓS-PROCESSAMENTO: .....	47
4.4    MELHORIAS NO PROCESSO: .....	50
4.4.1    ADIÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS: .....	51
4.4.2    MODIFICAÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS:.....	53
4.4.3    BLENDAS POLIMÉRICAS:.....	55
4.5    PRODUTORES DE BIOPLÁSTICOS:.....	56
Capítulo 5: Avaliação Econômica do processo .....	61
5.1    PARÂMETROS DA ANÁLISE ECONÔMICA: .....	64
5.1.1    INVESTIMENTOS: .....	66
5.1.2    ESTIMATIVA DO PREÇO DE VENDA DO PRODUTO: .....	69

5.1.3	ESTIMATIVA DOS CUSTOS VARIÁVEIS: .....	70
5.1.4	ESTIMATIVA DOS CUSTOS FIXOS: .....	72
5.2	RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICA: .....	73
5.2.1	PONTO DE NIVELAMENTO: .....	73
5.2.2	CONSTRUÇÃO DO FLUXO DE CAIXA: .....	76
5.2.3	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO PELOS MÉTODOS DETERMINÍSTICOS: .....	77
5.2.4	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO EM CONDIÇÕES DE INCERTEZAS: .....	79
Capítulo 6: Conclusão.....		84
Capítulo 7: Referências bibliográficas .....		87

# CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

---

A questão ambiental é tema de intensa discussão no cenário mundial, nas últimas décadas, redefinindo a maneira pela qual as organizações vêm conduzindo seus modelos de organização social e seus processos de modernização para a busca do progresso. Desde os anos 70, a questão de degradação do meio ambiente junto ao mal uso dos recursos naturais vem sendo abordada em conferências mundiais, como a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano na capital da Suécia, Estocolmo, em 1972, emergindo contradições ligadas ao desenvolvimento e ao meio ambiente. Nesta conferência, foi proposto um estudo sobre as condições da natureza (conhecido como ‘desenvolvimento zero’), constatando uma série de impactos ambientais provocados pelos modelos de desenvolvimento. Após longos discursos, foi desenvolvido um documento sobre temas ambientais, de preservação e uso dos recursos naturais, dando início ao marco do desenvolvimento sustentável e a outras conferências internacionais, sendo elas, Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, Brasil (1992) e Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, em Johannesburgo, África do Sul (2002), denominação repetida para o Rio + 20, no Rio de Janeiro, Brasil (2012). A Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD), criada pela Conferência de Estocolmo, 1972, elaborou o Relatório *Brundtland*, em 1987, sendo conceituado o desenvolvimento sustentável onde, em essência, é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas (Silva, 2011).

No início dos anos 90, no atendimento das ações propostas pelas conferências internacionais sobre o meio ambiente, começou o movimento relacionado ao desenvolvimento da química verde, com a introdução de novos conceitos e valores para diversos setores da atividade industrial, explorando a ideia do melhoramento dos existentes ou do desenvolvimento de novos produtos e processos químicos, de modo a torná-los menos perigosos, para a saúde humana e para o ambiente. O exemplo disso,

em 1991, a agência ambiental norte americana EPA (*Environmental Protection Agency*), lançou o programa de “Rotas Sintéticas Alternativas para a prevenção da poluição” uma linha de financiamento para projetos de pesquisa que incluíssem a prevenção da poluição nas rotas sintéticas, caracterizando o nascimento da química verde. Em 1993 o programa expandiu-se incluindo outros tópicos, como solventes verdes e produtos químicos mais seguros, denominado “Química Verde”. Em 1995, foi lançado o programa *The Presidential Green Chemistry Challenge*, com o objetivo de premiar inovações tecnológicas que possam vir a ser implementadas na indústria para redução da produção de resíduos na fonte, em diferentes setores de produção. A *Royal Society of Chemistry* criou a *Green Chemistry Network* com o objetivo principal, de promover a sensibilização e facilitar a educação, formação e prática da química verde na indústria, comércio, escolas e universidades. Outra importante iniciativa foi a criação em 1999, da revista *Green Chemistry* dedicada à publicação de artigos inéditos, que de alguma forma contribuam para o desenvolvimento da área-título do periódico (Ramos, 2009).

Diante da pressão dos consumidores, entidades não governamentais e do surgimento de legislação mais rígida, as empresas deixaram de ser vistas apenas como organizações orientadas pelo lucro, com responsabilidades para resolver os problemas meramente econômicos e passaram a se voltar também para questões de caráter social, político e ambiental, tais como: controle da poluição, segurança e qualidade de produtos (Palhano, 2001).

Os produtos verdes ou materiais surgem como uma alternativa para atender os consumidores preocupados com o meio ambiente e em prol de um desenvolvimento sustentável. Esses produtos também são desenvolvidos como parte de uma estratégia empresarial socialmente responsável. São potencialmente corretos e causam menos impacto ao meio ambiente do que seus convencionais, ou seja, um produto verde apresenta um desempenho ambiental e social significativamente melhor do que os correspondentes. Em geral, são tidos como mais duráveis, não tóxicos, podendo ser elaborados com materiais reciclados, não ofensivos ao meio ambiente e a saúde humana, com o mínimo de embalagem possível e projetado para que os eventuais resíduos não provoquem degradação ao meio ambiente (Maua, 2011).

A valorização das empresas que atendem aos princípios da química verde, através de prêmios, selos e certificados ambientais, impulsiona o desenvolvimento de produtos verdes, fornecendo uma alternativa de desenvolvimento sustentável e criando com isso um elo entre os *stakeholders*, neste caso a indústria, o governo e os consumidores. Como exemplo citado por Santos e Abreu, 2009, que teve seu campo de estudo o agronegócio de cana de açúcar, são os grupos Toledo, João Lyra e Tercio Wanderley localizado no estado de Alagoas, Brasil (Santos e Abreu, 2009).

Para tanto, há diversos estudos sobre como o mercado está para estes produtos. Assim, o mercado identificou dois tipos de consumidores: o consumidor “verde ou ecológicos” que manifestam preocupação com o meio ambiente. Estes, ao comprar um produto, analisam os impactos que o mesmo irá exercer no meio ambiente. Por exemplo, este consumidor escolherá um produto desenvolvido a partir de um polímero biodegradável em vez de um produto de plástico, de origem fóssil e não biodegradável (Carvalhais, 2008). E, o consumidor “tecnológico” que busca principalmente apelos científicos e propostas de inovação, ou seja, busca produto que proporcionam benefícios tecnológicos. Estes representam uma tarefa desafiadora para as empresas no sentido de estimular novos hábitos e atitudes de compra de seus clientes (Enoki *et al.*, 2008).

Entretanto, apesar de ter sido evidenciada uma crescente preocupação com o meio ambiente, alguns estudos mostram que a cultura brasileira não estimula a compra de produtos verdes seja por motivos culturais, enraizados nos costumes e hábitos brasileiros, seja pela falta de utilização eficaz das estratégias de marketing por parte das empresas de maneira a incentivar a compra desses tipos de produtos. Em contrapartida, a partir da valorização das características dos produtos verdes, o estudo indicou que há predisposição por parte dos consumidores a pagarem mais por tais produtos por causa da percepção dos seus benefícios ou pelo seu valor agregado (Enoki *et al.*, 2008).

Com a nova realidade global e a crescente demanda por produtos verdes, grandes corporações começam a repensar suas estratégias de negócios visando adaptar-se a um mercado consumidor cada vez mais engajado e sensível às questões socioambientais. A partir do investimento em pesquisa e em novas tecnologias, alternativas mais sustentáveis surgem a cada dia. Um exemplo é o polietileno verde da Braskem, que iniciou sua produção em escala industrial em 2010 conferindo à empresa liderança mundial no mercado de biopolímeros. A competição tem influenciado as indústrias a

desenvolverem novas fontes de vantagens competitivas, exigindo um processo contínuo de inovação. Isso tem induzido as empresas a gerarem e utilizarem tecnologias e ferramentas que venham a criar oportunidades para novos produtos, serviços e processos industriais (Simon; Satolo, 2009). No ramo alimentício, o destaque é o Programa Suinocultura Sustentável Sadia - 3S, do qual são uma iniciativa pioneira na indústria alimentícia na América Latina, inserido no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), com o objetivo de contribuir para a redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) os quais em grandes quantidades são responsáveis pelo aquecimento global. O 3S é considerado referência internacional em sustentabilidade no sistema de suinocultura e tem influência direta na melhoria da qualidade de vida do suinocultor. Proporciona diversificação de renda, adequação ambiental da propriedade, elimina o mau cheiro e vetores prejudiciais à saúde, tem potencial para disponibilizar energia elétrica alternativa a partir da geração de biogás e possibilita a utilização de subprodutos como estoque de biofertilizante para o uso agrícola. No ramo de cosméticos, o destaque é a Natura, maior fabricante brasileira de cosméticos e produtos de higiene e beleza, que desenvolveu, através de tecnologia verde, embalagens totalmente recicláveis, não comprometendo as reservas minerais, ao contrário dos materiais de origem fóssil. Podendo ser reutilizada, por no mínimo cinco vezes, influenciam no preço do produto, saindo mais barato do que a de origem petroquímica (Vilha *et. al.*, 2005).

Dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, reuso, reciclagem e reaproveitamento, já fazem parte do dicionário das empresas. Preocupação com o produto e seu ciclo de vida, antes refletida somente sobre a logística e sua cadeia de suprimentos, agora tem outro significado, remetendo a estudos sobre a vida útil e a necessidade de recolhimento do que sobrou do produto após seu tempo de uso. Um dos principais problemas na gestão sustentável da cadeia de suprimentos é a capacidade de levar em conta uma ampla gama de assuntos em toda a cadeia a fim de favorecer todas as partes interessadas a pensar fora do próprio negócio específico, pensando na cadeia como um todo (Eulália *et al.*, 2010).

Portanto, desenvolver produtos sustentáveis é um objeto de desafio, um fator de competitividade das empresas no cenário globalizado e no desejo dos consumidores por produtos ecologicamente corretos. A essencialidade de um produto sustentável não é ser considerado um bem de consumo, mas ser reconhecido do ponto de vista do serviço que

ele produz. Isso propõe o conceito de “desmaterialização”, como base do critério de desenvolvimento sustentável (Fagundes, 2011).

Dentro da linha verde e sustentável, o desenvolvimento de novos tipos de materiais para a substituição de plásticos originários do petróleo tem sido incentivado. Esses materiais podem ser biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes (Brito *et al.*, 2011).

Os biopolímeros são polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como: milho, cana-de-açúcar, celulose, quitina, e outras. Para este tipo de material, vêm se intensificando os estudos da modificação de propriedades de biopolímeros para aprimorar o processamento e uso em diversas aplicações através de compósitos e nanocompósitos com intuito de melhorar propriedades como processabilidade, resistência térmica, propriedades mecânicas, propriedades reológicas, permeabilidade a gases e taxa de degradação. Como exemplo disso, a empresa Paper Foam de origem holandesa produz diversos tipos de embalagens através de amido e fibras naturais. Destacam-se, também, em biopolímeros base amidos a Biotec (Alemanha), Novamont (Itália) e Rodenburg (Holanda) (Belloli, 2010).

Os polímeros biodegradáveis são polímeros nos quais a degradação resulta da ação de microrganismos de ocorrência natural como bactérias, fungos e algas, podendo ser consumidos em semanas ou meses sob condições favoráveis de biodegradação. Eles podem ser provenientes de fontes naturais renováveis como milho, celulose, batata, cana de açúcar, ou serem sintetizados por bactérias a partir de pequenas moléculas como o ácido butírico ou o ácido valérico dando origem ao polihidroxibutirato (PHB) e ao polihidroxibutirato-co-valerato (PHB-HV), respectivamente, ou até mesmo serem derivados de fonte animal, como a quitina, a quitosana ou proteínas. Outros polímeros biodegradáveis podem ser obtidos de fontes fósseis, petróleo, ou da mistura entre biomassa e petróleo. Os polímeros biodegradáveis provenientes do petróleo mais conhecidos são as policaprolactonas – PCL, as poliésteramidas, os copoliésteres alifáticos e os copoliésteres aromáticos. Como exemplo, a empresa americana *Nature Works* é uma das maiores fabricantes de Bioplásticos com um portfólio diversificado (Brito *et al.*, 2011).

O polímero verde é atribuído aos polímeros que outrora eram sintetizados a partir de matéria-prima proveniente de fontes fósseis, mas que, devido a avanços tecnológicos

passaram também a ser sintetizados a partir de matéria-prima proveniente de fontes renováveis. Desta forma para diferenciar o polímero obtido a partir de matéria-prima de fonte renovável do obtido a partir de matéria-prima de fontes fósseis, o adjetivo verde é acrescentado ao nome do polímero. Exemplos de polímeros verdes são o polietileno verde (PE verde) e o policloreto de vinila verde (PVC verde), os quais mantêm as mesmas características dos obtidos polímeros obtidos de fontes fósseis. Nem o PE nem o PVC verde são biodegradáveis, entretanto, pelo fato de serem provenientes de fontes renováveis, são classificados como biopolímeros. No Brasil, duas grandes empresas produzem polímeros verdes. O primeiro polietileno verde, PE verde, foi produzido no Brasil, a partir do etanol da cana-de-açúcar. A tecnologia foi desenvolvida no Centro de Tecnologia e Inovação da Braskem, atuante do setor petroquímico. Assim como o polietileno verde, o policloreto de vinila verde, PVC verde, é também produzido a partir do etanol de cana-de-açúcar. No Brasil a empresa responsável por sua produção é a *Solvay Indupa* (Brito *et al.*, 2011).

## 1.1 OBJETIVO:

Baseado no conceito de sustentabilidade dentro da engenharia, o objetivo deste trabalho é aproveitamento do amido de mandioca para aplicações industriais para o caso de Bioplásticos, conforme figura 1.1. Para isso, este trabalho discutirá sobre a mandioca (espécies existentes, composição, produtos derivados e mercado geral), amido (fontes diversas, modificações, aplicações e mercado), produção de Bioplásticos (análise dos tipos de processos, tecnologia disponíveis e discussão em detalhes do processo), avaliação econômica (análise econômica do processo e discussão sobre melhorias no processo) e uma conclusão sobre o que foi discutido em todo o trabalho.



Figura 1.1 - Copos de amido de mandioca

Fonte: CBPAK Embalagens Sustentáveis S/A

# CAPÍTULO 2: AMIDO

---

## 2.1 FONTES E ESTRUTURAS:

Amido é um polissacarídeo constituído de monômeros de glicose unidos por uma ligação  $\alpha$ -1,4, utilizado como reserva energética em vegetais. O comprimento da cadeia de carbono depende da fonte da planta da qual é obtido. Devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade, o amido tem sido bastante estudado no sentido de ser modificado ou misturado com outras substâncias químicas para melhoramento de sua processabilidade, formando uma diversa gama de produtos (Belloli, 2010).

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha(1\rightarrow4)$ , originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em  $\alpha(1\rightarrow4)$  e  $\alpha(1\rightarrow6)$ , formando uma estrutura ramificada. Embora a amilose seja definida como linear, atualmente se admite que algumas de suas moléculas possuem ramificações, semelhantes à amilopectina. As propriedades mais importantes com influência no seu valor nutricional incluem a taxa e a extensão da digestão ao longo do trato gastrointestinal e o metabolismo dos monômeros absorvidos (Medeiros *et. al.*, 2005). Basicamente, o amido é formado por moléculas de  $\alpha$ -glicose e possui a fórmula  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , sendo que “n” pode variar de 60 000 a 1 000 000 de unidades, sendo que esses milhares de monômeros de glicose estão ligados por ligações glicosídicas alfa, de maneira linear e ramificada. A estrutura química está representada na Figura 2.1:

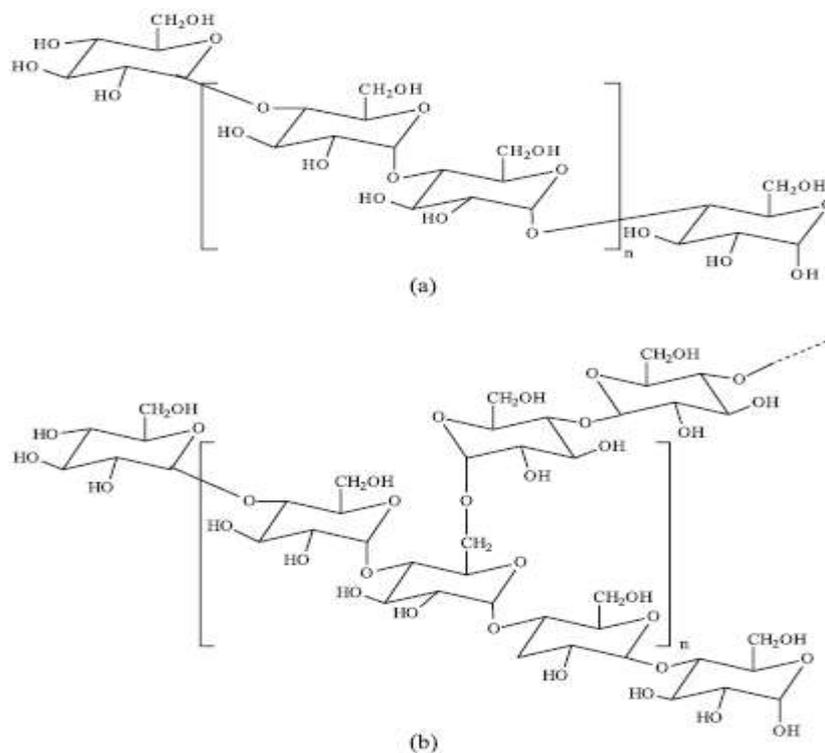


Figura 2.1 - Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b).

Fonte: Medeiros *et al.*, 2005

O amido é a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana, representando 80% a 90% de todos os polissacarídeos da dieta, e o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados. O seu comportamento pode ser modificado através da introdução de certos compostos na sua estrutura ou por meio de tratamentos físicos. Há uma diversidade de fontes amiláceas, entretanto, determinadas fontes botânicas oferecem dificuldades para a extração de amido, e ou oferecem uma quantidade relativamente pequena do mesmo. Tais fatores geram muitas vezes certos obstáculos para se estudar tais carboidratos e, dessa forma, impedem o conhecimento das propriedades que os mesmos podem oferecer e assim direcionar suas aplicações, de acordo com suas características (Alexandrino, 2006).

As fontes mais comuns de amido alimentício são milho, batata, trigo, mandioca, arroz, inhame e aveia, de acordo com a tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Composição de amilose em fontes naturais de amido.

Fonte vegetal	Amilose (%)
Milho	25
Batata	23
Arroz	15 – 25
Trigo	20
Mandioca	16 – 20
Inhame	30
Aveia	16 – 33

Fonte: Mali *et. al.*, 2010

Todos os amidos são constituídos de uma ou de ambas destas moléculas, mas o percentual de uma para outra varia de acordo com a fonte de amido. O milho possui 25% a 28% de amilose com o restante sendo amilopectina. A mandioca contém aproximadamente 17% (Mali *et. al.*, 2010). O Brasil é o quarto maior produtor mundial de mandioca (segundo dados da FAO referentes a 2014), sendo cultivada em diversos estados brasileiros, gerando desenvolvimento e emprego no país. Assim, considera-se ser de interesse tanto econômico como ambiental, promover industrialmente a obtenção de produtos a partir de amido de mandioca (Büchler, 2007).

A ANVISA define de forma distinta amido de fécula, de acordo com o RDC de número 12 de 1978 como fécula sendo um produto amiláceo extraído da mandioca. O amido de tubérculos e de raízes, ou fécula como é comumente chamado, vem sendo utilizado há muitos anos na alimentação humana, nos mais variados produtos culinários. As féculas de mandioca (ou polvilho doce), de araruta, de batata e a fécula fermentada de mandioca (ou polvilho azedo) são os representantes mais conhecidos, fato que leva a pouca utilização de outras fontes na obtenção de féculas, fermentadas ou não. Para que um vegetal seja considerado como fonte de amido deve conter quantidade deste carboidrato, ser de fácil extração e apresentar interesse econômico pelas suas propriedades. Este último fator vem justificar a extração de amidos com baixo rendimento (Pereira *et. al.*, 1999).

## 2.2 MODIFICAÇÕES NO AMIDO:

O comportamento do amido pode ser modificado através da introdução de certos compostos na sua estrutura ou por meio de tratamentos físicos permitindo “moldar” o amido de acordo com a finalidade desejada. O amido de mandioca é considerado de alta

expansão porque seus grânulos sofrem grande inchamento quando aquecidos em água. A estrutura química do amido pode ser alterada por métodos químicos, físicos, enzimáticos ou pela combinação de todos, com a formação de produtos com propriedades diferentes do amido nativo. Dependendo da intensidade deste processo vários produtos podem ser obtidos, estabelecendo-se amplo campo de desenvolvimento de pesquisa e de aplicação de conhecimento tecnológico (Henrique *et. al.*, 2008).

Modificações químicas envolvem a introdução de grupos funcionais na molécula do amido, resultando na alteração das propriedades físico-químicas. Tais modificações do grânulo do amido nativo alteram profundamente o seu comportamento de gelatinização, pasta e retrogradação. Modificações no amido, que envolvem a alteração das características físicas e químicas do amido nativo para melhorar suas características funcionais, são utilizadas para adaptar o amido às aplicações para o desenvolvimento de novos produtos (Pereira, 2011).

Para obter amido com viscosidade reduzida e mudanças nas suas propriedades reológicas, podem ser utilizadas diferentes modificações químicas como oxidação, que levam a formação de compostos que evitam a retrogradação, com grande aplicabilidade na indústria de papel, têxtil, e de alimentos no preparo de balas de goma, coloides e para formar filmes. Quando o amido é processado sobre efeito de cisalhamento, a estrutura sofre modificações gerando um material amorfo. Modificações físicas podem alterar a estrutura do amido e conseqüentemente sua viscosidade (Carr, 2007).

A hidrólise enzimática de amidos não é apenas um importante processo industrial para a produção de adoçantes, xaropes e produtos químicos (etanol, acetona, etc.), mas pode também ajudar a estudar a estrutura dos grânulos de amido. A hidrólise enzimática do amido granular tem sido utilizada como técnica que possibilita o entendimento da estrutura física e química do grânulo e de seus componentes (Rocha, 2007).

As modificações devem ser sempre consideradas em relação às propriedades físicas ou químicas dos amidos naturais ou nativos, dos quais são derivados. Os grânulos não modificados do amido nativo hidratam facilmente, intumescem rapidamente, rompem-se, perdem viscosidade e produzem uma pasta pouco espessa, bastante elástica e coesiva. A modificação dos amidos nativos é um fator importante para proporcionar propriedades funcionais de espessamento, gelificação, adesão e/ou formação de filmes. Alguns autores citam também que a modificação de amidos permite

melhorar a retenção de água, aumentar a estabilidade, melhorar a sensação ao paladar e brilho, gelificar, dispersar ou conferir opacidade (Carr, 2007).

## 2.3 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS:

O amido é utilizado como matéria-prima para diversos segmentos industriais, como para a fabricação de papéis, explosivos, bebidas alcoólicas, roupas, dentre outros. Suas aplicações são direcionadas conforme as propriedades que determinados amidos possuem, sendo o conhecimento fundamental para definir suas aplicações (Alexandrino, 2006).

Devido ao relativo baixo custo, o amido tem sido muito utilizado pela indústria alimentícia para alterar ou controlar diversas características em produtos, como textura, aparência, umidade, consistência e estabilidade no tempo de prateleira. Também serve tanto para estabilizar emulsões quanto para formar filmes resistentes ao óleo. O amido ainda pode ser usado como auxiliar em processos, na composição de embalagens e na lubrificação ou equilíbrio do teor de umidade. A aplicação do amido na produção de filmes se baseia nas propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para formar géis e na sua capacidade para formar filmes. As moléculas de amilose em solução, devido à sua linearidade, tendem a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes resistentes (Nassar *et al.*, 1986).

A partir da década de 1990, aumentou o interesse no desenvolvimento de materiais termoplásticos compostos essencialmente por amido envolvendo a adição de plastificantes para melhorar as propriedades mecânicas. Os plastificantes devem ser compatíveis com o biopolímero e, geralmente, são adicionados na proporção de 10 a 60 g/g matéria seca, dependendo do grau de rigidez do material (Mali *et. al.*, 2010).

Os plastificantes mais indicados para serem empregados em filmes de amido são os polióis, como o glicerol e o sorbitol, que vão proporcionar a estes materiais uma melhoria nas suas propriedades mecânicas. Outros tipos de aditivos geralmente utilizados são os agentes antimicrobianos, vitaminas, antioxidantes, aromatizantes e pigmentos. A escolha do material a ser utilizado na formulação dos filmes e revestimentos é muito importante, pois deste dependerão as interações entre os

componentes do material, que poderão interferir nas propriedades de barreira, mecânicas e sensoriais dos filmes (Mali *et. al.*, 2010).

As possibilidades de aplicações industriais do amido são praticamente inesgotáveis, bastando haver adequação ou alteração de suas características físico-químicas às necessidades dos processos e produtos, tais como formação de filmes transparentes ou opacos, elevados ou baixa viscosidade aparente, cremosidade, untuosidade, capacidade de retenção de umidade, entre outras. Desenvolver aplicações para os novos ingredientes, modificados e com propriedades únicas, com baixo custo e excelente desempenho é um grande desafio para as empresas que produzem amidos. Esse desafio precisa ser enfrentado para garantir o sucesso deste importante insumo para as indústrias de diversos ramos, com destaque para a alimentícia, têxtil e de papel e celulose. As embalagens feitas de materiais biodegradáveis podem ser utilizadas como alternativa para a diminuição do impacto ambiental causado pelas embalagens convencionais. Os quatro maiores mercados para materiais biodegradáveis são: embalagens para alimentos, embalagens para produtos não alimentícios, produtos de uso pessoal e saúde, produtos de consumo (Davis e Song, 2006).

Dos produtos tradicionalmente processados no Brasil, oriundos da mandioca, o que possui tecnologia mais avançada, é o amido (no caso, fécula de mandioca), possibilitando a obtenção de vários produtos (Alexandrino, 2006).

No contexto de Bioplásticos, o amido da mandioca destaca-se por ser uma boa fonte de amido, possuindo grandes quantidades desse polissacarídeo em sua composição e apresenta disponibilidade durante todo o ano a baixo custo.

# CAPÍTULO 3: MANDIOCA

---

## 3.1 DADOS BOTÂNICOS E USOS:

Segundo definição da EMBRAPA, a mandioca (*Manihot esculenta*, *Manihot utilíssima* e outras espécies), que é oriunda da América do Sul, constitui um dos principais alimentos energéticos para mais de 700 milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento. A mandioca pertence à família *euphorbiaceae*; apesar de ser uma planta perene, sua lavoura é classificada como temporária nos diferentes censos e pesquisas realizados no país por ser replantada anualmente. Possui uma casca fina na cor marrom, sendo que a parte interna é branca. De janeiro a julho ocorre o período de safra da mandioca. As raízes são ricas em carboidratos, podendo ser consumidas após simples cozimento e/ou após transformação em diversos tipos de farinhas (IBGE, 2010).

Sua raiz, rica em fécula, é a parte efetivamente utilizada, tanto na alimentação humana como na alimentação animal e, cada vez mais, como insumo em diferentes setores produtivos. Em geral, a raiz da mandioca é branca, mas pode ter coloração avermelhada ou amarelada, dependendo da variedade. Em algumas regiões, as folhas também são utilizadas para alimentação humana ou animal (neste último caso, como forma barata de acrescentar proteínas às rações) (SEBRAE, 2012). Por ser oriunda de região tropical, a mandioca é favoravelmente cultivada em climas tropicais e subtropicais, com uma faixa de temperatura-limite de 20°C a 27°C, em relação à média anual; a temperatura média ideal para a atividade gira em torno de 24°C a 25°C (EMBRAPA, 2003).

Dentre as espécies de mandioca, há duas vertentes principais: mandioca mansa ou doce, relacionadas à espécie *Manihot utilíssima*; e a mandioca brava ou amarga, relacionadas à espécie *Manihot esculenta*. A mandioca brava tem seu nome devido ao alto teor de glicosídeos cianogênicos (linamarina e lotaustralina) presentes nos tecidos da planta (mais de 100 mg de HCN/Kg), que, ao hidrolisar-se por ação enzimática (linamarase), desdobram-se em ácido cianídrico (HCN), atribuindo a este último a toxicidade característica na mandioca, pois inibe as atividades enzimáticas da cadeia respiratória nos seres vivos, podendo, dependendo da concentração presente no indivíduo, causar óbito (André *et. al.*, 2012).

O grupo de variedades de mandioca mansa caracteriza-se, principalmente, por apresentar teores de cianeto abaixo de 100 mg/kg de polpa nas raízes frescas. As variedades com concentrações de cianeto na raiz fresca acima de 100 mg/kg de peso são denominadas bravas ou venenosas, ou seja, impróprias para consumo fresco, sendo, portanto, indicadas para a indústria, onde a toxicidade da raiz é reduzida durante o processamento (Borges *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2007).

Como o teor de HCN nas raízes é liberado durante o processamento, na indústria podem ser utilizadas tanto cultivares de mandiocas mansas como bravas. A mandioca industrializada pode dar origem a inúmeros produtos e subprodutos, dentre os quais se destacam a farinha e a fécula, também chamada de amido, tapioca ou goma. Nesse caso, as cultivares devem apresentar alta produção e qualidade do amido e da farinha. Além disso, é importante que as cultivares apresentem raízes com polpa de coloração branca ou amarela, córtex branco, ausência de cintas nas raízes, película fina e raízes grossas e bem conformadas, o que facilita o descascamento e garante a qualidade do produto final (EMBRAPA, 2003).

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), também conhecida como cassava, manioc, yuca, tapioca, sagu, aipim (Rio de Janeiro) ou macaxeira (Nordeste), mandioca doce, pertence à família das Euforbiáceas (Lorenzi, 2009). É utilizada na alimentação como farinha, In Natura, polvilho, carimã ou puba, tapioca, beiju, tucupi, tiquira, cauim e também para alimentação animal.

Além de seus tradicionais derivados, a mandioca, devido ao amido, hoje é muito usada na produção de xaropes, papel, colas especiais, aditivos alimentares orgânicos, cerveja orgânica, rações e outros. (De Souza *et al.*, 2013). Segundo a TACO/UNICAMP (2011), a mandioca crua é majoritariamente composta por carboidratos e apresenta teor de umidade em torno de 60%.

Pode ser mantida no solo durante um longo período (até dois anos) e colhida quando necessária. Contudo, uma vez colhida, a mandioca fresca é altamente perecível, sendo imprópria para ser vendida em mercados distantes. Há também uma elevada demanda por chips de mandioca, usados como alimentos para animais. Contudo, na média africana, cerca de 90% da produção é destinada ao consumo humano e apenas 10% é processada como alimentos para animais (De Souza *et al.*, 2013).

## 3.2 DERIVADOS DE MANDIOCA:

O processamento da mandioca envolve a fabricação de farinha e a extração do amido, também chamado de fécula. Estes processos resultam em uma variedade de resíduos sólidos, como as cascas, descartes e bagaços, ou resíduos líquidos, como a manipueira e a água da lavagem da raiz. No processo de industrialização da mandioca predomina a fabricação da farinha de mesa e a extração de fécula, gerando resíduos sólidos ou líquidos. Os resíduos líquidos são constituídos pela água oriunda do processo de lavagem das raízes, a manipueira, que vem a ser a água de constituição da raiz, extraída da prensagem da massa ralada, na confecção da farinha e também pela água de extração da fécula da mandioca. Cerca de 20% da parte aérea da mandioca é utilizada para o replantio, desta forma recomenda-se que para a alimentação seja fornecido o terço superior da planta, deixando a parte mais grossa e lenhosa para a multiplicação (Meneghetti *et. al.*, 2008).

Segundo Marques *et al.* (2000), a casca de mandioca apresenta baixo teor de amido, por ser formada principalmente por elementos estruturais. Apesar desta característica, diversos pesquisadores observaram maior digestibilidade dos nutrientes da casca em relação ao milho. As raspas são compostas do material proveniente da operação de seleção das raízes, basicamente raiz integral, ou seja, polpa e casca. O farelo de bagaço da mandioca é um resíduo sólido originado do processo de extração da fécula, composto por material fibroso de raiz, contendo parte do amido que não foi extraído no processamento físico.

Portanto, a mandioca apresenta uma ampla gama de aplicações de acordo com a Figura 3.1.

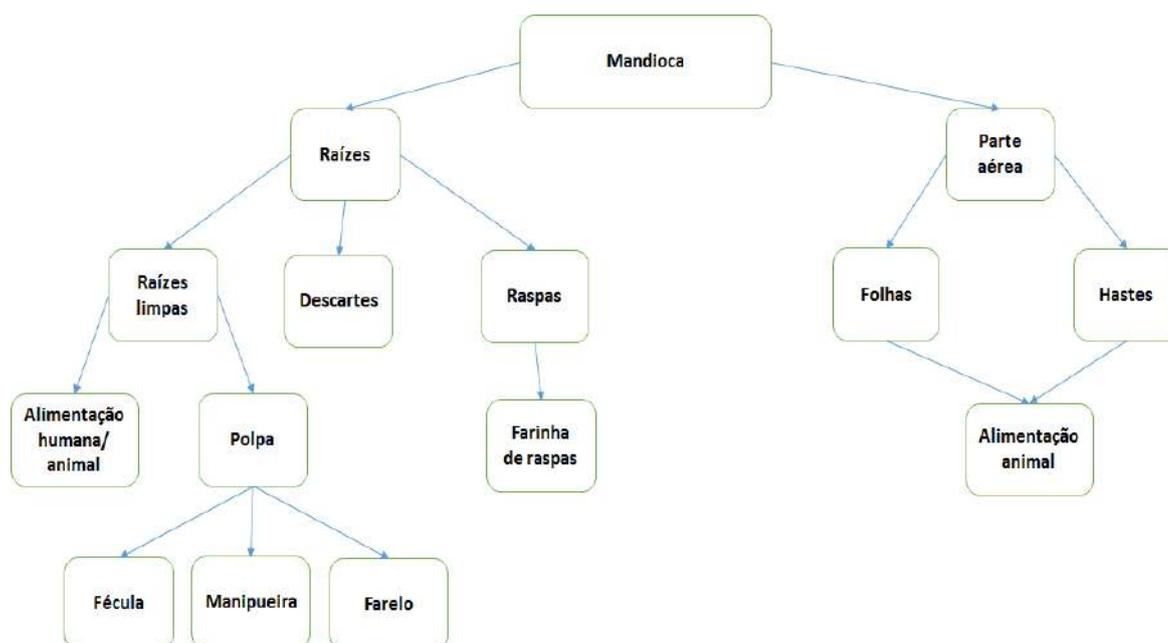


Figura 3.1 – Esquema geral dos principais derivados a partir da mandioca

Fonte: Elaboração própria – Baseado em MAPA & CONAB 2012

### 3.2.1 FARINHA:

Segundo a legislação brasileira, farinha é o produto obtido pela moagem da parte comestível de vegetais, no caso a raiz de mandioca, que passou previamente por processos tecnológicos adequados. As farinhas sofrem diferentes processos complementares e podem ser comercializadas como crua, torrada, temperada, fina, grossa etc. Reconhecem-se dois tipos de farinha (BRASIL, 1978):

- Farinha simples: é feita de apenas uma espécie vegetal, que deve ser citada, precedida da qualificação de sua origem;
- Farinha mista: pode ser feita com duas ou mais espécies vegetais;

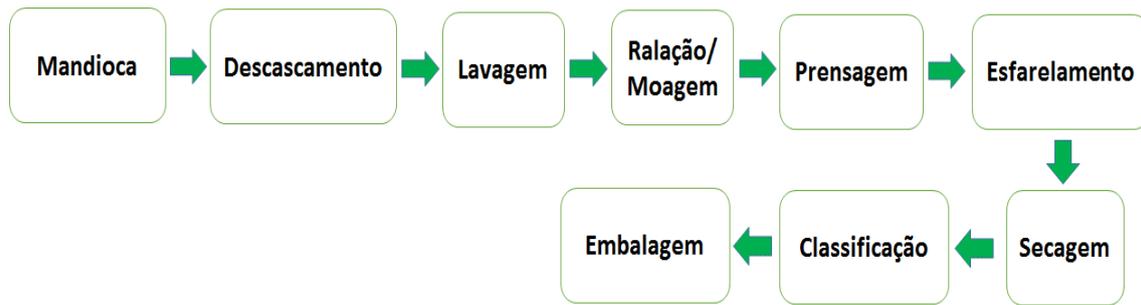


Figura 3.2 - Etapas do processamento da farinha de mandioca

Fonte: Elaboração própria – Baseado em: Processamento e Utilização da Mandioca – EMBRAPA, 2005.

Como descrito por EMBRAPA (2005), representado na Figura 3.2, as raízes de mandioca são descascadas e limpas para posteriormente serem enviadas para os raladores. Nessa operação, a mandioca é reduzida a uma massa mais ou menos fina. Subsequente à ralação, a massa é prensada para eliminar o excesso de água para facilitar a secagem e evitar formação de goma. A oxidação também é reduzida, porque a massa fica reunida em blocos, que oferecem menor exposição ao ar. A massa, depois de prensada, passa pelo processo de esfarelamento, onde sobre a forma de blocos compactos, provoca-se o seu desmembramento, por meio de um ralador, para seguir para etapa de torração ou secagem. A torração é uma operação delicada, talvez a que mais influa na qualidade do produto final. Dela depende o sabor, cor e a conservação da farinha. Após torrado, passa-se por uma classificação para uniformização da granulometria, sendo embalado para expedição. O processamento descrito produz qualquer tipo básico de farinha. Pequenas alterações de matéria-prima, processos e equipamentos podem produzir farinhas especiais.

### 3.2.2 FÉCULA:

Segundo as normas técnicas da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (BRASIL, 1978), as especificações para produtos amiláceos no Brasil classificam os produtos em amidos e féculas como: amido é o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais (sementes e etc.); e fécula é o produto amiláceo extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raízes e rizomas) (EMBRAPA, 2005).

Entre os produtos e subprodutos da mandioca, sem dúvida o mais versátil e valorizado é a fécula, sendo obtida através do descascamento das raízes da mandioca, prensagem e separação do amido. Sofre processo de desidratação, obtendo-se o produto final que vai para comercialização em forma de pó. A fécula é uma substância amilácea encontrada nas raízes e tubérculos. Sendo características almejadas: branca, insípida, insolúvel em água fria, embora absorva água e os grânulos inchem. Em água fria, o amido é insolúvel, mas forma suspensões leitosas e separa-se por decantação, após certo período de descanso. A partir de 60°C, o amido transforma-se em uma substância gelatinosa, a que se denomina goma de amido. O processo de fabricação se inicia como para a farinha de mandioca. A lavagem, o descascamento e o armazenamento são os mesmos que para as farinhas, assim como os problemas da demora no processamento (SEBRAE, 2009). Após a etapa inicial, similar da farinha, a fécula é submetida à ralação, que é a operação que diferencia o processamento de farinha daquele da fécula, pois é destinada a romper os tecidos da raiz da mandioca, para facilitar a liberação dos grânulos de fécula. Dos raladores, a massa ralada vai para uma sequência de peneiras cônicas rotativas, separando a suspensão de fécula mais água, do bagaço ou farelo. A purificação inicia-se em separadoras centrífugas de pratos em série, eliminando o leite de fécula e água com substâncias solúveis como açúcares e material proteico. O material amiláceo é encaminhado a um secador, recolhendo após o processo, um pó muito fino, estando pronto para acondicionamento e expedição, de acordo com a Figura 3.3.

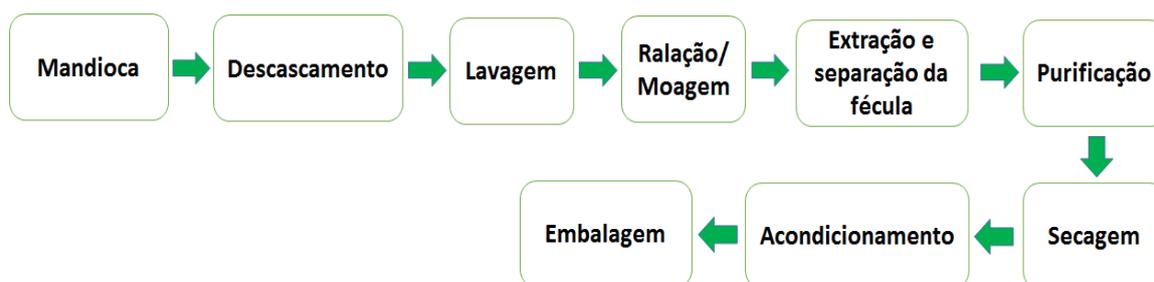


Figura 3.3 - Etapas do processamento de fécula de mandioca

Fonte: Elaboração própria – Baseado em: Processamento e Utilização da Mandioca – EMBRAPA, 2005.

A manipueira é subproduto da industrialização da mandioca, de consistência leitosa, originário da prensagem da mandioca, constituída quimicamente de amido, glicose e outros açúcares, proteínas, linamarina e derivados cianogênicos, substâncias orgânicas diversas e sais minerais. Devido à presença destes cianetos, possui

potencialidade nematicida, inseticida e acaricida. O enxofre garante eficiência como fungicida, podendo ser utilizado na fertirrigação (André *et al.*, 2012).

O processo de produção de fécula de mandioca, qualquer que seja o grau de tecnologia empregada, compreende as etapas de lavagem e de descascamento das raízes, desintegração das células e liberação dos grânulos de amido, separação das fibras e do material solúvel e finalmente, a secagem. Durante o processamento é gerado o bagaço, massa ou farelo, resíduo fibroso que contém parte da fécula que não foi extraída no processamento (Leonel, 1998).

O farelo (resíduo de mandioca) é subproduto industrial obtido a partir da raiz através do processo de extração da fécula ou da farinha, que se não destinado adequadamente, torna-se contaminante ambiental, sua composição varia principalmente quanto ao teor de amido, muito variável devido à correlação direta com a eficiência do processo de extração industrial (Cardoso, 2004).

### 3.2.3 FERMENTADOS:

O processo fermentativo tem início com a geração de açúcares a partir do amido, por microrganismos amilolíticos. A partir desta fonte de carbono, bactérias e leveduras passam a atuar gerando compostos ácidos, aromáticos, vitaminas e muitos outros (Avancini, 2007).

O amido fermentado de mandioca (polvilho azedo) é um amido naturalmente modificado através da fermentação e secagem ao sol, resultando em produto com a peculiar propriedade de expansão, sem glúten e sem fermento, para a elaboração de inúmeros produtos de panificação, como produto base do pão-de-queijo, bastante utilizado na culinária caseira, fonte de complementação da receita de pequenas propriedades familiares (Cardoso, 2004).

Dentre os diversos produtos fermentados de mandioca, destacam-se no cenário brasileiro, o polvilho azedo, etanol e tiquira, por terem maior expressão econômica. A fécula fermentada, conhecida como polvilho azedo no Brasil é obtida pela fermentação natural da fécula doce da mandioca. Este produto é utilizado na fabricação do biscoito de polvilho e pão de queijo. O processo fermentativo altera o grânulo do amido, conferindo ao polvilho azedo características peculiares, como modificação de sabor e

aroma e alteração da sua reologia. A atividade microbiana durante a fermentação promove modificações nas propriedades funcionais do amido, que são essenciais para que a massa do biscoito se expanda durante a cocção, representado na Figura 3.4 (Avancini, 2007).

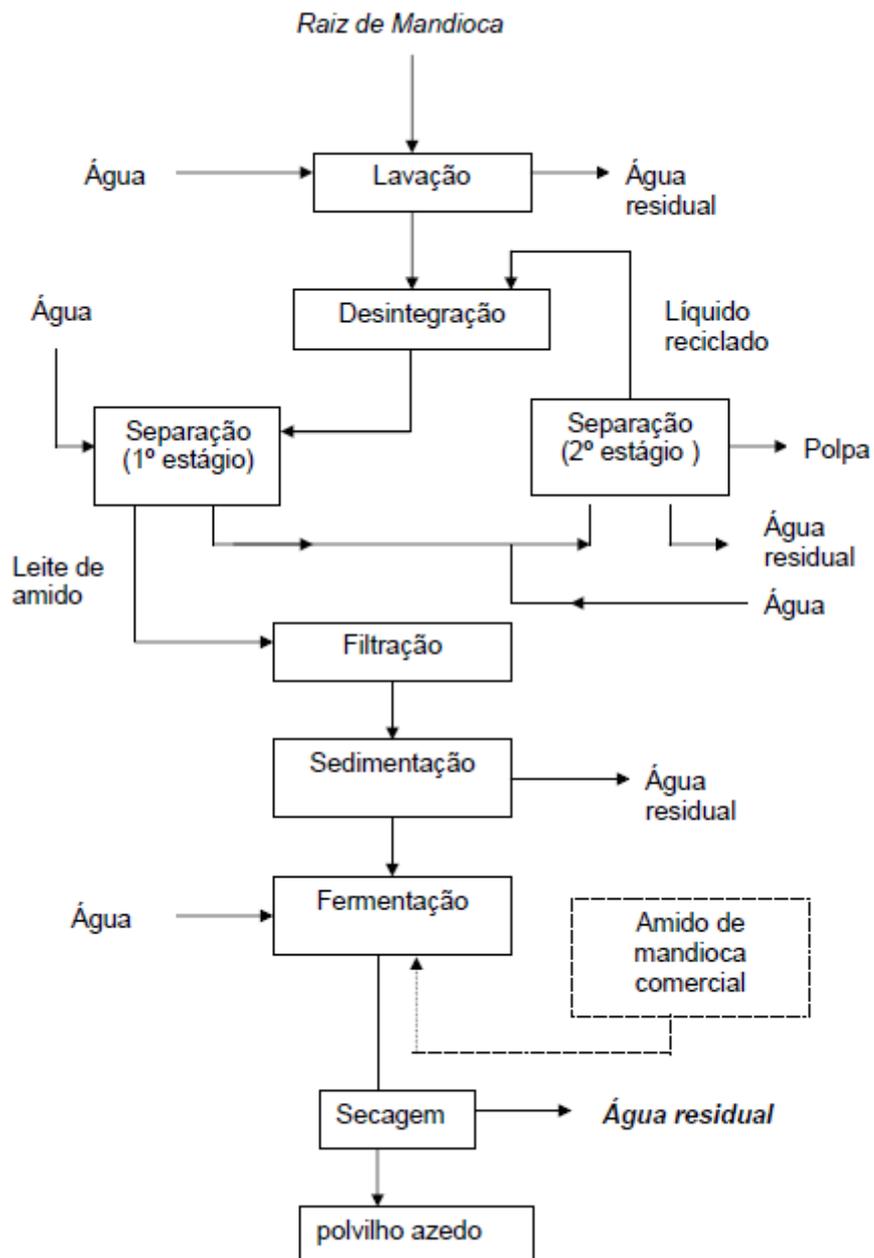


Figura 3.4 - Processo de produção do polvilho azedo

Fonte: Avancini, 2007

A produção de etanol no Brasil, em sua grande maioria, origina-se do cultivo da cana-de-açúcar, podendo ser citado ainda a mandioca como outra opção de matéria prima alcooleira. Esse processo é denominado de hidrólise e baseia-se na transformação

do amido ou fécula em açúcares fermentáveis. Realiza-se por via química ou biológica. O processo químico utiliza ácido para a quebra do amido. Já a hidrólise biológica, de longe a mais empregada atualmente, faz-se por ação enzimática ou pela ação microbiana de certos fungos. O processo da fermentação alcoólica caracteriza-se como uma via catabólica, na qual há a degradação de moléculas de açúcar (glicose ou frutose), no interior da célula de microrganismos (leveduras ou bactérias), até a formação de etanol e CO<sub>2</sub>, havendo liberação de energia química e térmica, representado pela Figura 3.5 (Agustini *et. al.*, 2007).

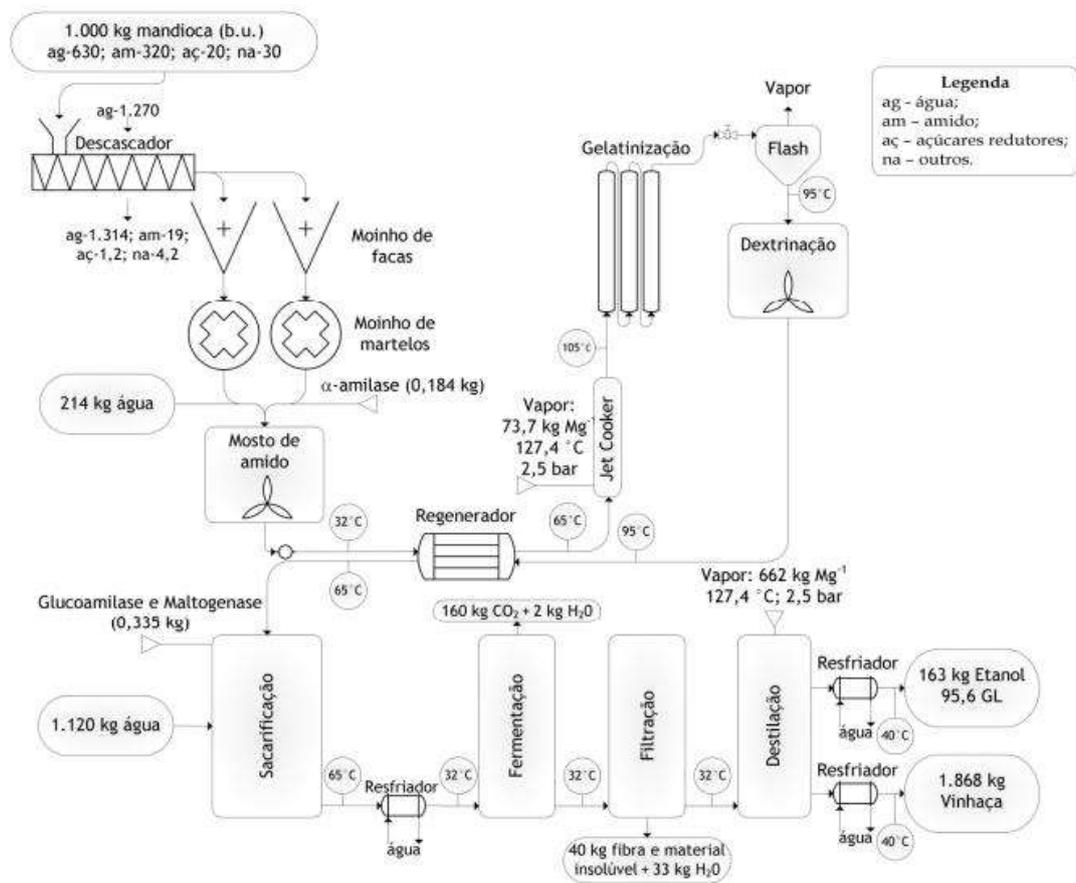


Figura 3.5 - Fluxograma simplificado da produção de etanol de mandioca

Fonte: Veiga, 2012

A Tiquira é uma aguardente típica do Maranhão, ela é considerada por alguns como a única bebida genuinamente brasileira, pois diferente da cachaça que tem como matéria prima a cana (que foi trazida ao Brasil), ela é feita a partir da sacarificação e fermentação da mandioca que é nativa do Brasil. É uma bebida com graduação alcoólica de trinta e seis a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida

de destilado alcoólico simples de mandioca, ou pela destilação de seu mosto fermentado (BRASIL, 2008).

O processo de fabricação da tiquira compreende as etapas de prensagem das raízes, descascamento e lavagem dessas raízes, ralação, prensagem para retirada da toxicidade, gelificação do amido, sacarificação, preparo do mosto, fermentação, destilação e engarrafamento (Rocha *et. al.*, 2007).

### 3.3 PRODUÇÃO E MERCADO DA MANDIOCA E SEUS DERIVADOS:

#### 3.3.1 PRODUÇÃO MUNDIAL DE MANDIOCA:

Devido às facilidades de adaptação a diversas condições climáticas, a mandioca vem conquistando espaço em vários países do mundo, em especial no continente Africano. Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura), a produção mundial de mandioca continua crescendo em ritmo acelerado de crescimento, ultrapassando os 260 milhões de toneladas de mandioca. Vale destacar o aumento de 2,8% em 2013 em relação a 2012, devido à forte contribuição do continente Africano. De acordo com o trabalho projetado pela FAO, divulgado em novembro de 2012, a África concentra a maior parte da produção mundial, com aproximadamente 54,57%, seguida pela Ásia com 33,03%, América Latina com 12,32% e Oceania com 0,06%. Conforme dados de 2013 da FAOSTAT, representado na Figura 3.6, a Nigéria é o maior produtor com 19,15% da produção mundial e 37,43% em relação ao Continente Africano. A Tailândia, o segundo maior produtor mundial, com 10,92% e o maior produtor no Continente Asiático com 30,26%. O Brasil (dados do IBGE) é o quarto maior produtor mundial com 7,76% do quantitativo produzido e o maior produtor da América Latina com 70,04% (CONAB, 2013).

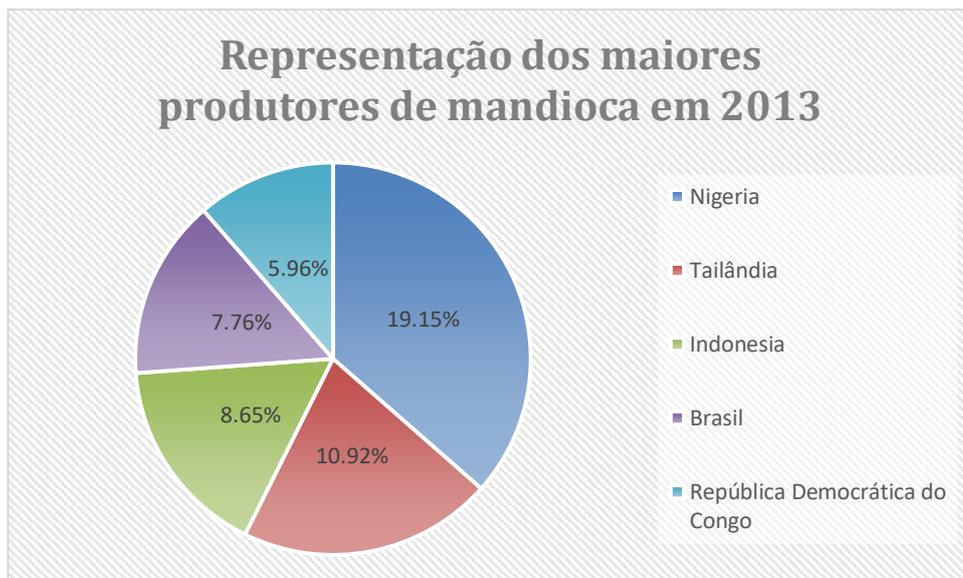


Figura 3.6 - Representação gráfica dos maiores produtores mundial de mandioca em 2013

Fonte: Elaboração própria – Baseada em dados FAOSTAT (acessado em 18/4/2015 as 15:35 horas)

O principal destino da produção africana é sem dúvida o consumo humano, sob a forma “*In Natura*”, cozida ou frita. Nestes países, a industrialização da mandioca praticamente não evoluiu, restringindo-se apenas as pequenas fabricas de farinhas (SEAB/PR, 2014).

A Tailândia, apesar de possuir as maiores plantas industriais para a produção de fécula vem perdendo espaço para a produção de cana, fazendo com que a Indonésia e o Vietnã ganhem destaque com a modernização tecnológica para a fabricação de produtos como amidos modificados, glucose e maltose, com maior valor agregado. Recentemente foi divulgado que a Nigéria pretende substituir trigo importado para diminuir a dependência alimentar, adicionando 40% de amido na panificação. Pretende, ainda, exportar 900.000 t de mandioca chips e 182.000 t de alta frutose, que é utilizada na substituição do açúcar contido em refrigerantes e ainda transformar 11 milhões de t de mandioca em etanol, o que resultaria em aproximadamente 1,2 bilhão de litros do biocombustível (CONAB, 2013).

### 3.3.2 PRODUÇÃO BRASILEIRA DE MANDIOCA:

O Brasil continua entre os principais países produtores de mandioca e ocupa a 4ª colocação no ranking mundial com 21 milhões de toneladas (FAO, IBGE -2013). De certa forma a produção brasileira de mandioca não apresenta variações significativas e nas últimas safras o volume alcançado se estabilizou em torno de 21 e 26 milhões de toneladas, representado na Figura 3.7. Acredita-se que a substituição do consumo de mandioca pelas rações balanceadas na suinocultura, a mudança nos hábitos alimentares como maior demanda pelos produtos do trigo, a competição de culturas mais rentáveis e de menor ciclo e a falta de mão-de-obra, certamente estão impactando para a estagnação ou até mesmo redução em alguns estados. A participação brasileira na produção mundial já atingiu 30% em 1970, porém atualmente se situa em média de 7%. Esta redução é atribuída principalmente ao forte avanço nos plantios da Nigéria, República do Congo e na Tailândia (De Souza. *et al.*,2013).

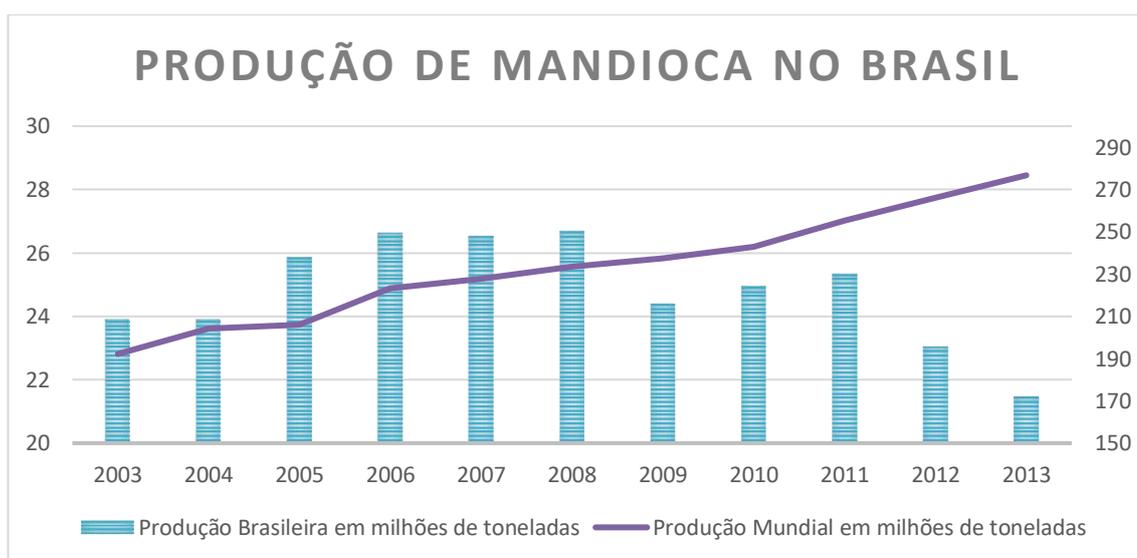


Figura 3.7 - Produção brasileira de mandioca

Fonte: Elaboração própria – Baseada em dados FAOSTAT (acessado em 18/4/2015 as 15:35 horas)

A matéria-prima vem obtendo expressivos aumentos de demanda desde 2012, em função, principalmente, da grande seca que atingiu a região nordeste, concorrendo para que a produção nacional reduzisse a oferta da raiz principalmente na Bahia e Maranhão. A precipitação de chuva, em alguns estados do sul brasileiro, também contribuiu para a

diminuição na oferta, pois com o solo muito úmido, o trabalho de arranque da raiz com maquinário tem que ser interrompido (CONAB, 2013).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em 2013, a raiz de mandioca é a quarta cultura mais produzida no Brasil, com 21 milhões de toneladas atrás, apenas, da cana de açúcar, soja e milho. Com destaque para as regiões Norte e Sul, que são os maiores produtores, representando 60% da produção nacional em 2013, representado na Figura 3.8.

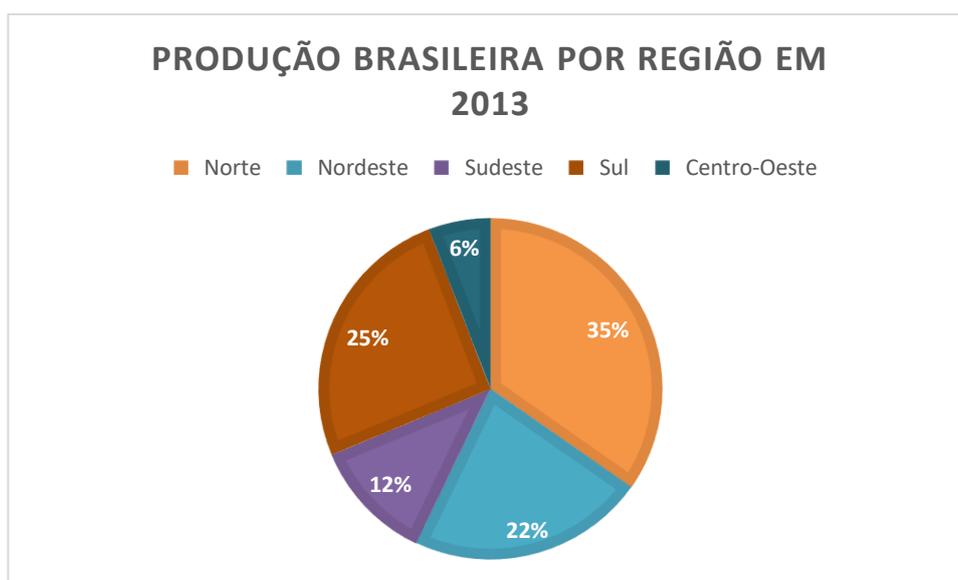


Figura 3.8 - Produção brasileira de mandioca por região em 2013

Fonte: Elaboração própria – Baseada em dados IBGE (acessado em 21/4/2015 as 11:10 horas)

Historicamente, a região Nordeste era a maior produtora de mandioca do país, chegando a representar quase 40% da produção nacional. Com a seca sofrida pela região Nordeste nos últimos 3 anos, e crescente produção das regiões Norte e Sul, houve uma queda significativa, de forma que a região Nordeste perdeu espaço na produção de mandioca no Brasil, o que está representado na Figura 3.9 (IBGE, 2014).

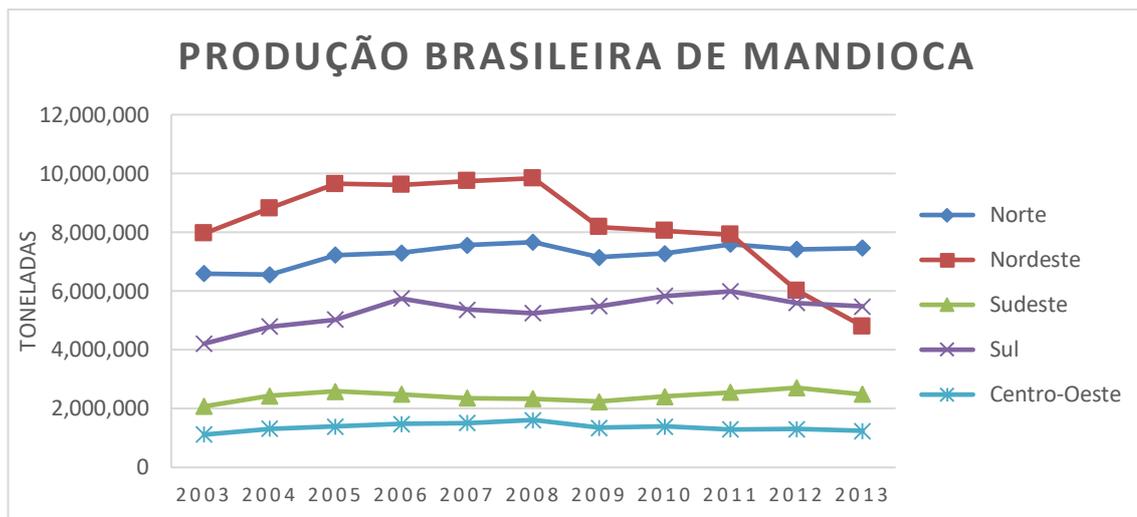


Figura 3.9 - Produção brasileira de mandioca por região

Fonte: Elaboração própria – Baseada em dados IBGE (acessado em 21/4/2015 as 11:10 horas)

### 3.3.3 MERCADO MUNDIAL DE MANDIOCA:

Nos últimos anos, houve uma mudança significativa nos mercados-alvo destes alimentos, com o destino para a alimentação animal do mercado respondendo por 20,0%, principalmente na Europa e na China. Para 2020, estima-se que o consumo total mundial de mandioca em raiz (todos os fins) deverá chegar a 275 milhões de toneladas (ante 193,8 milhões de toneladas em 2003) (De Souza *et al.*,2013).

Em termos de mercado externo, a cadeia da mandioca apresenta modesta participação, sendo o mercado dominado fortemente pela Tailândia. As oportunidades, entretanto, começam a se configurar nos últimos anos, graças ao crescimento e modernização da indústria de fécula e amidos modificados e ao estabelecimento das empresas processadoras de mandioca pré-cozida congelada. As estatísticas da Secretaria de Comércio Exterior do Governo brasileiro (SECEX, 2014) mostram que, no período compreendido entre 1996 a 2013, a receita com as exportações de raiz e derivados de mandioca (fécula e farinha) foi de US\$ 106.021 milhões, o que equivale a uma média de US\$ 5.9 milhões por ano. A fécula apresenta, no mesmo período, uma média de US\$ 4.7 milhões por ano. A Tailândia, de janeiro a outubro de 2012, exportou, só de fécula, o montante de US\$ 833.984 milhões, equivalente a 1.892.537 t, média de US\$

440.67/t. O Brasil em 2012 exportou, de fécula, US\$ 6.3 milhões, equivalente a 7.262 t, média de US\$ 868.76/t (CONAB, 2014).

O comércio de fécula é responsável, aproximadamente, por 85% do total das exportações mundiais de derivados de mandioca. A Ásia, grande cultivadora da matéria-prima para produção de amido, chips e pellets (para alimentação animal), encontra na Tailândia a maior responsável pela exportação de fécula, sendo sua produção distribuída: chip/pellet: 8% para uso doméstico e 32% para exportação; fécula: 19% domésticos e 36% exportações; e etanol: 5% (CONAB, 2014).

Segundo a Sociedade Brasileira de Mandioca (2012), o Brasil exporta anualmente cerca de 3,6 t de raiz de mandioca para o Uruguai; de 100 a 200 t de farinha de mandioca para Uruguai, Estados Unidos e Portugal, de 160 a 600 t de fécula de mandioca para Colômbia, Estados Unidos e Bolívia, e de 22 a 180 t de tapioca para Reino Unido, Equador e Estados Unidos.

Em estudo feito pela Sociedade Brasileira de Mandioca, em 2011, entre 1998 e 2008, a participação da mandioca no volume mundial de vendas de raízes que contém amido caiu de 13% para 12%, enquanto a participação da batata cresceu de 60% para 65% no mesmo período. Contudo, especialmente no Brasil, a aceleração de estudos sobre a utilização da mandioca para desenvolvimento de novos processos e produtos poderá causar mudanças na dinâmica do mercado de mandioca. Após 3 anos, o Brasil, apesar de ser o quarto maior produtor de mandioca do mundo, ainda necessita de muito investimento em inovação e tecnologias, equipamentos para indústria, capacitação dos produtores e principalmente na área da pesquisa.

Por serem a mandioca e seus derivados classificados como commodities, seus preços e sua demanda no Brasil também dependem dos movimentos de mercados internacionais. Assim, importações e exportações de mandioca pelo Brasil entre 2000 e 2010 apresentam grandes oscilações, refletindo comportamento de compra e venda ditado pelas regras internacionais. Quebras ou excedentes da produção interna também contribuem para essas oscilações: quando há falta de mandioca produzida internamente, aumentam as importações, sobretudo de amido de mandioca para fins industriais, e, quando a produção nacional excede as necessidades internas, mais produtores procuram vender no mercado internacional, independentemente do preço vigente (SEBRAE, 2012).

O principal responsável pelo aumento da importação foi a fécula, utilizada pelas empresas modificadoras de amido, e cuja demanda o fornecimento nacional não conseguiu suprir. A escassez ocorreu devido à maior demanda por amido em alguns processos industriais (Cardoso *et al.*, 2007). Os preços elevados no mercado interno levaram os potenciais compradores a comprar a fécula no exterior, especialmente em países como a Tailândia e Paraguai (SEBRAE & ESPM, 2008). O mesmo cenário continuou sendo observado, de acordo com relatório do CONAB de 2014, onde observou retração na exportação, em toneladas, devido aos preços menos competitivos no mercado externo, principalmente comparando-se as exportações da Tailândia, representado pela Figura 3.10.

Em média, o Brasil vendia, em 2014, cada tonelada de fécula de mandioca por US\$ 1028. A Tailândia, em 2014, registrou em média de US\$ 420 por tonelada de fécula de mandioca segundo FOB Bangkok, o que a torna extremamente competitivo frente aos países exportadores. O Paraguai, em 2014, registrou média de US\$ 702.50 por tonelada de fécula de mandioca. Quanto às importações, houve um aumento de 2012 a 2014 estão associadas aos picos positivos nos preços da raiz de mandioca e da própria fécula no mercado interno, inviabilizando, em alguns momentos, o uso do derivado nacional por parte dos segmentos, representado pela Figura 3.10 (CONAB, 2014).

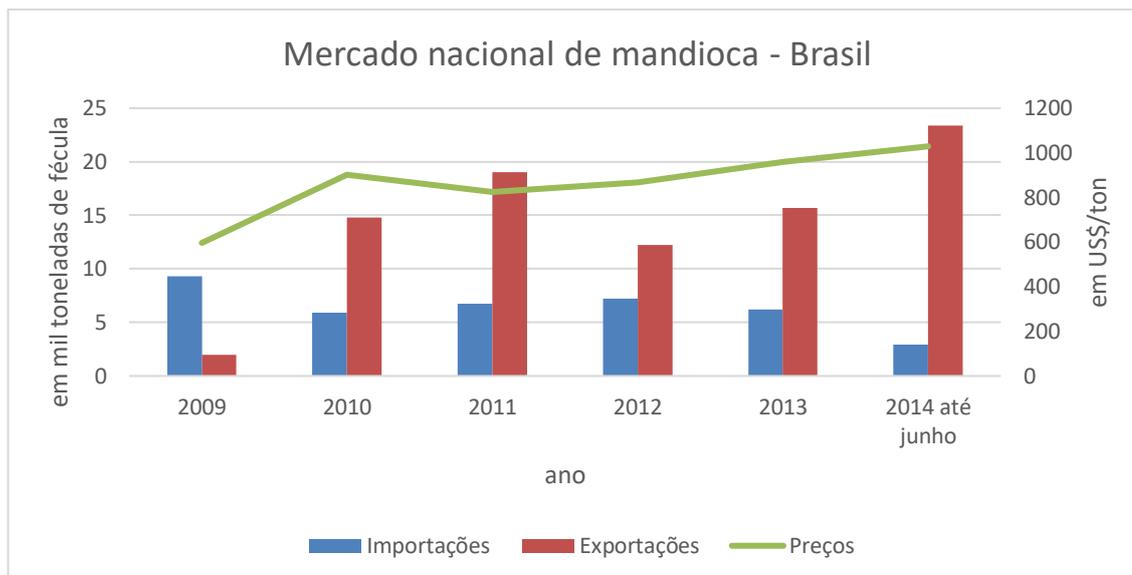


Figura 3.10 - Mercado nacional de mandioca do Brasil entre 2009 a junho de 2014

Fonte: Elaboração própria – Baseada na base de dados da Secretaria de Comercio exterior (SECEX/Mdic)

Frente a isso, a importação de fécula pode ser considerada uma força competitiva, pois, como visto, em períodos com altas significativas nos preços do produto nacional, as indústrias consumidoras da fécula voltam-se ao mercado exterior para suprir suas necessidades a custos mais baixos. Quanto à competição com produtos substitutos, a versatilidade da fécula de mandioca para aplicações industriais abre, por um lado, mercado amplo para o produto, que pode ser utilizado em grande número de setores. Por outro lado, essa mesma versatilidade reflete a concorrência abrangente que a fécula de mandioca enfrenta, na medida em que pode ser substituída por diferentes matérias-primas utilizadas para as mesmas funções. A existência de alternativas ao uso do amido de mandioca torna sua oferta mais elástica, ou seja, pequenas variações nos preços podem representar grandes variações nas quantidades vendidas: caso o preço aumente, seus potenciais compradores abandonam, ao menos, temporariamente, o consumo do produto e passam a usar o produto substituto que ofereça o melhor preço (SEBRAE, 2012).

Os investimentos básicos para produção de farinha de mandioca são baixos; a sofisticação da tecnologia aumentaria o rendimento da produção, mas não é imprescindível, uma vez que grande parte das casas de farinha espalhadas pelo país ainda se utilizam de procedimentos quase artesanais. Esta facilidade para começar um

negócio caracteriza o setor como sendo altamente vulnerável à ameaça de novos entrantes (SEBRAE, 2012).

A diferenciação de seus produtos é a alternativa que algumas empresas têm utilizado para tentar melhorar sua competitividade. No mercado de fécula, em particular, os amidos modificados representam oportunidades interessantes de crescimento, pois oferecem características únicas (SEBRAE, 2012).

Apesar de parte da produção nacional de mandioca ser consumida in natura, parcela significativa é utilizada para o processamento, principalmente para a fabricação de farinha e fécula de mandioca. O processamento da mandioca, no entanto, é gerador de resíduos poluentes, principalmente quando não tratados de forma adequada. Dentre estes resíduos, destaca-se a manipueira, que contém resíduo de cianeto, e é altamente prejudicial ao meio ambiente e ser humano quando depositada sem tratamento em leitos de rios ou lençóis freáticos, causando sérios impactos ambientais. A manipueira apresenta elevado potencial em gás metano, o qual pode ser utilizado como recurso energético para as próprias fecularias, podendo assim reduzir o custo de produção da fécula de mandioca, dado que poderia haver menor utilização de energia elétrica ou mesmo lenha para o aquecimento de caldeiras (Felipe *et al.*, 2009).

Em 2014, a fecularia COPAGRA implantou um biodigestor, sistema que capta o gás metano proveniente dos resíduos da moagem da mandioca e o utiliza como fonte de energia, eliminando assim a necessidade de queima de lenha na caldeira da fecularia. Com a implantação desse sistema houve uma grande economia de recursos que eram gastos com a compra de lenha (COPAGRA, 2014).

Algumas indústrias produtoras de fécula de mandioca têm mostrado interesse em processar outras raízes, dentre elas a batata doce. Contudo, para a introdução de uma nova matéria-prima em uma fecularia, faz-se necessário a avaliação da eficiência da planta industrial (Leonel, *et al.*, 1998).

Conforme discutido neste capítulo, o Brasil está perdendo competitividade no mercado internacional de fécula para países da Ásia, principalmente Tailândia, Indonésia e Vietnã. A produtividade da cultura cresceu muito mais rapidamente nestes países que no Brasil. Além disso, em nível nacional, se comparada com outras culturas, a mandioca apresenta produtividade estagnada, enquanto o milho passou por grande

evolução nos últimos anos. Vilpoux, em 2008, concluiu que, além de perder em produtividade para a Ásia no mercado internacional de amido, as fecularias brasileiras perdem terreno para as empresas de amido de milho no mercado nacional. A solução para o setor feculeiro nacional é o investimento em pesquisas modernas e mais eficientes, para dinamizar a produtividade da mandioca.

A produção brasileira de mandioca deve aumentar novamente em 2015, para 24,2 milhões de toneladas, crescimento de 5,1% frente ao obtido em 2014, segundo dados do IBGE. Com maior disponibilidade de matéria-prima, pode também haver elevação na produção de fécula. Segundo pesquisadores do CEPEA, as pesquisas de campo apontam que, em 2015, deve haver crescimento expressivo na produção de fécula. A partir disso, o aumento da produção nacional de mandioca e o mercado favorável, em outras palavras, aumento das exportações, indicam que a mandioca pode ser retrabalhada para agregar valor, incentivando o desenvolvimento de novas tecnologias com o objetivo de aproveitar esta fécula, extremamente rica em amido, em Bioplásticos, que será visto mais detalhadamente no próximo capítulo.

# CAPÍTULO 4: TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE AMIDO DE MANDIOCA

---

O movimento de grande parte da população do mundo a partir de uma economia agrária para uma sociedade urbana tem sido possível com o desenvolvimento de práticas de produção e distribuição de alimentos eficientes. As embalagens de alimentos têm servido, e continuam a servir, com uma função crítica no sentido de facilitar o transporte de alimentos, a preservação, o saneamento, o armazenamento e a distribuição da fazenda para cidades de todo o mundo (Halley & Averous, 2014).

As embalagens fazem parte da vida do homem desde a antiguidade. O crescimento da população mundial e seu poder aquisitivo gerou um aumento no consumo de produtos comercializados, e em consequência, um aumento na quantidade de resíduo gerado (embalagens) (Carr, 2007).

Um estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Economia em parceria com a Fundação Getúlio Vargas (2014), no mercado de embalagens, mostrou que os plásticos representam a maior participação no valor de produção, correspondendo a 37,47% do total de embalagens produzidas no Brasil no ano de 2013, estando a indústria de alimentos entre as principais usuárias deste tipo de embalagem. Segundo a pesquisa Ciclosoft (2014), mostrado no gráfico da Figura 4.1, realizada em 766 municípios brasileiros, mais de 20% da composição da coleta seletiva são plásticos. Esses materiais não são biodegradáveis, criando problemas ambientais e produzindo enorme quantidade de detritos. Quando incinerados ou queimados, emitem várias substâncias tóxicas, que podem ter efeito carcinogênico, como as dioxinas. Além disso, há impossibilidade de se usar embalagens recicladas para alimentos, confeccionadas basicamente a partir de polímeros sintéticos convencionais (Stoffel, 2015).

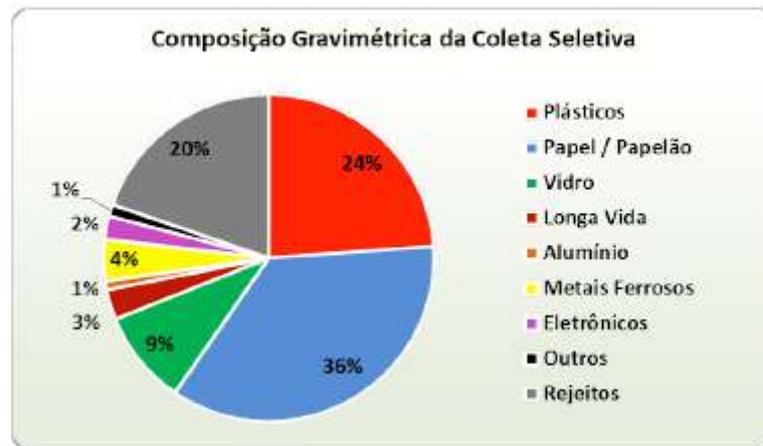


Figura 4.1 - Composição gravimétrica de coleta de lixo urbano no Brasil

Fonte: Cempre - Ciclossoft, 2014.

A partir disso, minimizar os impactos de metais, cerâmicos e polímeros, sobre o meio ambiente é um desafio, que representa uma preocupação e um interesse por parte da sociedade. Tradicionais ou inovadoras, as propostas e tecnologias tendem a reduzir os custos do tratamento de resíduos e o estresse sobre o meio ambiente, proporcionando equivalência ou vantagens sobre o concorrente à base de petróleo, resultando em um marketing positivo do produto no mercado (Alves *et al.*, 2012).

Dentre os polímeros petroquímicos, o poliestireno expandido (Isopor) destaca-se como polímero principal na confecção de embalagens. Contudo, além da dificuldade de reciclagem, por ser de baixa densidade, apresenta um elevado volume, ocupando um espaço maior na natureza quando depositado em lixões ou até mesmo no meio ambiente. Dentro desse contexto, há o interesse em utilizar insumos de fontes renováveis na elaboração de materiais que substituam as matérias primas convencionais. Entre os insumos mais utilizados, provenientes de fontes renováveis, estão os materiais de origem agrícola (Mali *et al.*, 2010).

Como mencionado no capítulo anterior, o amido de mandioca é o biopolímero que vem sendo utilizado na produção de embalagens alimentícias. Mas, a quantidade de amido que está realmente disponível para os produtos industriais, sem impactar criticamente o abastecimento de alimentos é uma questão de debate, e podem até, levar a custos mais altos dos alimentos. Por outro lado, isso pode ser um incentivo aos agricultores em aumentar a produção e fornecer um estímulo econômico para meio rural e comunidades agrícola (Ahmed *et al.*, 2012).

Nas áreas da engenharia e da biologia vem aumentando o número de pesquisas e trabalhos realizados para o desenvolvimento de embalagens de fácil degradação e que não sejam prejudiciais ao meio ambiente. Os novos bioplásticos ainda são mais caros do que os seus similares de petróleo, mas esta diferença está diminuindo. A subida dos preços do petróleo e o apoio político de motivação ecológica dão vantagens de preço para os bioplásticos, especialmente no que diz respeito às matérias-primas e no descarte. Assim, quando a produção de alguns bioplásticos atingiu uma escala industrial, as remanescentes desvantagens econômicas devido à capacidade limitada de produção podem ser compensadas e se tornar mais competitiva (Bertolini, 2010).

## 4.1 ANÁLISE DE TIPO DE PROCESSO:

De todos os produtos de plástico produzidos, os itens alimentícios como copos, talheres, pratos, filmes e espumas são muitas vezes considerados os melhores candidato para substituição por biopolímeros renováveis. Isto ocorre porque os materiais utilizados em itens de serviço de alimentação são normalmente de uso único, ou seja, itens descartáveis. Muitas vezes, o serviço funcional de um prato ou copo equivale a menos tempo do que o necessário para um alimento ou bebida quente tornar-se frio. As tecnologias desenvolvidas para usar amido nestes produtos poderiam ser desenvolvidas para expandir para outros produtos de embalagem. (Halley & Averous, 2014). Historicamente, embalagens de espuma e sacos de adubo foram as principais aplicações para os polímeros à base de amido. No entanto, eles são agora utilizados em uma vasta gama de outras áreas de aplicação. Isso inclui vários tipos de bolsas e sacos, embalagens flexíveis, embalagens rígidas, tais como bandejas e recipientes termoformados, e outras formas de embalagens de alimentos, onde a compostagem de resíduos orgânicos é eficaz. Eles também são usados na agricultura e horticultura para aplicações tais como tubetes e outros (Ahmed *et al.*, 2012).

Dentre os materiais utilizados na fabricação de embalagens, o poliestireno expandido é amplamente utilizado em embalagens de utilização única, descartáveis, devido à sua baixa densidade, propriedade de isolamento térmico e baixo custo. O poliestireno expandido pode se apresentar numa variedade de formas e aplicações. Como poliestireno papel (PSP) que é uma espuma rígida obtida por extrusão com aplicação em bandejas e tabuleiros para acondicionar alimentos. No entanto, apesar das excelentes propriedades do poliestireno expandido, há preocupações sobre o impacto de

sua eliminação no meio ambiente. Na busca por alternativas para o impacto ambiental causado pelas embalagens poliméricas sintéticas, surge o interesse no desenvolvimento de embalagens a base de polímeros biodegradáveis (Stoffel, 2015).

O poliestireno expandido é obtido por termoformação e pela injeção de gás pentano (agente de expansão) na massa do polímero fundido. O material se expande na saída da matriz da extrusora quando o gás, menos denso que o ar, sai da massa polimérica. Este processo gera a estrutura expandida de baixa densidade, e proporciona propriedades de barreira térmica e acústica. Entretanto, a fragilidade do poliestireno expandido limita suas aplicações. O amido termoplástico, produto que recebe a sigla TPS em inglês, é hoje uma das principais linhas de pesquisa para produção de materiais biodegradáveis. O amido não é um verdadeiro termoplástico, mas, na presença de um plastificante (água, glicerina, sorbitol, etc.), a altas temperaturas (90 - 180°C), e cisalhamento, como ocorre na extrusora, ele derrete e flui, permitindo seu uso em equipamentos de injeção, extrusão e sopro, como para os plásticos sintéticos. O desenvolvimento de uma tecnologia industrial, considerando o amido de mandioca para a fabricação de bandejas expandidas, é uma vertente possível (Alves *et al.*, 2012).

As características físicas para embalagem de polímeros são bastante afetadas pelas estruturas químicas, massas molares, cristalinidades e condições de processamento. As características físicas necessárias para embalagem dependem igualmente dos itens a serem embalados e os ambientes em que os pacotes serão armazenados. Produtos que serão armazenados congelados por algum tempo, exigem embalagens com determinadas especificações determinadas por agentes regulatórios (Jassen, 2009).

O amido é, portanto, uma matéria prima amplamente disponível e de custo relativamente muito baixo e é totalmente biodegradável. Uma vez que o carbono em plantas é derivado de CO<sub>2</sub> na atmosfera, a biodegradação ou incineração de amido não resulta em ganho líquido de CO<sub>2</sub>. Esta combinação torna atraente a fabricação de plástico à base de amido como alternativa ao uso de polímeros de derivados de petróleo tais como polipropileno, polietileno e poliestireno. Por essa razão, e outras, verificou-se que o aumento no mercado de plásticos à base de amido está crescendo fortemente (Grach, 2006).

## 4.2 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS:

Uma razão que os plásticos de amido são particularmente atrativos, como alternativas ao plástico petroquímico, é que eles podem ser facilmente processados usando tecnologias de conversão convencionais, tais como filme de sopro, extrusão, termoformação, moldagem por injeção, com pouca ou nenhuma modificação (Halley & Averous, 2014).

As espumas de polímero são constituídas por uma mistura de fase sólida e gasosa para formar uma espuma. Isto geralmente acontece através da combinação das duas fases, de maneira rápida, em um sistema para responder de uma forma suave. A espuma resultante é uma matriz polimérica, com bolhas de ar ou túneis de ar, que é conhecida como de alvéolos fechados ou alvéolos abertos. As espumas fechadas são geralmente mais rígidas, enquanto que as espumas abertas são geralmente flexíveis. O amido também pode ser amolecido e expandir-se para uma espuma, utilizando água como um agente de sopro. Este processo envolve tipicamente o aquecimento do amido sobre pressão para sobreaquecer água absorvida na matriz de amido e, em seguida, libertando explosivamente sobre pressão (Sivertsen, 2007).

Para produzir uma embalagem biodegradável a partir do amido é necessário que sua estrutura granular seja destruída, para originar uma matriz polimérica homogênea e essencialmente amorfa, conhecido como amido termoplástico (*TPS – Thermoplastic Starch*), que pode ser obtido pelos processos de gelatinização e/ou fusão, em que o amido é submetido a condições de aumento de temperatura, cisalhamento e pressão. As embalagens de amido podem ser produzidas pelos métodos de “*casting*” e extrusão para obtenção de filmes, ou termoformagem (expansão térmica), utilizada na produção de bandejas e copos. A extrusão é um processo contínuo que consiste em fazer passar uma massa polimérica fundida através de matriz (rosca ou parafuso infinito) com o perfil desejado, conforme desenho esquemático na Figura 4.2. Com o resfriamento em água ou ar a peça extrusada vai solidificando progressivamente, podendo ser enrolado em bobinas e cortados em várias peças de dimensões específicas, permitindo a fabricação de uma gama de peças, entre elas as bandejas. Portanto, as bandejas a base de espuma de amido apresentam potencial para substituição de bandejas produzidas com poliestireno estendido (Stoffel, 2015).

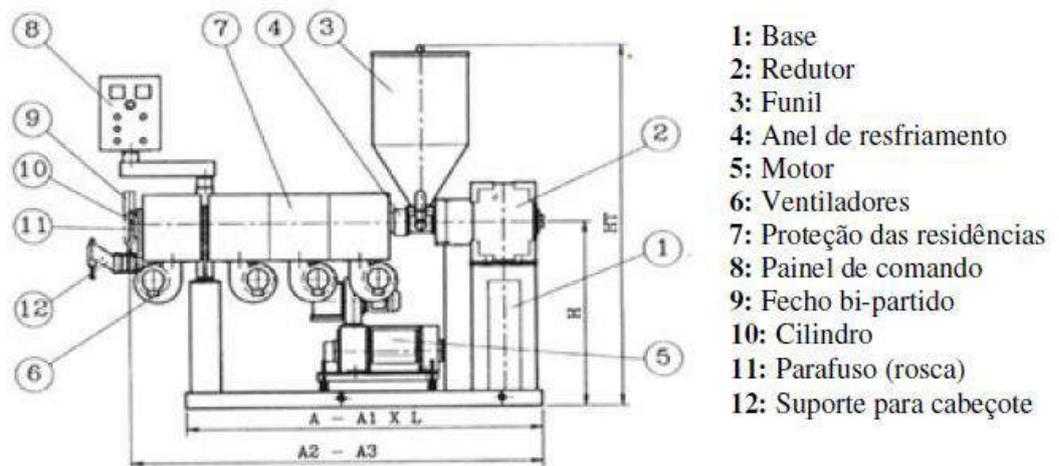


Figura 4.2 - Desenho esquemático de uma extrusora mono rosca

Fonte: Naime, 2010

Durante os últimos anos, a técnica de *casting*. Esta técnica é definida como a desidratação da solução filmogênea sobre uma placa de petri, onde o amido é solubilizado em um solvente, com formação filmogênica e em seguida é seca pela evaporação do solvente sobre um suporte, foi a mais empregada e discutida na pesquisa de filmes e revestimentos a base de amido, mostrando bons resultados dentro do âmbito laboratorial, como alta biodegradabilidade, transparência e flexibilidade. Porém, não pode ser empregada para a produção em escala industrial, pois apresenta desvantagens, como tempo de processo e custo elevados, esta última em função do grande gasto energético para a secagem dos filmes e revestimentos, além de fragilidade ao rasgo e alta higroscopicidade (Silva, 2011).

O processo de termoformagem também pode ser empregado para a obtenção de embalagens biodegradáveis, e apresenta como vantagens por ser bastante simples, rápido e de baixo custo, sendo favorável para amostras planas. No processo de termoprensagem, a mistura (amido, água e aditivos) é colocada na parte de baixo de um molde aquecido por resistências elétricas instaladas no interior do equipamento (termoprensa). Em seguida, a parte superior abaixa, de modo a espalhar a massa sobre a superfície do molde, conforme desenho esquemático na Figura 4.3. Nesse processo, a produção de embalagens de qualidade relaciona-se com o controle das três principais variáveis: pressão, tempo e temperatura (Debiagi *et al.*, 2013).

- A: Abertura do molde
- B: Fechamento do molde
- 1: Parte superior do molde aquecida
- 2: Parte inferior do molde aquecida
- 3: Massa (suspensão da fécula em água e aditivos)
- 4: Formação da espuma

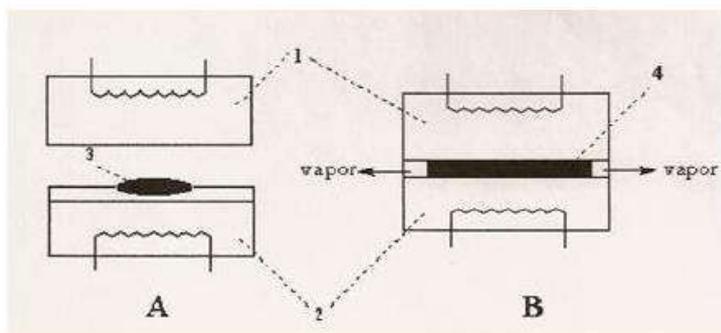


Figura 4.3 - Desenho esquemático da termoprensagem

Fonte: Naime, 2010

## 4.3 DISCUSSÃO DETALHADA DO PROCESSO:

### 4.3.1 FORMULAÇÃO:

Uma massa feita de amido e água possui a propriedade de formar espuma após os processos de gelatinização do amido, de expansão da massa e de secagem. A formação da espuma ocorre, basicamente, através de três importantes etapas, que são: a alta temperatura, que faz atingir a temperatura de gelatinização do amido, onde, por conseguinte, a água livre é evaporada, provocando escoamento da massa através do vapor d'água, e ressecamento e endurecimento da massa com a saída do vapor (Lugão *et al*, 2007).

Diversas patentes e pesquisas relatam os processos de fabricação de espuma de amido, cada qual com suas características específicas através de diversas formulações e processos. Como é o caso de Naime (2010) que desenvolveu espuma de amido de mandioca através da metodologia de Bobbio & Bobbio (1984) onde, em uma panela, foi preparado um gel com fécula de mandioca dispersa em água na proporção de 10:100 aquecido a 80°C por 45 minutos sob agitação para completa gelatinização do amido. Em seguida, após o gel ser resfriado, foi adicionado mais féculas e aditivos (que serão discutidos em breve) em um misturador por 3 minutos, contendo uma proporção de 55%, em massa, de fécula de mandioca.

Carr (2007) desenvolveu espuma de amido de mandioca através da metodologia de Andersen & Hodson (1998), onde inicialmente houve preparo do gel que consiste em

fécula de mandioca suspensa em água e aquecido até 70°C para completa gelatinização. A gelatinização ajuda na dispersão dos componentes da fórmula, mantendo os componentes sólidos na massa, formando uma pasta homogênea e com viscosidade adequada. Após o gel ser resfriado, foi adicionado o restante da fécula de mandioca e o aditivo diluído em água destilada. Todos os ingredientes foram misturados por um agitador mecânico durante 5 minutos, aproximadamente, até completa homogeneização.

Stoffel, 2015 desenvolveu espuma de amido através da formulação de 47,5 % (m/m) de amido de mandioca e 52,5 % (m/m) de água destilada, ainda adicionando 1% (m/m) de goma guar sobre a massa do amido com o objetivo de evitar a sedimentação dos sólidos em suspensão, e 1% (m/m) de estearato de magnésio, sobre a massa de amido, como agente desmoldante e antiulectante. Para produção das massas de amido, os componentes foram misturados durante 20 minutos em misturador mecânico.

Apesar das diversas vantagens na utilização do amido, alguns estudos apontam que a produção de embalagens exclusivamente com esta matéria-prima não é viável, devido à sua elevada higroscopia e baixa flexibilidade, o que torna estes materiais sensíveis à umidade e quebradiços. Desta forma, a introdução de aditivos torna-se necessária para melhorar a propriedade das embalagens expandidas (espumas) a base de amido (Stoffel, 2015).

Para melhorar as propriedades mecânicas e de barreira, pesquisadores tem estudado a produção destes materiais a partir de amido processados ou modificados (química, física ou biologicamente), com ou sem adição de plastificantes, fibras, polímeros, cargas minerais e outros aditivos (Naime, 2010).

A partir disso, de acordo com estudos de diversos autores, nesse trabalho, foi escolhida a proporção da quantidade de fécula de mandioca na formulação final de 55%, em massa, na mistura fécula de mandioca e água para o próximo capítulo de avaliação econômica. O preparo da massa será conforme método utilizado por Naime (2010), onde foi preparado gel com aquecimento a 80°C por 45 minutos sendo em seguida resfriado e adicionado mais féculas e aditivos em um misturador por 3 minutos, obtendo assim o ponto ideal da massa, sendo fluido o suficiente para expandir a massa e viscosidade suficiente para reter em sua estrutura o vapor d'água gerado, formando alvéolos de tamanhos e distribuição uniformes.

### 4.3.1.1 ADITIVOS:

Os aditivos são substâncias adicionadas aos polímeros em pequenas quantidades com duas finalidades. A primeira é alterar a propriedade do material e a segunda é de conferir estabilidade ao material durante o processamento. Os aditivos devem ser estáveis nas condições de processamento, atóxicos e ter fácil dispersão. Os materiais obtidos a partir de amido são quebradiços e sensíveis a água, requisitando o uso de tratamento especial (Schimdt, 2006).

No caso do processo de obtenção de espuma de amido, uns dos aditivos mais importantes são os plastificantes que são substâncias de baixa massa molares utilizadas para melhorar flexibilidade e processabilidade de um composto polimérico, diminuindo as ligações de hidrogênio das cadeias poliméricas, o que leva a um aumento do volume livre ou mobilidade molecular dos polímeros. Assim, as propriedades de amido termoplástico baseiam-se principalmente na formação das ligações de hidrogênio entre plastificantes e moléculas de amido. A quantidade e o tipo de plastificante, além das proporções de amido e água na formulação, influenciam fortemente as propriedades físicas do amido processado, controlando a sua desestruturação e despolimerização e afetando as propriedades finais do material. Portanto, as propriedades do produto resultante podem ser modificadas por meio da adição à mistura, por exemplo, de agentes plastificantes e lubrificantes (Balchin *et al*, 2004).

O efeito final desse agente no amido é a diminuição da força intermolecular, caracterizando a flexibilidade, ocorre devido à diminuição da temperatura vítrea que implica simultaneamente em uma diminuição na resistência ao calor do material e aumento em sua resistência ao impacto em temperaturas baixas. Os plastificantes reduzem as temperaturas vítreas, além de afetar todas as propriedades mecânicas e físicas, sem alterar a natureza química das moléculas. Além disso, também é desejada ao plastificante que apresente resistência a luz, não apresente gosto, odor e cor. Os plastificantes adicionados aos polímeros atuam como solventes, as moléculas começam a penetrar na fase polimérica modificando seu arranjo conformacional. Ou seja, os plastificantes formam um material aparentemente homogêneo, mais macio, flexível e fácil de processar, do que o respectivo puro, em outras palavras, confere uma temperatura vítrea menor e maior volume livre ao amido plastificado (Stoffel, 2015).

Dentre os plastificantes mais estudados, o glicerol tem sido largamente utilizado como um plastificante para obtenção de amido termoplástico. Devido à forte interação entre glicerol e amido, uma rede de ligações de hidrogênio é formada e um material reforçado é obtido. Como o aumento de conteúdo de plastificante, interações entre o plastificante e o amido tornam-se mais fortes, resultando em inchaço. Observou-se também que 20% (g/g) de glicerol parecem ser o máximo que pode atuar como agente plastificante. Acima desta porcentagem, ocorre a separação de fases e, por causa de glicerol ser higroscópico, a quantidade de água adsorvida aumenta à medida que ele se liga ao amido. Pelo teor muito elevado de plastificante (acima de 50% g/g), materiais de amido tornam-se macios e comportam-se mais como um gel. Entretanto, adotar uma proporção tão elevada quebra-se a ideia de aditivo e o torna um componente, divergindo do ideal de um aditivo ao processo. (Bertolini, 2010).

Existem alguns trabalhos citando o uso de óleos vegetais como aditivos de materiais poliméricos em que usaram um derivado de ácido graxo como plastificante. Eles mostraram que a incorporação de cadeias laterais ao polímero provoca um impacto significativo na plasticidade do material. Autores mostraram que o óleo de buriti pode agir como plastificante de filmes de amido. O óleo de buriti é líquido a temperatura ambiente e apresenta coloração alaranjada. Seu componente majoritário (76%) é o ácido oléico. É também rico em Vitamina A e apresenta grande quantidade de carotenóides, sobretudo  $\beta$ -caroteno, onde não obtiveram bons resultados com amido de mandioca (Schlemmer *et al.*, 2010).

Além do glicerol e dos ácidos graxos, o poli (álcool vinílico) (PVA) e o polietilenoglicol (PEG) também são bastante estudados. O PVA é um polímero sintético produzido pela polimerização do vinil acetato e subsequente saponificação (parcial ou total) do grupo acetato, conforme a fórmula estrutural na Figura 4.5. É um dos poucos polímeros semicristalinos solúveis em água com características interfaciais e mecânicas e elevada resistência à passagem de oxigênio, além de ser biocompatível. Suas propriedades são influenciadas pelo seu peso molecular e grau de hidrólise. Esse parâmetro é importante na caracterização das propriedades deste polímero. Um aumento do grau de hidrólise implica em redução da solubilidade na água, associada à estabilização energética promovida pelas ligações de hidrogênio intra e intercadeias poliméricas, e no aumento da adesão em superfícies hidrofílicas, da viscosidade e da resistência à tração. O PEG é um polímero sintético obtido através da polimerização de

óxido de etileno, sendo solúvel em água, conforme formula estrutural na Figura 4.4 (Ponce *et al.*, 2008).

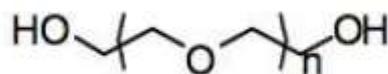


Figura 4.4 - Formula estrutural do PEG

Fonte: Carr, 2007

Estudos realizados por Mello e Mali (2014), desenvolveram espumas biodegradáveis de amido de mandioca através de expansão térmica utilizando como plastificante glicerol e outros plastificantes comparando-os. Estes autores concluíram que o PVA apresentou melhores resultados visando em aplicação nas embalagens de alimentos.

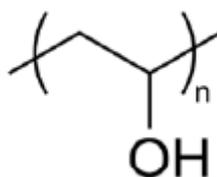


Figura 4.5 - Formula estrutural do PVA

Fonte: Stoffel, 2015

Carr (2007) fez um estudo comparando polietilenoglicol (PEG) e poli (vinil álcool) (PVA) em diversas concentrações para melhorias na fabricação de embalagens biodegradáveis de amido de mandioca. Através de diversas análises, concluiu que as espumas feitas com PVA e PEG 300 apresentaram resultados bem próximos, não havendo diferença estatística, dando abrangência técnica tanto ao uso de PEG 300 e PVA.

Baseado em estudos com desenvolvimento de embalagens biodegradáveis de amido de mandioca, principalmente no estudo de Carr (2007), que comparou dois plastificantes, para este trabalho será analisado, do ponto de vista econômico, o uso de PEG 300, na concentração de 1% (m/m), em relação à massa do amido, na formulação escolhida na etapa anterior.

### 4.3.2 OBTENÇÃO DE ESPUMA DE AMIDO:

Segundo Naime (2010), diferentes métodos são utilizados para processar amido em materiais de embalagem: extrusão, injeção e termoprensagem. Os estudos mostraram que é possível a obtenção de embalagens para alimentos a partir de amido que podem substituir as espumas de poliestireno expandido. O processamento do amido é complexo e de difícil controle em relação aos polímeros convencionais devido as suas propriedades de processamento insatisfatórias, resultando em alta viscosidade, evaporação de água, rápida retrogradação e etc., entretanto, estima-se que, com o desenvolvimento de formulações e condições de processamentos adequados, muitos desses desafios poderão ser superados.

A tecnologia para obtenção de bandejas a base de espumas de amido, que utiliza uma massa aquosa de amido que se expande devido ao vapor gerado por aquecimento desta massa foi inicialmente desenvolvida por Tiefenbacher (1993). Neste processo, chamado de expansão térmica, uma massa de amido e água é colocada dentro de um molde metálico aquecido. Esta massa, sobre ação do aquecimento e pressão, possui a propriedade de formar espuma após processos de gelatinização do amido, expansão e secagem da massa (Carr, 2007).

Na pesquisa desenvolvida por Carr (2007), a descrição do processo inicia-se com preparo da formulação previamente discutida, onde após pronta, pequenas porções da massa foram pesadas em uma balança semi-analítica (dosagem) e colocadas na parte inferior do molde pré-aquecido (205°C). Em seguida, fechou-se o molde com a parte superior para iniciar o processo de termo expansão. Dentro do molde, com o aumento da temperatura e presença de água na massa, ocorreu a gelatinização dos grânulos de amido. Com o aumento constante da temperatura, houve a evaporação da água e o vapor provocou a expansão da massa, fazendo com que toda a área do molde fosse preenchida. Após esse processo, a alta temperatura levou a solidificação do material e consequente obtenção da espuma. Esse processo durou aproximadamente 60 segundos e após esse tempo o molde foi aberto. A espuma obtida retirada manualmente e empilhadas para o armazenamento de forma que houvesse a passagem de ar entre elas e absorção de água até atingir 11% de umidade. De acordo com Figura 4.6.

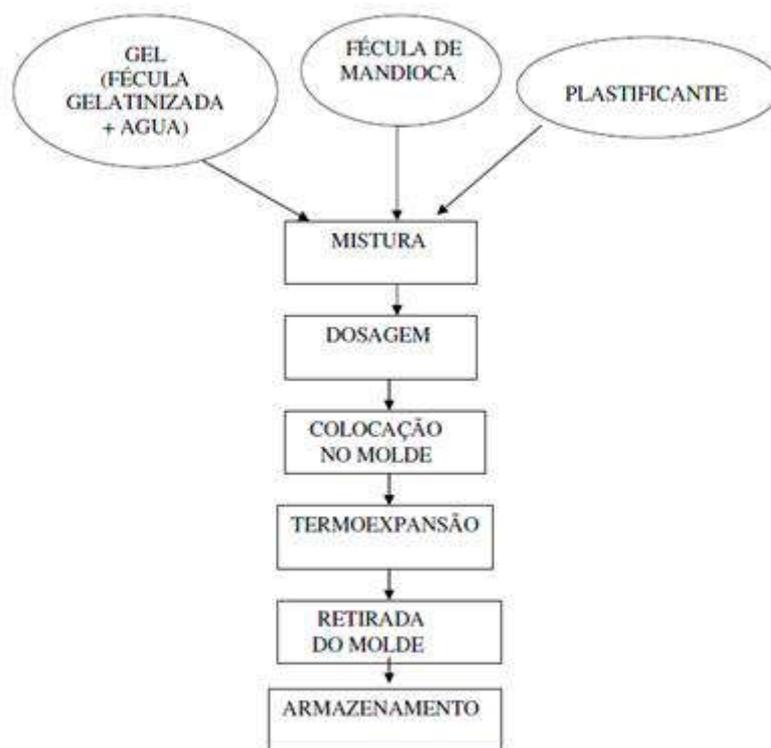


Figura 4.6 - Fluxograma do processo de obtenção de espuma de fécula de mandioca por termoexpansão – Adaptado.

Fonte: Carr, 2007

O processo desenvolvido por Alves *et al* (2012) para a elaboração de material rígido, a base de amido, dentro de molde fechado e aquecido com injeção direta da formulação no molde, foi dividida em várias fases. Primeiro a temperatura do molde aquece a mistura de amido e água até a temperatura de gelatinização ou ponto de ebulição. Logo após a gelatinização, a massa se torna uma pasta espessa a ponto que o vapor arrasta a pasta expandida para preencher o molde, ocorrendo o fechamento das aberturas das extremidades do mesmo. Com isso ocorre a formação de uma ligeira pressão dentro do molde, de aproximadamente 1 bar. Com o aumento da temperatura interna da massa, a saída de vapor é acelerada. Depois de um determinado tempo, a espuma de amido seca gradualmente com perda de água pelas aberturas do molde, restando de 2 a 4% de água no produto final.

Já o processo similar de Stoffel (2015) que desenvolveu espumas de amido dentro de um molde aquecido e fechado sem injeção direta da formulação no molde foi

dividido em várias etapas. Na primeira, a temperatura da mistura de amido com água no interior do molde aumenta até atingir a temperatura de gelatinização ou até a temperatura de ebulição da água. Depois, o amido gelatiniza e começa a formar uma pasta a ponto que o vapor aprisionado dentro da mesma se expanda fazendo com que o molde seja preenchido. Na etapa final, ocorre a secagem gradual da massa expandida.

Naime (2010) desenvolveu embalagens biodegradáveis de espuma de amido de mandioca através de dois processos: termoprensagem (a) e extrusão com subsequente etapa de termoprensagem (b), de acordo com a Figura 4.7; o autor obteve um produto mais resistente a tração no processo de extrusão com subsequente etapa de termoprensagem comparado com o processo de termoprensagem.

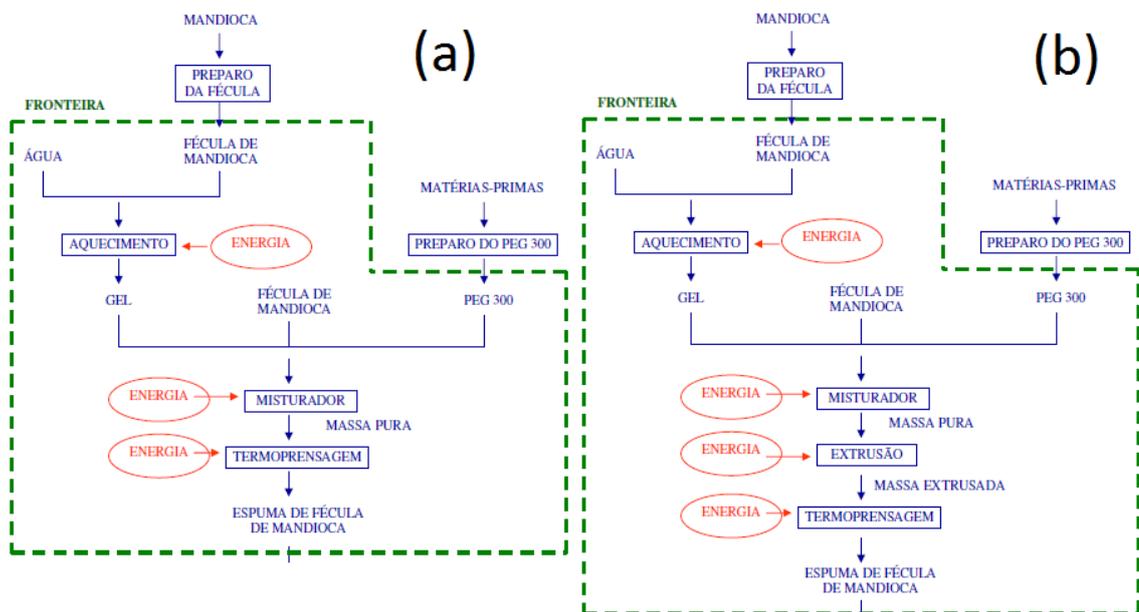


Figura 4.7 – Fluxograma de processos: (a) termoprensagem e (b) extrusão e termoprensagem

Fonte: Adaptado de Naime, 2010

A produção de embalagens biodegradáveis a partir do amido está relacionada com as propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose. Em soluções esse polímero linear tende a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes, reduzindo a afinidade do polímero por água e favorecendo a formação de uma matriz polimérica (Debiagi *et al.*, 2013).

As propriedades mecânicas dos plásticos de amido dependem, entre outras coisas, da proporção de amilose para amilopectina, plastificante, o conteúdo de água, e condições de armazenamento. Além disso, estas propriedades também são afetadas pelas mudanças correspondentes na temperatura de transição vítrea relacionadas com a mobilidade da cadeia macromolecular na fase amorfa e o grau de cristalinidade dos filmes. Os cristais se comportam como agentes de enchimento e agentes de cross-link, que tendem a fortalecer e endurecer os filmes (Bertolini, 2010).

O desenvolvimento da tecnologia de processamento termoplástico tem desempenhado um papel importante na obtenção de produção em massa de produtos de plástico barato. Qualquer substituto de plástico que pode ser processado como um "drop-in" em substituição utilizando equipamentos de processamento de plástico existentes, incorporando vantagens de integração perfeita em capacidade de processamento existente. Caso contrário, equipamentos especializados devem ser concebidos, fabricados, e comprado por processadores, todos os quais podem deter interesses comerciais (Halley & Averous, 2014).

Diversas pesquisas vêm estudando o processo de expansão térmica para o desenvolvimento de embalagens expandidas biodegradáveis a base de amido. Como exemplo, Stoffel (2015) desenvolveu e caracterizou bandejas a base de espuma de amido de mandioca para embalagem de alimentos pelo processo de expansão térmica, testando diferentes proporções de amido e água, como agente expensor, na formulação das espumas de amido. Marengo *et al* (2013) e Mali & Marim (2013) desenvolveram através de termoformagem que foi realizada em termoprensa hidráulica acoplada a um molde de Teflon® retangular (23,5 x 18,5 x 2,3 cm) e guias metálicas de 1 mm de diâmetro para o escape do vapor sob condições no molde (130 °C, 100 bars de pressão). Em 20 min as bandejas formadas foram retiradas do molde e condicionadas sob umidade relativa (UR) de 58% em estufa incubadora contendo solução saturada de brometo de sódio à 25 °C por 7 dias. Carr (2007) também desenvolveu por termoformação testando diferentes tipos de plastificantes na formulação.

Para o próximo capítulo de avaliação econômica do processo, foi escolhido o processo de termoprensagem ao invés do processo de extrusão e termoprensagem devido ao custo do processo, em que, baseado nos resultados do estudo de Naime

(2010), a tecnologia de termoprensagem alcança o objetivo da fabricação de embalagem de qualidade.

Acredita-se que após a transformação em termoplástico (desestruturação granular com consequente formação de uma fase contínua conseguida através da combinação de energia mecânica, térmica e adição de plastificante) na formulação, tópico anterior, o material torna-se um fundido, permitindo seu uso em equipamentos de injeção, extrusão, sopro e termoprensagem. A partir disso, o desenvolvimento de tecnologia industrial, considerando amido de mandioca para fabricação de bandejas expandidas através de termoprensagem, com cada prensagem de 3 a 5 minutos, através injeção direta nos moldes é uma vertente possível, conforme Figura 4.8 (Teixeira, 2007).

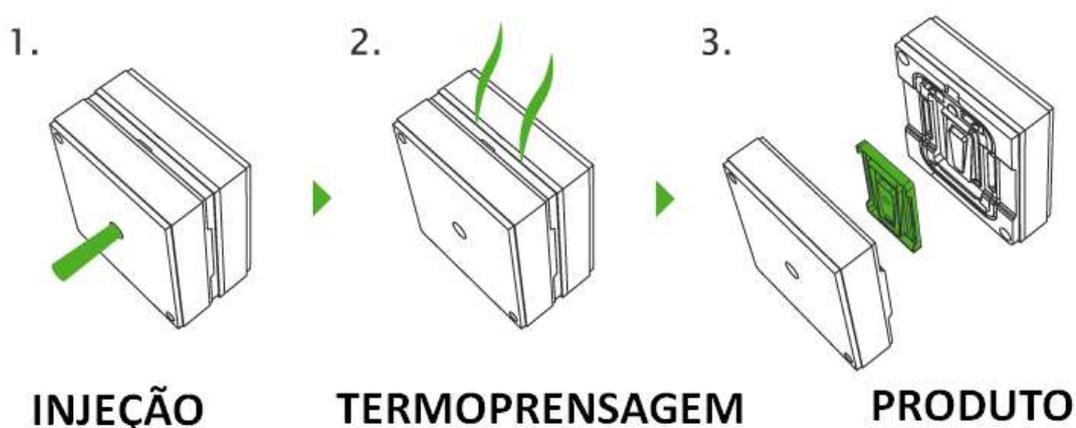


Figura 4.8 - Processo de produção de embalagens biodegradáveis de amido

Fonte: Paper Foam ®- Adaptado

Após a prensagem, as espumas de amido são removidas do molde, resfriadas e acondicionadas em ambiente com temperatura controlada de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $60 \pm 5\%$ , para o processo de cura onde ocorre rearranjo da estrutura do amido. Para evitar rachaduras, trincas e outras falhas no processo, é necessário que nesta etapa de resfriamento haja controle da temperatura e umidade devido a absorção de água e rearranjo da estrutura do amido.

### 4.3.3 REVESTIMENTO PÓS-PROCESSAMENTO:

O uso de polímeros naturais como substitutos dos plásticos tem suas limitações. Os materiais feitos de amido são hidrofílicos e deformam quando em contato com a

água. Logo, embalagens desenvolvidas a base de amidos apresentam baixa resistência à umidade devido à presença dos grupos hidroxilas, lhe oferecendo caráter hidrofílico. Frente a isso, pesquisas vêm trazendo diversas soluções para este gargalo, onde estudos relatam a aplicação de revestimentos em superfícies ou impregnação de materiais hidrofóbicos. Dentre os materiais utilizados como revestimentos, o poli (ácido láctico) tem se destacado como potencial para aplicação em embalagens. O PLA é um poliéster alifático linear produzido por polimerização de L- ou D- ácido láctico, através da abertura do anel ou condensação química, além do processo enzimático, conforme a fórmula estrutural na Figura 4.9, e é biodegradável e atóxico. Além disso, apresenta resistência à umidade e propriedades de barreiras contra gases e vapor d'água (Stoffel, 2015).

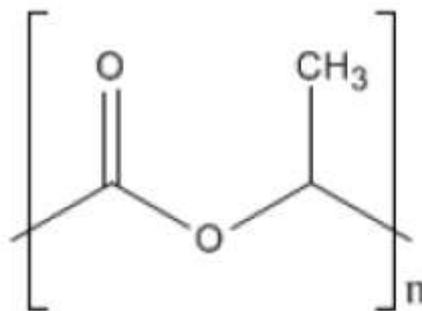


Figura 4.9 - Fórmula estrutural do PLA

Fonte: Stoffel, 2015

Além do PLA, outros revestimentos vêm sendo utilizados, como acetato de amido do qual observou redução de até 70% na absorção de água. E, outras técnicas de aplicação, como spray, imersão e técnica “in situ” através de biologia molecular. Na patente, WO 200.112.706-A (US 6.573.308-B1), os inventores processaram, em uma extrusora, copoliéster (alifático-aromáticos) biodegradáveis, amido e agente de expansão. Os copoliésteres se degradam lentamente na compostagem sem comprometer as propriedades mecânicas do produto (Ponce *et al*, 2008).

Entretanto, algumas patentes descrevem a obtenção de espumas de amido através da incorporação de polímeros sintéticos como um processo nem sempre economicamente viável, pois encarecem o produto devido à necessidade de outro equipamento (extrusora) e aditivos para aumentar a aderência. Autores utilizaram resinas naturais entre a espuma de amido e o filme hidrofóbico. No entanto, esses

adesivos naturais alteram a coloração da espuma, interferindo na aparência do produto tendo o consumidor preferência por cor branca, característica do ISOPOR e também por conferir aspecto de limpeza. Além disso, os adesivos naturais possuem tempo de vida curto (Carr, 2007).

Frente a isso, outra forma de aumentar a resistência das espumas à água é através da impermeabilização com filmes hidrofóbicos, como descrito na patente US 5.576.049 onde a espuma é impermeabilizada por filmes plastificantes hidrofóbicos e solvente de baixo ponto de ebulição, pois é obtido pela evaporação do solvente na superfície da espuma. Na patente PI0520831-9, os inventores propuseram a aplicação de poliéster e copoliésteres, que são biodegradáveis, em um solvente apropriado. Com isso, não há necessidade de aditivo de aderência entre o filme hidrofóbico e a espuma de amido, diminuindo o custo (Lugão *et al.*, 2010).

Outra solução possível para reduzir a hidrofobicidade dos filmes de amido após o processamento consiste na aplicação de um fino recobrimento protetor polimerizado por plasma nas superfícies dos filmes, podendo ser a frio conferindo inércia química, biocompatibilidade e outras propriedades. Entretanto, este método é bastante custoso, portanto não será analisado economicamente no próximo capítulo (Silva, 2010).

Na patente PI 0604473-5 (Lugão *et. al.*, 2010) os inventores propuseram um revestimento através de um polímero de origem sintética de monômeros naturais e/ou (co)poliéster biodegradáveis solubilizado em solvente inorgânico e/ou orgânico de quaisquer polaridade sendo eles aromáticos, alicíclicos ou acíclicos, ou mistura deles, a uma temperatura de 10°C a 250°C, variando conforme o solvente, podendo ser água, triclorometano e similares, butanona, álcool, etanoato de etila, metanol, ciclohexano, hidrocarbonetos insaturados, aromáticos, halogenados, ácidos orgânicos, e outros.

Na patente PI 0804862-2 A2, o autor propõe uma invenção para revestimento de embalagens biodegradáveis através da formação de mistura de polímeros com aditivos visando melhora na resistência térmica e mecânica, barreira contra água e adesão do filme. O autor fez diversos testes utilizando acetato de etila, clorofórmio e acetona em variadas formulações em diferentes condições (Ponce, 2010).

Há diversos tipos de aplicações dos agentes impermeabilizantes nas embalagens biodegradáveis de amido. Desde adição de componentes na formulação até o pós-

processamento como laminação, imersão e spray. A laminação, através das calandras, é restrita para filmes, ou seja, para embalagens termoformadas como bandejas e copos não é viável. Soares *et al.*, (2013) fez um estudo comparando solução de *coating* de PLA aplicada por pulverização e imersão, onde concluiu que a aplicação em spray resultou em melhorias nas propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água dos bioplásticos, além de reduzir a sua solubilidade em água.

Para a continuidade do trabalho, será avaliado economicamente no próximo capítulo a impermeabilização das embalagens biodegradáveis de amido de mandioca revestidas com poli (ácido lático) (PLA) diluída em solvente, que pode ser água, etanol ou qualquer outro solvente que seja verde. De acordo com a patente de Ponce (2010), dentre os solventes utilizados nas formulações, como exemplo acetato de etila, clorofórmio e acetona será escolhido para o próximo capítulo acetona devido a ser o solvente mais verde dentre as opções usadas na patente, além da sua possível obtenção através da fermentação. O PLA será diluído sobre agitação, em rotação de 80 rpm, e aquecido até seu ponto de fusão (180°C) por 30 minutos ou até solubilização total da resina polimérica. As embalagens de amido de mandioca serão impermeabilizadas pela solução ácido lático/acetona na proporção de 15% de PVA (m/v) por spray através de um túnel de spray. Após, as embalagens impermeabilizadas foram mantidas em ambiente com temperatura controlada de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  para evaporação do solvente, onde também pode ser recuperado através da destilação do mesmo.

#### 4.4 MELHORIAS NO PROCESSO:

O amido é um dos biopolímeros mais estudados para a produção de embalagens biodegradáveis, devido a sua abundância e baixo custo, o que favorece a sua utilização em escala industrial. Apesar disto, as embalagens de amido apresentam algumas desvantagens relevantes, como a baixa flexibilidade e a baixa resistência mecânica sobre umidades elevadas, necessitando de tratamentos especiais, como a adição de fibras, plastificantes e aditivos para se tornarem resistentes como as embalagens tradicionais (Degiabi *et al.*, 2011).

Independentemente do método utilizado para a sua obtenção, a aplicação das embalagens de amido de diferentes fontes ainda é limitada devido a sua alta afinidade pela água. Materiais a base de amido demonstram baixa resistência mecânica em

elevadas umidades relativas e também alto custo quando comparadas com as embalagens tradicionais. Nesse contexto, vários autores vêm testando com sucesso a produção de blendas ou compósitos a partir da introdução de fibras vegetais, plastificantes, álcool polivinílico, nanoargilas, dentre outros, conforme alguns já discutidos (Debiagi *et al.*, 2013).

Marengo *et al.*, (2013) pontuaram que existe grande interesse mundial na pesquisa e desenvolvimento de sistemas de embalagens biodegradáveis à base de amido, devido ao seu baixo custo e abundância, no entanto, a produção de embalagens compostas exclusivamente por amido não é viável devido à sua higroscopicidade e baixa flexibilidade, o que torna estes materiais sensíveis ao contato direto com água e quebrações.

Diversas patentes vêm inovando com melhorias os processos de obtenção de espuma de amido de mandioca. A patente PI0603932-4 A2, (Lugão *et al.*, 2009) que diz respeito a uma espuma de amido na qual a formulação adequada composta basicamente de mistura a quente de água e amido de mandioca, possuindo boa resistência mecânica e térmica permite a adição de aditivos como plastificantes, espessantes, amido gelatinizado, cargas orgânicas e inorgânicas para aumentar a resistência das espumas a altas propriedades. Diversas patentes vêm desenvolvendo formulações com diferentes aditivos para melhorar propriedades e processabilidade de espuma de amido de mandioca. Como na patente US 6.146.573 (Shogren *et al.*, 1994) desenvolveu espuma de amido com adição de plastificante de 0,5% a 40% de poli (vinil álcool) como plastificante. Na patente US 5.545.450 os inventores desenvolveram embalagem biodegradável contendo alta concentração de carga inorgânica. Na patente US 5.709.827 desenvolveram produtos biodegradáveis através de prensagem de amido e fibras naturais.

#### 4.4.1 ADIÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS:

Entre os materiais de reforço mais estudados em matrizes poliméricas de amido estão as fibras vegetais, que apresentam fonte renovável, abundância, baixo custo, biodegradáveis e atóxicas. A introdução de fibras às matrizes poliméricas leva à formação de compósitos, isto é, materiais compostos por dois diferentes constituintes,

que apresentam propriedades que não são possíveis de se obter a partir dos mesmos constituintes puros (Marengo *et al.*, 2013; Debiagi *et al.*, 2013).

Entre alguns tipos de resíduos da agroindústria que teriam potencial de aplicação como reforço em matrizes poliméricas está o bagaço da cana-de-açúcar, as fibras do coco e o farelo de soja. O bagaço de cana-de-açúcar apresenta cerca de 45% de fibras, das quais 41% de celulose, 25% de hemicelulose e 20% de lignina. O Brasil destaca-se pela disponibilidade de recursos naturais renováveis, que podem ser usados no desenvolvimento de materiais biodegradáveis. A utilização adequada destes resíduos ajuda a minimizar problemas ambientais e energéticos, podendo gerar produtos com relevantes aplicações na indústria (Marengo *et al.*, 2013).

As melhorias no amido termoplástico gera um desempenho que pode ser atribuído ao reforço da matriz usual e com as inter-relações entre a matriz das fibras. De acordo com alguns autores, a resistência à água de plásticos à base de amido pode ser melhorada pela adição de uma pequena quantidade de fibras de celulose comerciais de até 15% g/g. O amido termoplástico extrusados e moldados por injeção reforçada por celulose e materiais de enchimento apresentam uma melhor resistência térmica comparada a folhas não reforçadas de lignocelulose. O comportamento mecânico destes biocompósitos reforçados muda de acordo com o conteúdo do material de enchimento, natureza da fibra e comprimento da fibra (Bertolini, 2010).

Comportamento atribuído ao caráter reforçador das fibras de celulose, devido à similaridade estrutural com o amido, o que permite uma forte adesão entre a matriz polimérica e a fibra. Os compósitos incorporados de fibras lignocelulósicas apresentam como vantagem o baixo custo, a aparência natural, o decréscimo da abrasividade e do requerimento de energia durante o processamento, decréscimo da rigidez e aumento da biodegradabilidade, dentre outras. Dentre alguns resíduos agroindustriais lignocelulósicos podem ser citados o bagaço de mandioca, resíduo de fecularias, o resíduo fibroso da indústria cervejeira ou bagaço de malte, a casca do arroz, resíduo do beneficiamento do arroz, a casca da aveia, resíduo do processamento da aveia, dentre outros (Debiagi *et al.*, 2013).

O bagaço de mandioca, resíduo rico em amido e fibras, que é resultante da extração do amido das raízes de mandioca, devido ao seu baixo custo e alta produção no Brasil é uma excelente alternativa para produção de embalagens biodegradáveis em

escala industrial, porém, embalagens de amido apresentam propriedades mecânicas e de barreira indesejáveis para a produção em larga escala. Isso pode ser contornado através do emprego de misturas com outros materiais biodegradáveis, como o álcool polivinílico, que melhoram a resistência à tração, flexibilidade e resistência ao contato com a água (Mali & Marim, 2013).

Outra técnica estudada é a incorporação de cargas minerais nanométricas em matrizes de amido, que é uma alternativa interessante, pois além de manter a biodegradabilidade, estes materiais atuam como reforço mecânico e melhoram a barreira à umidade. Além disso, algumas fibras também podem ser usadas com esta finalidade. No Brasil, destaca-se a abundância e o baixo custo das fibras do bagaço de cana-de-açúcar, geradas por muitas indústrias de álcool e açúcar existentes no país. Além do fator econômico, são fibras de baixa densidade, interessantes para o uso em materiais expandidos (Degiabi *et al.*, 2011).

No estudo feito por Schimdt (2006), as bandejas biodegradáveis feitas de amido de mandioca, calcário e fibras celulósicas apresentaram propriedades que podem ser comparadas com as propriedades das bandejas comerciais de poliestireno expandido papel (PSP). Pela estrutura das bandejas biodegradáveis serem mais porosas e com grande capacidade de absorção de água, elas são mais indicadas para o acondicionamento de frutas e vegetais. Para o acondicionamento de frios é necessário um revestimento na superfície da bandeja em contato com o produto. Este revestimento pode ser o próprio plástico filme que estaria envolvendo o produto. O material obtido pode ter outras aplicações, como em materiais de papelaria, entre outros.

Mesmo discutindo as diversas vantagens da adição de fibras vegetais, no ponto de vista técnico, não será discutido no próximo capítulo de avaliação econômica, pois não é o objetivo do presente trabalho a análise de compósitos.

#### 4.4.2 MODIFICAÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS:

Uma das modificações químicas do amido mais interessante é a acetilação. Esta reação permite a preparação de um material termoplástico e hidrofóbico. A acetilação do amido é uma modificação química que é conhecida há mais de um século. No amido modificado, parte dos grupos hidroxila dos monômeros de glicose é convertida em

grupos -O- (etanoato), ou seja, a acetilação do amido é a esterificação dos grupos hidroxila da unidade de anidroglicose da molécula de amido (Schimdt, 2006).

Alguns materiais à base de amido foram desenvolvidos através da modificação química por meio de reações orgânicas bem conhecidas, para obter material com uma melhor sensibilidade à água e desempenho mecânico. Amido esterificado por acetilação demonstrou ser eficiente devido à modificação química para a obtenção de materiais à base de amido termoplástico com reforçada hidrofobicidade e maior estabilidade térmica, porém é um dos métodos mais caros de modificações de amido (Bertolini, 2010).

Radiações ionizantes (gama ou elétrons) têm sido aplicadas há muito tempo em polímeros. A irradiação gama é uma ferramenta conveniente para modificações de materiais poliméricos por diversas técnicas. Autores vêm estudando sua aplicação em amidos, que quando exposto aos raios gama, sofre interessantes mudanças físico-químicas, como redução da massa molar à metade, pois as ligações do amido são hidrolisadas levando a degradação da cadeia polimérica (Schimdt, 2006).

Conforme discutido nos tópicos anteriores neste capítulo, a quantidade de água na produção de espuma de amido é uma variável importante também na resistência mecânica e térmica. As espumas fabricadas com quantidades elevadas de água na formulação expandem-se mais facilmente durante o processo de fabricação e são menos densas, porém não possuem resistência térmica nem mecânica. Isso porque a estrutura interna da espuma é bastante porosa e heterogênea. Já as espumas produzidas com massas contendo menores quantidades de água na formulação tem mais resistência térmica e mecânica, porém a massa expande menos, sendo necessária mais massa para a fabricação. Uma alternativa para diminuir a água livre na formulação, melhorar a resistência mecânica e térmica é a utilização de espessantes e cargas orgânicas, porém a adição de aditivos encarece o produto final (Lugão *et al.*, 2009).

Na patente MU8700654-5, os inventores propuseram a utilização de um dispositivo de pressão negativa na obtenção de espuma biodegradável de amido de mandioca. Segundo os inventores, a pressão negativa, aplicada ao molde, retira rapidamente a água presente na formulação logo após o processo de gelatinização e expansão, levando o amido expandir-se mais facilmente durante o processo, formando espumas mais resistentes mecanicamente e termicamente, sem necessidade de

quantidades excessivas de massa e menos tempo para formação da espuma. Este dispositivo é usado para produção de peças plásticas de polímeros sintéticos para evitar formação de bolhas, melhorando a estrutura interna e tornando-a mais compacta e homogênea.

Para o próximo capítulo de avaliação econômica não serão analisados as possíveis modificações químicas e físicas pelo ponto de vista econômico, pois há poucos dados na literatura para se realizar uma análise concreta.

### 4.4.3 BLENDA POLIMÉRICAS:

O desenvolvimento de novos materiais poliméricos derivados de fontes renováveis tem motivado um grande número de estudos recentemente. O amido é um dos materiais mais promissores para essa finalidade, pois é produzido em grandes quantidades em praticamente todas as regiões do mundo, tem baixo custo e pode ser utilizado tanto na produção de insumos químicos básicos como diretamente na composição de polímeros termoplásticos. Entretanto, o amido termoplástico apresenta algumas desvantagens quando comparado à maioria dos plásticos, sendo que essas podem ser amenizadas adicionando o amido termoplástico a polímeros sintéticos. A mistura de polímeros é uma rota economicamente viável para melhorar as propriedades dos materiais poliméricos já existentes. As blendas são materiais originários de dois ou mais polímeros com características constitucionais ou configuracionais diferentes, e que possuem baixo grau de ligação química entre si. Com o intuito de minimizar estes e atender às exigências do mercado, muito se têm investido numa nova classe de polímeros, os biodegradáveis, onde se destacam: PLA - poli(ácido láctico); PHB - poli(hidroxibutirato); PHBV - poli(hidroxibutirato-co-hidroxivalerato) e copoliésteres alifáticos aromáticos (AAC) biodegradáveis, tais como: Ecoflex® - poli(butilenoadiapato-tereftalato). Estes polímeros apresentam excelentes aplicações no setor de embalagens e filmes, devido a sua alta resistência à umidade, à gordura, à mudança de temperatura e propriedade de barreira a gases (Miranda *et al.*, 2011).

Verificou-se um aumento do interesse em blendas de amido e polímeros sintéticos não degradáveis, uma vez que a redução da quantidade de material de fonte não renovável já representa um grande avanço no desenvolvimento de novos materiais. Adicionalmente, diversos estudos têm demonstrado que as poliolefinas, por exemplo,

quando fragmentadas podem ser metabolizadas, levando assim a sua completa biodegradação. A produção de blendas de amido com polímeros petroquímicos tem a intenção de encontrar uma solução para os problemas causados por estes plásticos, que levam séculos para se degradarem na natureza. A adição do amido é considerada como alternativa viável para acelerar o ataque de microorganismos e garantir pelo menos uma biodegradação parcial. Os microorganismos consomem o amido circundante, o plástico perde sua integridade estrutural. Esse processo faz com que haja deterioração das propriedades mecânicas, facilitando a quebra do material por outros mecanismos de degradação (Pellicano *et al.*, 2009).

Embora estudos tenham comprovado diversas vantagens de blendas poliméricas, tanto pelo ponto de vista técnico quanto pelo ponto de vista econômico, não será abordado por não contemplar o objetivo do trabalho.

## 4.5 PRODUTORES DE BIOPLÁSTICOS:

O primeiro plástico conhecido de base biológica, polihidroxibutirato (PHB), foi descoberto em 1926, por um pesquisador francês, Maurice Lemoigne, a partir de seu trabalho com a bactéria *Bacillus megaterium*. A importância da descoberta de Lemoigne foi ignorada por muitas décadas, em grande parte porque, na época, o petróleo era barato e abundante. A crise do petróleo de meados dos anos 1970 trouxe um interesse renovado na busca de alternativas aos produtos à base de petróleo, além dos crescentes problemas ambientais. Os plásticos de base biológica podem ser fabricados a partir de materiais vegetais renováveis tais como amido, celulose, óleos, lignina, proteínas e polissacarídeos. As maiorias dos plásticos de base biológica são atualmente fabricadas com amido como matéria-prima (cerca de 80% dos bioplásticos). As atuais principais fontes de amido presente são o milho, batata e mandioca, entre outras fontes (*British Plastic Federation*, 2015).

Um estudo desenvolvido pela Embaixada Brasileira no Japão, em 2007, descreveu um quadro geral da inserção de bioplásticos no mercado mundial no ramo de embalagens por ser o qual mais se sensibilizou com o pensamento verde através da crescente aceitação dos consumidores por produtos ecologicamente corretos. As variações do uso de bioplásticos acompanham o crescimento do mercado, com uma gama de produtos de diversas fontes, com destaque para o amido que chegaram a

atingir, em 2007, cerca de 100 mil toneladas por ano. Os principais produtores mundiais são a empresa italiana *Novamont*, com capacidade de 32 mil toneladas por ano, e a holandesa *Rodenburg Biopolymers*, com capacidade de 40 mil toneladas por ano. Destacam-se também a alemã *BIOP Biopolymer Technologies*, (parceria com a Basf), com capacidade de 10 mil toneladas por ano, e a norte-americana *National Starch & Chemical Co.* com 7 mil toneladas por ano de espuma de amido, representado na tabela 4.1.

<b>Capacidade de Produção dos Biopolímeros</b>			
<b>TIPO</b>	<b>EMPRESA</b>	<b>CAPACIDADE (t/a)</b>	<b>MARCA</b>
Polímeros do Amido	Rodenburg Biopolymers (Hol.)	40.000	Solanyl
	Novamont (Itália)	32.000	Master-Bio
	BIOP Biopolymer Technologies (Al.)	10.000	BIOPar
	National Starch & Chemical Co. (EUA)	7.000	Espuma de amido
	Uni-Star Industries (EUA)	5.000	Star Kore
	Complas Packaging (França e Irlanda)	n.d.	Espuma de amido
	Biotech GnbH -E. Khashoggi Industries (Al.)	2.000	Bioplast/à base de amido
	Hubert Loik AG (Alemanha)	n.d.	Espuma à base amido
	Japan Cornstarch Co. (Japão)	piloto	Cornpol (amido modif.)
	FP International UK (Reino Unido)	n.d.	Espuma de amido
	Green Light Products (Reino Unido)	n.d.	EcoFoam
	Nihon Shokuhin Co. (Japão)	piloto	Placorn
	Storopack Germany GmbH (Al.)	n.d.	Espuma à base amido

Tabela 4.1 - Capacidade de produção de biopolímeros no mundo

Fonte: Embaixada Brasileira do Japão, 2007 – Adaptado.

Um dos produtos à base de amido foi desenvolvido pela *Green light products* no Reino Unido. O bioplástico *ECO-FOAM* foi desenvolvido utilizando amido expandido como material de embalagem de espuma. Os materiais da *ECO-FOAM* são derivados a partir de milho ou amido de mandioca e também amidos modificados. A *Green light products* tem testado diversas formulações com amidos termoplásticos e misturas

(blendas) para uma variedade de aplicações, incluindo itens moldados por injeção como brinquedos, folha extrusados e aplicações de filme soprado (Smith, 2005).

A *Novamont*, empresa italiana que está entre as maiores produtoras de bioplásticos de amido do mundo, produz uma gama de polímeros à base de amido de milho, sob o nome de marca de *Mater-Bio*, com os produtos de quarta geração agora em desenvolvimento. São baseados em misturas de amido termoplástico com aplicações de produtos como filmes biodegradáveis e sacos, produtos de embalagens termo formadas, itens moldados por injeção, higiene pessoal e artigos de espuma de embalagem. Detém mais de 1000 patentes relacionadas a tecnologias materiais de amido, particularmente nas áreas de mistura e tecnologias de aditivos, bem como amido termoplástico (Jassen, 2009).

A *Rodenberg*, empresa holandesa que é a maior produtora de bioplásticos do mundo com capacidade de produção de 40 mil toneladas por ano de bioplásticos, desenvolveu o polímero *Solanum* que é amido termoplástico desenvolvido para aplicações de moldagem por injeção. *Solanum* é derivado a partir de cascas de batata. A *Biotec*, empresa alemã com capacidade de produção de 2 mil toneladas por ano, produz *Bioplast<sup>TM</sup>* que é polímero à base de amido para uma gama de aplicações, incluindo acessórios para arranjos florais, bolsas, caixas, copos, talheres, protetores de borda, golfe, manto para velas, redes, embalagens, embalagens de filmes, material de embalagem para envio pelo correio, tubetes, sacos de compras, palhas, cordas, utensílios de mesa e fitas (Halley & Averous, 2014).

A *Plantic Technologies*, originalmente constituída em 2001, a empresa australiana, têm produzido *Plantic<sup>TM</sup>* que são bandejas termoformadas para embalagens de confeitaria. É constituída de polímero de amido biodegradável solúvel em água produzido a partir de amido de milho de alto teor de amilose, modificado por hidroxipropilação para torná-lo termoprocessáveis. A gama de produtos atualmente consiste em bandejas termoformadas para aplicações tais como bandejas de chocolate; a nova gama (*Plantic Ecoplastic*) é um produto que tem multicamadas onde uma pele exterior umidade de proteção e até 80% de teor de energias renováveis (Smith, 2005).

*Paper Foam* tem desenvolvido muitos produtos de embalagem distintos e inovadores em uma ampla variedade de indústrias como a eletrônica de consumo, médicos, cosméticos e alimentos secos. O material de amido de mandioca e batata é

produzido com tecnologia de moldagem por injeção. O material altamente sustentável é certificado de base biológica, compostável e papel reciclável. (*Paper foam* – acessado em 6/10/15 às 11:30 hs)

No Brasil, apesar de grande biodiversidade da natureza, temos poucas empresas desenvolvendo bioplásticos de amido. Para tentar suprir uma demanda crescente e a nova ideologia verde mundial, são necessárias constantes pesquisas e inovações técnicas, e, além disso, análises econômicas para aprimorar (em alguns casos tornar) os processos mais viáveis economicamente. O próximo capítulo discutirá a avaliação econômica do processo, conforme Figura 4.10, discutido neste capítulo para tentar encontrar melhorias no ponto vista econômico.

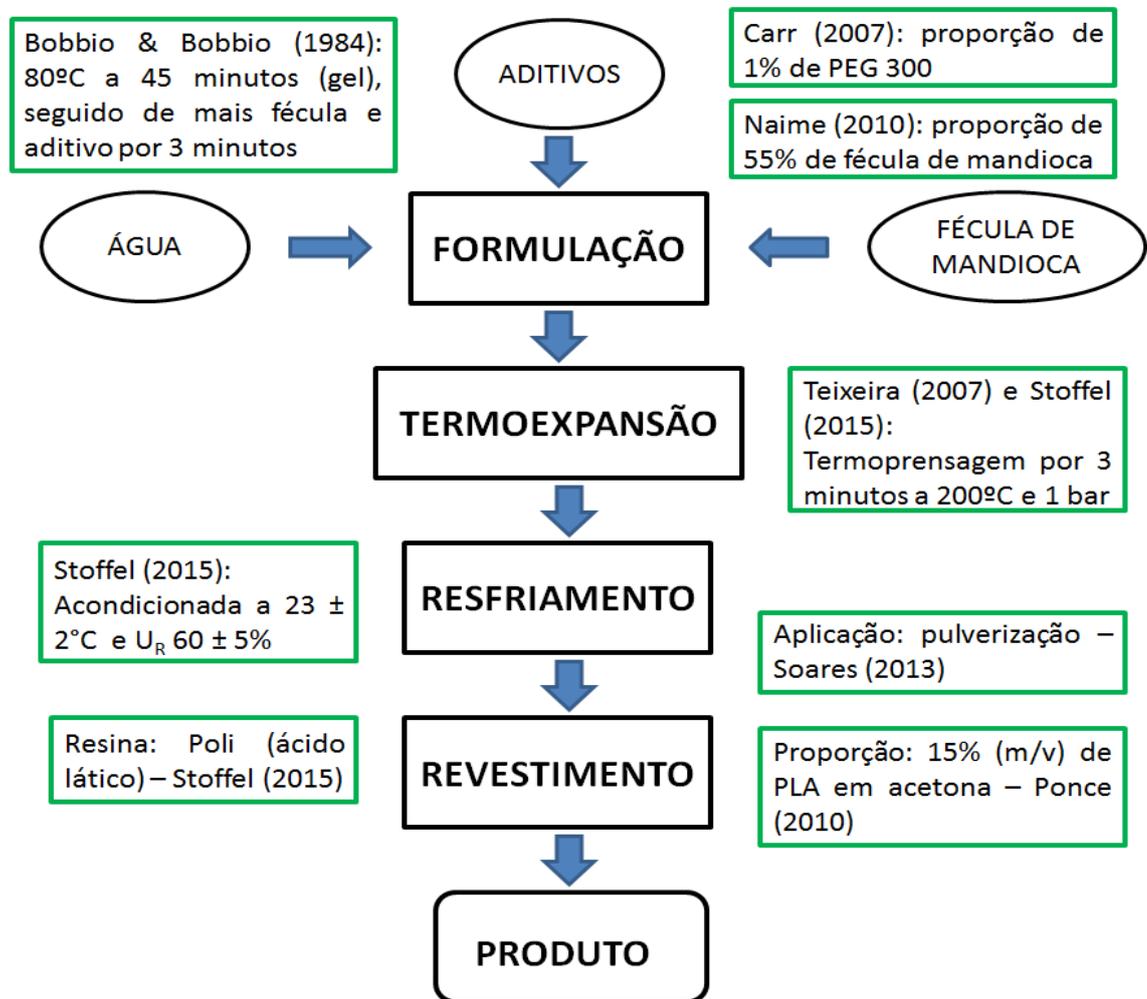


Figura 4.10 - Esquema do processo de obtenção de espuma biodegradável de mandioca por termoexpansão

Fonte: Elaboração própria

Para este processo, na etapa de formulação é elaborada uma “massa” através de mistura de fécula de mandioca (fonte de amido), água e plastificante, conforme discutido nos tópicos 4.3.1 e 4.3.1.1. Em seguida, sofrerá uma termoexpansão em prensas hidráulicas com parâmetros discutidos no tópico 4.3.2 com um ciclo de 3 minutos, ou seja, a cada 3 minutos sairá um produto de cada prensa. Onde será curado na etapa de resfriamento sobre condições de umidade e temperatura já discutidas em uma sala aclimatizada. Após o tempo de cura, o produto deve passar pela etapa de revestimento para poder ser usado como embalagem. Para isso, é elaborada uma solução *coating*, como discutido no tópico 4.3.3 e assim, ficando pronto para vendas e/ou utilização. Mesmo o processo dando abrangência à fabricação de uma gama de produtos, somente sendo necessária a troca do molde e leves alterações na formulação, este trabalho focou na produção de copos para facilitar na análise econômica e na conclusão do seu objetivo frente às necessidades do mercado.

# CAPÍTULO 5: AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO PROCESSO

---

Com o atual cenário mundial e a aumento da velocidade das mudanças tecnológicas, sociais e econômicas, as empresas precisam, constantemente, aumentar sua competitividade para sobreviver nesse mercado globalizado. Por isso, novas alternativas de produção têm sido vislumbradas no sentido de fazer com que os processos de produção tornem-se cada vez mais eficientes. Os novos equipamentos e tecnologias buscam, em geral, diminuir os custos de produção, trazendo novos tipos de produtos substituindo os tradicionais (Costa, 2005).

Frente a isso, a necessidade de adequar ao seu parque produtivo, desenvolvendo novos processos e equipamentos adequados, com eliminação de gargalos e ampliando a “flexibilização” tornou-se quesito de sobrevivência e longevidade para as empresas. Juntamente a isso, a análise de custos de processos vem sendo de suma importância para desenvolvimento de novos processos. Neste contexto, utilizar recursos naturais através de novas tecnologias e desenvolver novos produtos desempenha um papel importante não só no crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) de qualquer país, mas também no desenvolvimento social e econômico de países em desenvolvimento, entre eles o Brasil. Isto por sua vez cria novos postos de trabalhos, gera renda, e desse modo melhora o padrão de vida das pessoas (Guimarães, 2010).

A indústria química brasileira está entre as dez maiores do mundo e atualmente tem o objetivo de se posicionar entre as cinco maiores. Atualmente há um grande estímulo às pesquisas que desenvolvem tecnologias e produtos baseados em recursos naturais que possuem capacidade de degradação elevada sem gerar resíduos tóxicos. Através de programas de inovação tecnológica com o objetivo de incentivar investimentos no setor químico brasileiro em diversas áreas, principalmente na área de Química Verde, onde o Brasil pretende ser um líder global, vem um crescente interesse no desenvolvimento de uma cadeia produtiva local de bioplásticos, representando uma importante estratégia de crescimento para a indústria química brasileira através do ramo de embalagens que vem obtendo crescentes faturamentos nos últimos anos, conforme tabela 5.1 (Lancellotti, 2015).

Tabela 5.1 - Faturamento da indústria de embalagens no Brasil (em bilhões de reais)

Ano	Valor Bruto da Produção
2009	35,0
2010	42,8
2011	45,0
2012	47,1
2013**	51,9
2014**	55,1

Fonte: IBGE/FGV 2014

\*\* Dados estimados

A partir de um estudo de previsão de mercado do grupo *Freedonia* (2013), a demanda global por plásticos biodegradáveis e de base biológica vai ter um crescimento de 19% ao ano, atingindo 960 mil toneladas em 2017. Embora ainda em fase emergente de desenvolvimento, a indústria dos bioplásticos estabeleceu-se como um desafio em uma série de mercados comerciais e aplicações, com uma robusta expansão em praticamente todos os mercados geográficos impulsionado pela preferência de consumidores por materiais sustentáveis e novas legislações.

Entretanto, apesar do aumento da procura, o grupo *Freedonia* (2013) prevê que os bioplásticos ainda deverão ser responsáveis por menos de 1% do mercado de resinas plásticas até 2022. Esses entraves da indústria de bioplásticos são frutos de desempenho industrial, conversão em larga escala e preços, onde há uma grande disparidade comparada aos plásticos derivado de petróleo. Os plásticos biodegradáveis responderam por 90% do mercado mundial de bioplásticos em 2010. O preço será determinante para o 'boom' do mercado de bioplásticos.

O mercado de bioplásticos ainda é incipiente no Brasil, sendo que a maior parte dos volumes comercializados provém de importações ou de produção em escala piloto. Hoje, estima-se que este mercado represente não mais que US\$ 5 milhões ao ano no Brasil, considerando apenas as resinas em si, como PLA (ácido polilático), PHB (Polihidroxibutirato) e aquelas derivadas do amido da batata, por exemplo, conforme Figura 5.1 (Lancellotti, 2015).

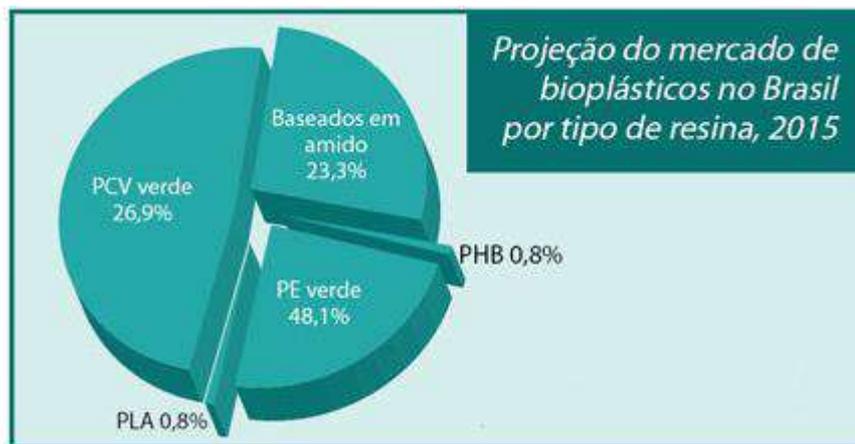


Figura 5.1 – Projeção do mercado de bioplásticos brasileiro em 2015.

Fonte: Lancellotti, 2015

Um desafio significativo para o desenvolvimento do mercado de bioplásticos no Brasil torna-se cada vez mais claro que o consumidor brasileiro, em geral, não estará disposto a pagar mais por um produto feito de bioplástico. Um desafio significativo para o desenvolvimento do mercado de bioplásticos no Brasil torna-se cada vez mais claro que o consumidor brasileiro, em geral, não estará disposto a pagar mais por um produto feito de bioplástico. Assim, é de crucial importância que os produtores busquem ganhos de escala e redução dos custos de produção. Se por um lado o Brasil ainda enfrenta muitos entraves na formação do mercado de bioplásticos, por outro, existem diversas oportunidades a serem aproveitadas. Neste contexto, neste capítulo foi estudado uma análise econômica do processo de bioplástico de amido de mandioca proposto no capítulo anterior.

A discussão sobre a validade de diversas metodologias de análise econômica é ampla e os métodos de cálculo variados e complexos. Para este trabalho, foi abordada uma análise clássica e simples que levou em conta os investimentos do projeto, preço do produto, custos variáveis e custos fixos da planta. A partir disso, foi obtido um ponto de

nivelamento da capacidade produtiva da planta, onde é possível ter uma visão da rentabilidade operacional do projeto; e, foi obtido um fluxo de caixa econômico do projeto em um planejamento de horizonte de 10 anos, onde foi possível ter uma visão da rentabilidade econômica do projeto, e a análise de sensibilidade variando itens da avaliação econômica dentro de uma faixa, conferindo uma visão econômica do projeto.

## 5.1 PARÂMETROS DA ANÁLISE ECONÔMICA:

Para analisar a viabilidade econômica deste projeto, foram definidas algumas premissas relevantes, conforme apresentado na tabela 5.2. Definimos um prazo de análise de 10 anos (horizonte de planejamento), que seria um período suficiente para que o fluxo de caixa da empresa se estabilize e, portanto, é suficiente para analisar a viabilidade que se quer comprovar. Nesta análise, foram definidos os parâmetros do processo e calculados os investimentos, custos fixos e custos variáveis, através de uma planilha em Excel 2013 no qual foi desenvolvida para este projeto.

Foi definida, para esta análise econômica, uma taxa de juros de 18% que é acima da atual taxa Selic de acordo com o Banco Central do Brasil ([www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdia.asp](http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdia.asp)) é de 14,15%. Também foi definida a taxa de Imposto de Renda de acordo com a Receita Federal do Brasil. A taxa mínima de atratividade (TMA) foi definida como o mesmo valor da taxa de juros, ou seja, acima da taxa Selic, no qual, devido ao alto risco deste empreendimento por ser um projeto novo e um mercado ainda desconhecido, foi escolhido uma TMA conservadora abrangendo um cenário considerado ruim.

Tabela 5.2 - Parâmetros da análise econômica

Premissa	Definição	Valor utilizado
<b>Horizonte de planejamento</b>	O tamanho do tempo futuro sobre o qual se tenha interesse em desenvolver uma visão	10 anos
<b>Taxa de Juros</b>	Que se ganha pela aplicação de recursos durante determinado período de tempo, ou alternativamente, aquilo que se paga pela obtenção de recursos, de terceiros durante determinado período de tempo.	18%
<b>Imposto de Renda</b>	É um tributo que é aplicado sobre os rendimentos recebidos por indivíduos, empresas ou qualquer entidade jurídica, como meio de captação de recursos do estado.	33%
<b>Taxa mínima de atratividade</b>	Taxa mínima onde o investidor se sente atraído pelo projeto	18%
<b>Capacidade de produção</b>	É a quantidade máxima que um sistema produtivo pode produzir ininterruptamente desconsiderando as perdas.	484,30 toneladas/ano

Fonte: Elaboração própria – Baseada em Portal da Administração

A capacidade de produção foi definida através do equipamento gargalo do processo que são as prensas. A prensa é o equipamento mais importante do processo e o mais custoso devido à quantidade necessária e preço unitário. Foi discutido no capítulo 4 que cada prensa tem um ciclo de 3 minutos, ou seja, doze produtos (portemolde de 12 cavidades) a cada 3 minutos por prensa. Este projeto tem como objetivo idealizar um processo dentro de uma empresa de pequeno porte para produção de copos com um regime de produção em um turno de 8 horas diárias (480 minutos), de segunda-feira a sexta-feira, com uma produção diária estipulada de uma meta em torno de 2 mil copos/dia, ou seja, 17.740.800 produtos/ano. Cada copo tem, em média, 25 gramas a 30 gramas ao fim do processo (após o revestimento), sendo assim, a capacidade produtiva deste projeto é de 484,30 toneladas/ano.

No capítulo anterior, foi discutida a capacidade produtiva dos grandes fabricantes de bioplásticos no mundo com uma faixa de produção, em média, de 2 mil a 4 mil toneladas de bioplásticos. Sendo assim, uma empresa de pequeno porte deste projeto produz em média 10% a 30% da capacidade de uma empresa de grande porte.

### 5.1.1 INVESTIMENTOS:

O investimento total para construção da unidade produtiva e início das atividades pode ser dividido em três grupos: (1) Instalações e edificações que correspondem a terrenos, construção civil, instalações, veículos e móveis; (2) Bens de capital que correspondem a equipamentos nacionais e internacionais; e (3) O montante de recursos necessários para o funcionamento inicial da empresa. Neste trabalho, não será considerado investimentos do grupo 1 (Instalações e edificações) que são obras na construção civil, veículos, móveis e outros, sendo assim, avaliando somente equipamentos necessários para o funcionamento da linha de produção (grupo 2: Bens de capital) e o capital de giro (grupo 3: montante de recursos).

Para estimar os custos para início das atividades, consideramos o investimento fixo que corresponde a todos os bens que se deve comprar para que o processo possa funcionar de maneira apropriada. Os bens necessários para o início das atividades foram discutidos no capítulo 4 onde foi avaliado o perfil técnico do projeto e são descrito na tabela 5.3, com as capacidades, em diversas unidades, de cada equipamento e o preço FOB.

Tabela 5.3 - Lista de equipamentos necessários para o processo

<b>Setores</b>	<b>Equipamentos</b>	<b>Preço Unitário (R\$)</b>	<b>Capacidades (diversas unidades)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Fonte</b>
<b>Formulação</b>	Tanque homogeneizador/Encamisado	13.800,00	200 L	1	ACBLABOR
<b>Formulação</b>	Masseira de pão	3.899,00	25 kg	2	Venâncio metal
<b>Termoexpansão</b>	Prensa hidráulica	22.000,00	15 Kw.H	35	Harsle
<b>Termoexpansão</b>	Molde de aço	15.000,00	12 cavidades	35	AMDnet
<b>Termoexpansão</b>	Condensador	40.000,00	15000 Kcal/h	2	CNCEN
<b>Termoexpansão</b>	Esteira transportadora	9.000,00	20 m/min	2	Lemaqui
<b>Termoexpansão</b>	Dosadora de massas	11.900,00	2000 prod/h	4	Granomaq
<b>Termoexpansão</b>	Compressor para prensas, extrusoras e injetoras.	9.539,00	1699 L/min	1	Nowak
<b>Resfriamento</b>	Ar condicionado/umidificador	9.000,00	37000 m <sup>3</sup> /h	1	Tecbrisa
<b>Revestimento</b>	Túnel pulverizador de líquidos	7.725,00	2000 kg/h	1	AMC
<b>Revestimento</b>	Tanque homogeneizador/Encamisado	13.800,00	200 L	1	ACBLABOR
-	Total	1.502.262,00	-	85	-

**Fonte: Elaboração própria a partir das fontes indicadas na tabela.**

O cálculo do dimensionamento dos equipamentos foi desenvolvido a partir de estipulado a capacidade produtiva, já discutida anteriormente, pela prensa. Então, através da quantidade produzida pela prensa, foi calculada a quantidade de massa na formulação que deveria ser feita por dia (parametrizando o dia de produção com 8 horas de funcionamento da linha de produção com todos os setores funcionando concomitantemente) e dimensionados os equipamentos necessários para a elaboração da massa. Para a fabricação por termoexpansão através das prensas, é necessário equipamentos que auxiliam o funcionamento dos equipamentos principais, ou seja, dão suporte as prensas e o túnel pulverizador. Estes equipamentos são os

condensadores, que funciona como um trocador de calor para evitar superaquecimento dos sistemas das prensas, compressor para o funcionamento das prensas devido ao pistão, dosadora que mistura e faz as doses de massas que serão transportadas e inseridas nas prensas pela esteira transportadora. Todos os equipamentos foram dimensionalizados com o funcionamento da capacidade máxima da linha de produção, mas os custos das utilidades (água e energia elétrica), que são discutidos posteriormente, foram calculados de acordo com o uso da capacidade instalada da linha de produção. Após o resfriamento em ambiente com temperatura e umidade controladas por um ar condicionado umidificador que também foi dimensionalizado de acordo com o tamanho da sala de cura pelo máximo de produtos fabricados por dia, foi dimensionados os equipamentos do revestimento sendo que estes foram dimensionados de acordo com a produção máxima diárias das prensas, evitando ser outro gargalo no processo. Conforme metodologia discutida no capítulo 4, os equipamentos do revestimento foram dimensionalizados através da capacidade produzida pela prensa por dia.

Em muitas análises de viabilidade econômica de projetos da indústria química, o investimento é dividido em ISBL (*Inside Battery Limits*) e OSBL (*Outside Battery Limits*) (Chauvel e Lefevre, 1989). O ISBL engloba os equipamentos diretamente ligados ao processo produtivo, como no caso deste projeto, prensas, tanque homogeneizador e encamisado, maseira e outros que já foram descritos na tabela 5.2, assim como todos os gastos relacionados à instalação destes; Já o OSBL relaciona-se aos equipamentos normalmente ligados às áreas de apoio do processo produtivo como no caso deste projeto, estoque de matéria-prima, e outros complementares.

A partir da tabela 5.3 dos equipamentos principais do processo, foi estabelecido pelo método de Chauvel e Lefevre (1989) que definiram relações para o cálculo dos parâmetros do investimento de análise econômica de projetos, o ISBL do processo como a soma dos custos dos equipamentos principais que no caso foi de R\$ 1.502.262,00. Pode-se questionar esse valor, uma vez que facilidades e oportunidades de comprar podem surgir ao se negociar no ato da compra. Porém, de maneira conservadora, estes custos podem ser considerados balizadores do que é necessária a estimativa do investimento total do projeto.

Portanto, para este trabalho, devido a ausência de dados do ISBL de projetos semelhantes na literatura, foi estipulado a correlação típica da indústria química de acordo com Chauvel e Lefebvre (1989) em que o investimento fixo depreciável é 4 vezes o valor da ISBL, totalizando um valor de R\$ 6.009.048,00 para a implantação e instalação dos equipamentos do projeto proposto.

O capital de giro é definido como um montante de recursos que garante a operacionalização do projeto, compreendendo montantes à compra de matérias-primas ou outros insumos, financiamento de vendas e o pagamento de despesas, além de recursos para vendas a prazo. O estoque inicial é composto por materiais (matérias primas, embalagens e outros) indispensável para a fabricação do produto. Neste trabalho, foi definido como 10% do investimento fixo depreciável, valor geralmente considerado para projetos na indústria química (Chauvel e Lefebvre, 1989), totalizando em R\$ 600.904,80. Sendo assim, depois de estimado o valor do investimento fixo e do capital de giro, a soma destes valores levou ao investimento total do projeto resultando num valor de R\$ 6.609.952,80.

### 5.1.2 ESTIMATIVA DO PREÇO DE VENDA DO PRODUTO:

Para análise de viabilidade econômica deste projeto, também é necessário o preço de venda dos copos de bioplástico de amido. Neste caso, foram levantados preços de embalagens de amido, preferencialmente produzidos por termoformação ou o mais similar possível com o design, peso e funcionalidade do produto proposto para este projeto, em sites de fabricantes ou revendedores no Brasil e no exterior, como países do continente Europeu, Estados Unidos e China onde se concentram grandes fabricantes de embalagens de amido. No mercado nacional, o preço FOB, em média, é de R\$ 0,25 por produto que pesa em torno de 30 gramas. Considerando por tonelada de bioplástico de amido, o preço de venda é de R\$ 9.259,26. Já no mercado externo, o preço, em média, é de R\$ 0,70 por produto que também pesa em torno de 30 gramas. Considerando por tonelada de bioplástico de amido, o preço de venda é de R\$ 20.717,64.

Os novos bioplásticos ainda são mais caros do que os seus similares de petróleo, mas esta diferença está diminuindo. As inconstâncias vividas pelo mercado de origem fóssil vêm desestabilizando empresas e até os preços do petróleo e derivados. Além

disso, o apoio político de motivação ecológica dão vantagens de preço para os bioplásticos, especialmente no que diz respeito às matérias-primas e no descarte. Assim, quando a produção de alguns bioplásticos atingirem uma escala industrial, as remanescentes desvantagens econômicas devido à capacidade limitada de produção podem ser compensadas e os bioplásticos se tornarão mais competitivo em comparação com plásticos convencionais, especialmente na indústria de embalagem (Bertolini, 2010).

Claramente os polímeros termoplásticos com base de amido oferecem uma base muito atrativa de baixo custo para novos polímeros biodegradáveis, devido ao seu baixo preço do material e capacidade de ser processadas em equipamentos de processo convencional de plástico. A engenharia consegue, através de estudos de tecnologia, das propriedades mais avançadas para estes materiais de baixo custo para tornar-se a principal unidade tecnológica para o futuro. Este desenvolvimento será, mais provavelmente, sob a forma de integrar as pesquisas, onde já está sendo desenvolvido, em paralelo, a partir de polímeros termoplásticos de amido (como mistura e nanocompósitos) e nova pesquisa de termoplástico convencional polímero (como nano e controle microestrutura utilizando novos aditivos) (Smith, 2005).

Mesmo assim, há uma grande diferença no preço do copo de plástico derivado de petróleo em comparação ao preço do copo de amido. Hoje em dia, o preço do copo de plástico derivado de petróleo varia de R\$ 0,05 a R\$ 0,11 a unidade, enquanto o preço do copo de amido varia de R\$ 0,25 a R\$ 0,40 a unidade, em outras palavras, cinco vezes mais caro. Mas como já discutido, essa diferença vem diminuindo. Dessa maneira, o desafio atual para os bioplásticos é a redução dos custos ao mesmo nível dos congêneres produzidos, a partir de petróleo, tornando o aumento do rendimento e da produtividade do bioprocessamento como principal meta para estabilização e sucesso no mercado (Lopes, 2010).

### 5.1.3 ESTIMATIVA DOS CUSTOS VARIÁVEIS:

Os custos variáveis de um projeto industrial abrangem custos com matérias-primas, utilidades, materiais auxiliares à produção e outros. Como o próprio nome diz, esses custos variam de acordo com o volume produzido. A partir disso, foi calculado o custo variável unitário, considerando o coeficiente técnico e o preço de cada insumo

do processo. Neste trabalho, serão considerados custos variáveis unitários relacionados às matérias-primas (Tabela 5.4) e gastos com utilidades (Tabela 5.5) como energia elétrica e água.

**Tabela 5.4 - Custos variáveis unitários - matérias-primas**

Setor	Matéria-prima	Unidades de medida	Coefficiente técnico (un/Ton)	Preço por unidade (R\$/un)	Custo variável unitário (R\$/Ton)
Formulação	<b>Fécula de Mandioca</b>	<b>Ton</b>	<b>0,55</b>	<b>1.024,00</b>	<b>563,20</b>
Formulação	<b>Água</b>	<b>M<sup>3</sup></b>	<b>0,44</b>	<b>2,79</b>	<b>1,23</b>
Formulação	<b>PEG 300</b>	<b>Ton</b>	<b>0,01</b>	<b>3.960,00</b>	<b>39,60</b>
Revestimento	<b>PLA</b>	<b>Ton</b>	<b>0,12</b>	<b>4.400,00</b>	<b>512,40</b>
Revestimento	<b>Acetona</b>	<b>M<sup>3</sup></b>	<b>0,78</b>	<b>2.540,00</b>	<b>1.971,04</b>
Total:					<b>3.087,47</b>

**Fonte: Elaboração própria – Baseado no ICIS, CEPEA e Sigma-Aldrich**

Os preços das matérias-primas foram levantados através de sites de fabricantes e, no caso da fécula de mandioca, foi levantada uma média nacional dos preços por regiões do Brasil (CEPEA, 2015). Os coeficientes técnicos foram definidos no capítulo anterior.

**Tabela 5.5 - Custos variáveis unitários – utilidades**

Utilidades	Unidades de medida	Coefficiente técnico (un/ton)	Preço por unidade (R\$/un)	Custo variável unitário (R\$/ton)
Energia Elétrica	<b>MwH</b>	<b>3,079</b>	<b>31,30</b>	<b>96,38</b>
Água	<b>M<sup>3</sup></b>	<b>0,753</b>	<b>2,79</b>	<b>2,10</b>
Total:				<b>98,47</b>

**Fonte: Elaboração própria – Baseada em sites governamentais**

Os preços das utilidades foram levantados através de sites governamentais e de notícias. Os preços da energia elétrica e água, para áreas industriais, em uma média nacional. Os consumos foram calculados através das especificações técnicas de cada equipamento do processo, listados na tabela 5.2, onde no caso há a especificação da potência elétrica de cada equipamento, por quilowatts-hora, e somente os

equipamentos condensador, compressor e ar condicionado/umidificador utilizam água para o seu funcionamento necessitando de 0,30; 0,05 e 0,05 metros cúbicos por hora, respectivamente. Os consumos totais de energia elétrica e água estão representados na tabela 5.5.

A partir disso, foi possível calcular o custo variável unitário total, no valor de R\$ 3.185,94 para produzir 1 tonelada de produto.

#### 5.1.4 ESTIMATIVA DOS CUSTOS FIXOS:

Os custos fixos são todas as despesas que não se alteram em função do volume de produção ou da quantidade vendida em um determinado período, ou seja, independente do faturamento do negócio e de sua atividade produtiva. Estes custos abrangem alugueis, salários, seguros, despesas administrativas, impostos fixos, depreciação e outros. Os custos relacionados à mão-de-obra foram estimados considerando um padrão de indústria de pequeno porte no Brasil, determinando um ideal de quantidade de funcionários para cada setor do processo produtivo, conforme tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Custos fixos de caixa diretos – mão de obra do processo produtivo

Função	Quantidade	Salário Bruto (R\$)	Custo anual (R\$)
<b>Auxiliar de produção</b>	12	1.200	374.400
<b>Programador de produção</b>	1	2.900	75.400
<b>Supervisor de produção</b>	1	4.400	114.400

**Fonte: Elaboração própria**

A quantidade de auxiliares de produção foi estipulada de acordo com a necessidade de cada setor, como o preparo da formulação e da solução *coating* do revestimento, ajustes dos equipamentos (prensas e túnel de pulverização), movimentação dos produtos no chão de fábrica, alimentação e retirada em cada setor produtivo e outros. Já o programador de produção terá uma função de encarregado de produção, organizando os equipamentos e os auxiliares de produção além dos reportes ao supervisor de produção. O supervisor de produção terá uma função de gerente de produção, coordenando e atendendo as necessidades do setor de vendas.

Os salários base foram levantados do site (<http://tabelasalarial.com/consulta-tabela-salarial-2014-atualizada/>) com ano base em 2014. Foram também levantados os custos com encargos trabalhistas de cada função e somados com o total de funcionários por função, resultando um custo anual por função. Com isso, os custos totais com mão-de-obra do processo produtivo totalizaram R\$ 564.200,00 por ano.

Também foram definidos os demais custos fixos a partir de padrões considerados em projetos da indústria química (Chauvel e Lefevre, 1989) com manutenção por ano dos equipamentos como 4% do ISBL (R\$ 144.217,00). Os custos de caixa indireto que abrangem custos não relacionados diretamente com o processo produtivos foram definidos como despesas gerais, do qual foi calculado como 60% da manutenção (R\$ 86.530,00) e impostos e seguros, do qual foi calculado como 1% do investimento fixo (R\$ 60.090,00). E, o custo fixo não caixa que abrange a depreciação dos equipamentos, foi definido como 10% do investimento fixo (R\$ 600.905,00), considerando depreciação total do investimento fixo em 10 anos, sem valor residual.

A partir disso, foram calculados os custos fixos desembolsáveis pela soma dos custos de caixa direto e indireto, totalizando em R\$ 855.038,00. E o total dos custos fixos para o processo produtivo de bioplásticos de amido de mandioca, definido como a soma dos custos fixos desembolsáveis e a depreciação, totalizando em R\$ 1.455.943,00.

## 5.2 RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICA:

### 5.2.1 PONTO DE NIVELAMENTO:

O objetivo das empresas é de maximizar seus lucros, dado sua tecnologia, preço do trabalho, preço do capital, preço dos recursos naturais, e outros. Maximizar lucro, porém, pode significar aumento da produção, sendo o lucro a diferença entre receitas obtidas pela venda do produto, ao preço de mercado, e os custos de produzi-las. Para saber o exato ponto operacional onde a empresa passa a ter lucro, é necessário descobrir o ponto onde as receitas se igualam aos custos, sendo conhecido como ponto de nivelamento ou *break-even point*, portanto o lucro é zero.

Se uma empresa vende acima do ponto de nivelamento, a empresa obtém lucro, porque as receitas totais são maiores do que os custos totais. Se a empresa vende

abaixo do ponto de nivelamento, a firma está incorrendo em prejuízo por que os custos totais são maiores do que as receitas totais.

Também é chamado de ponto de equilíbrio operacional em que define o valor da receita líquida necessária para amortizar os custos fixos e variáveis da empresa ou de uma atividade. A partir dessa definição, o ponto de nivelamento pode ser usado como um parâmetro para a rentabilidade operacional sendo possível estimar se o projeto é operacionalmente rentável ou não. O ponto de nivelamento pode ser calculado de variadas formas, mas para este trabalho foi calculado através da variação da capacidade instalada de produção em comparação com os custos variáveis e fixos, observados em gráfico.

Com isso, após os inputs dos parâmetros da análise econômica como investimentos, custos variáveis e custos fixos, foi analisado o ponto de nivelamento onde de acordo com a utilização da capacidade de produção é possível visualizar, por meio de gráfico, os perfis da receita, custos fixos e custos variáveis.

Variando a utilização da capacidade de produção de 0% (nenhuma utilização) até 100% (capacidade de produção de 484,30 toneladas por ano), foi calculado a produção (em toneladas), receita (em reais), custo fixo desembolsável (em reais), custo variável (em reais), custo total desembolsável (em reais), depreciação (em reais) e custo total (em reais), referentes à utilização da capacidade de produção. Conforme mostrado na Figura 5.2.

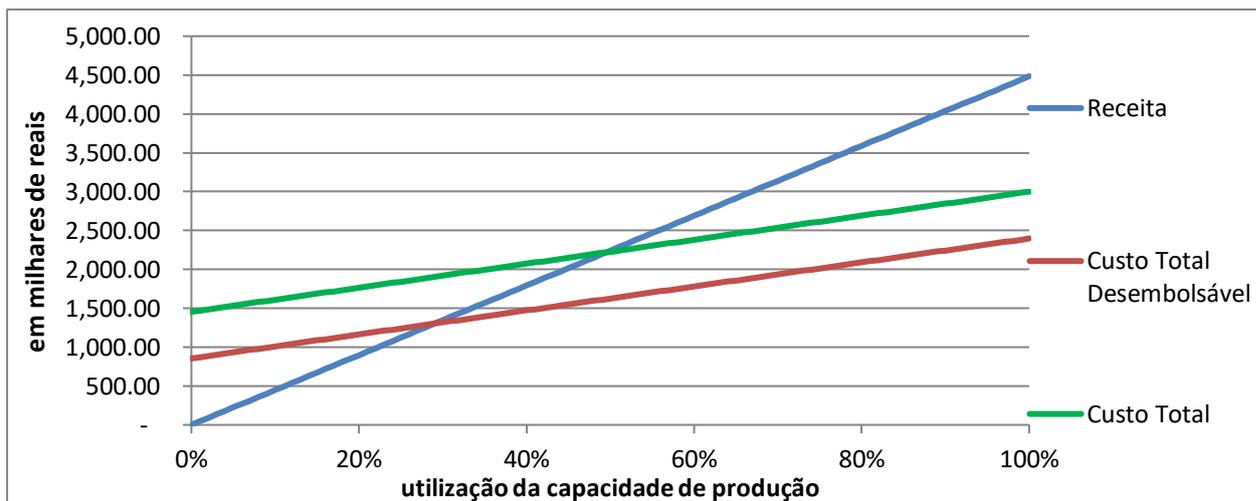


Figura 5.2 - Ponto de Nivelamento do projeto

Fonte: Elaboração própria

O gráfico da Figura 5.2 mostra a curva do ponto de nivelamento econômico operacional e caixa. O ponto de nivelamento de caixa é importante indicador do risco operacional de determinado negócio quando comparado com a capacidade de produção ou com a demanda máxima do mercado. Outro ponto de nivelamento que proporciona informações para auxiliar em decisões de aspecto financeiro é o ponto de nivelamento operacional que avalia o desempenho levando em consideração os aspectos financeiros como a depreciação. Com isso, o ponto de nivelamento de caixa calcula o nível das atividades (em unidades, toneladas ou valores monetários) suficiente para pagar os custos e despesas variáveis, custos fixos, e outras dívidas.

Tendo como base os preços estimados do mercado interno no projeto, o ponto de nivelamento de caixa deste trabalho será atingido com um volume de produção de 29% da capacidade máxima, ou seja, 145,29 toneladas de copos de amido de mandioca. E o ponto de nivelamento operacional será atingido com um faturamento de R\$ 14.711,83, correspondente à utilização de 50% da capacidade instalada, ou seja, 242,15 toneladas de copos de amido de mandioca. Já com a utilização máxima da capacidade instalada, o faturamento da empresa é de R\$ 1.485.366,39. Com isso, é possível afirmar que, no ponto de vista operacional, o projeto é viável a partir de 50% de utilização da capacidade instalada da planta.

Também foi possível verificar que, na utilização da capacidade instalada, os custos variáveis representam 64,34% dos custos totais de produção, enquanto os custos

fixos representam 35,66% dos custos totais de produção. O dimensionamento e o controle dos custos somados com a estrutura de receitas foram fundamentais para se obter o resultado econômico, o que propiciou a análise econômica da produção de bioplásticos de amido de mandioca.

## 5.2.2 CONSTRUÇÃO DO FLUXO DE CAIXA:

A análise da viabilidade econômica foi realizada em duas etapas, a primeira delas consistindo na construção de uma planilha de fluxos de caixa que, em seguida foi utilizada para avaliação através de modelos de análise determinísticos e modelos em condições de incertezas, os quais serão discutidos nas próximas seções. O fluxo de caixa contabiliza os valores monetários entrada (receitas efetivas) e fluxos de saída (dispêndios efetivos), cujo diferencial é denominado fluxo líquido (Mattos, 1989).

Obtendo esse fluxo de caixa líquido ou operacional, há o desconto da depreciação dos equipamentos do processo deste lucro operacional, gerando um lucro tributável. A depreciação é uma parcela de valor imputada aos custos de produção, correspondentes ao desgaste do equipamento do processo produtivo. Porém, na avaliação econômica, as despesas de depreciação são consideradas como despesas não desembolsáveis e, portanto não deveriam ser consideradas para o cálculo do fluxo de caixa livre, sendo irrelevantes para o processo de dimensionamento dos benefícios econômicos de um projeto. Entretanto, a presença de despesas não desembolsáveis afeta os fluxos de caixa indiretamente, pois sendo o Imposto de Renda tratado como um desembolso de caixa efetivo, sendo processado após a respectiva dedução dessa despesa, proporcionando uma redução no valor do Imposto de Renda a pagar. Para isso, a depreciação foi abatida do valor do lucro operacional acarretando um menor valor do lucro tributável, o qual mantida a mesma alíquota do Imposto de Renda, resulta em menor imposto de renda a pagar.

Então, foi calculado o desconto do imposto de renda de 33% sobre o valor do lucro tributável, definido anteriormente nos parâmetros do investimento, já discutido anteriormente, gerando juntamente com o valor do investimento fixo, capital de giro, receitas e custos totais do processo, o fluxo de caixa livre mostrado na tabela 5.7.

De acordo com a tabela de fluxo de caixa econômica do processo, foi estipulado que o investimento fixo seria descontado somente no primeiro ano sem utilização da

planta industrial, pois devido a simplicidade do projeto proposto nesse trabalho, em 1 ano consegue-se fazer todas as instalações dos equipamentos do processo. O capital de giro também foi estipulado para o primeiro ano, retornando ao caixa após o VPL do projeto ser maior que zero.

Devido ao alto investimento fixo necessário para este projeto e como a planta proposta neste trabalho é de pequeno porte, foi estipulado que a capacidade de produção seria a capacidade máxima instalada desde o primeiro ano de produção. Sendo assim, o tempo de retorno do investimento do projeto é de 9 anos.

Tabela 5.7 - Fluxo de caixa econômica do processo produtivo de bioplástico de amido de mandioca

Ano	Investimento Fixo [R\$]	Capital de Giro [R\$]	Produção [toneladas]	Fluxo de Caixa Livre [R\$]
0	- 6.009.048,00	- 600.904,80	-	- 6.009.048,00
1	-	-	484,30	1.566.392,95
2	-	-	484,30	1.566.392,95
3	-	-	484,30	1.566.392,95
4	-	-	484,30	1.566.392,95
5	-	-	484,30	1.566.392,95
6	-	-	484,30	1.566.392,95
7	-	-	484,30	1.566.392,95
8	-	-	484,30	1.566.392,95
9	-	-	484,30	1.566.392,95
10	-	600.904,80	484,30	2.267.297,75

Fonte: Elaboração própria

### 5.2.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO PELOS MÉTODOS DETERMINÍSTICOS:

Existem dois principais métodos determinísticos de análises de viabilidade econômica: pelo uso do VPL (Valor presente líquido) e TIR (Taxa interna de retorno). O VPL consiste em transferir para o instante atual todos os fluxos de caixa livre esperada ao longo do horizonte de planejamento do projeto, descontá-las a uma determinada taxa de juros, e somá-las algebricamente, ou seja, o VPL retorna o valor líquido atual de um investimento com base em uma taxa de desconto e uma série de pagamentos futuros, sendo calculado a partir da equação 5.1:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}$$

Equação 5.1 - Fórmula do Valor Presente Líquido (VPL)

Fonte: Vilela & Luengo, 2001

Em que  $I$  é o fluxo de caixa livre;  $n$  é o período;  $t$  é o tempo considerado (do primeiro até o décimo ano);  $r$  é taxa de desconto, também denominada taxa mínima de atratividade. A taxa mínima de atratividade é usada para tomada de decisão como uma taxa de expectativa, representando o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que um tomador de dinheiro se propõe a pagar quando faz um financiamento.

No caso deste trabalho, o fluxo de caixa livre foi calculado conforme já discutido e valores mostrados na tabela 5.7. O período " $n$ " foi estipulado por 10 anos, sendo o valor do horizonte de planejamento estipulado nos parâmetros do investimento, que também explica o " $t$ " que é o tempo considerado. E, o " $r$ " do qual é a taxa mínima de atratividade foi estipulada nos parâmetros do investimento como 18% de acordo com a taxa de juros.

O investimento será considerado viável se o VPL for positivo, desde que a taxa de desconto aplicada seja maior ou igual ao custo de oportunidade do capital, do qual representa o ponto de partida e a remuneração que teria pelo capital caso não aplicasse em nenhuma das alternativas analisadas. Neste caso, os benefícios serão maiores que os custos, à taxa de desconto considerada. A atividade será tanto mais interessante quanto maior for o seu VPL. Segundo autores, esse indicador é rigoroso e isento de falhas, e afirmam que, do ponto de vista teórico e em condições deterministas, o VPL é o mais consistente dos indicadores disponíveis (Dourado *et al.*, 1999). Na escolha entre projetos alternativos é economicamente mais viável aquele que apresentar maior VPL positivo (Vilela & Luengo, 2001).

O método da TIR calcula a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar seu valor presente líquido igual a zero, em outras palavras, é uma taxa

de retorno do investimento (Dourado *et al.*, 1999). Algebricamente, é representada assim, mostrada na equação 5.2:

$$VPL(i = TIR) = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} = 0$$

Equação 5.2 - Fórmula da taxa interna de retorno (TIR)

Fonte: Dourado *et al.*, 1999

Onde: FC<sub>j</sub> = significa o fluxo de caixa livre de cada período; i é a TIR que é a variável procurada; j é o período de tempo em questão.

A rejeição do projeto através da TIR é recomendada, quando o seu valor for inferior à taxa mínima de atratividade considerada para o projeto. Existe uma série de vantagens em se utilizar a TIR. Uma das vantagens desse indicador é a independência da definição antecipada da taxa mínima de atratividade para seu cálculo. De acordo com Dourado *et al.*, (1999), o uso deste indicador apresenta a vantagem de poder fazer comparações deste diretamente com o custo do capital ou com opções de aplicação de recursos no mercado financeiro, além de representar uma taxa de juros sobre o investimento.

Neste trabalho, a taxa interna de retorno (TIR) calculada foi de 20,2% sendo acima da taxa mínima de atratividade, que é de 18%. Portanto, o projeto pode ser considerado viável.

#### 5.2.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO EM CONDIÇÕES DE INCERTEZAS:

De maneira a aprimorar a análise econômica do projeto, foram estudadas as possíveis incertezas das estimativas deste trabalho. As estimativas estipuladas pode haver erros, como cálculos de parâmetros de investimento, ou mesmo alterações de acordo com mudanças no mercado, tornando importante e necessário avaliar essas possíveis alterações nos parâmetros considerados nos métodos determinísticos.

Além dos preços de vendas do produto no mercado interno, outros elementos que afetam a viabilidade do projeto podem variar, como por exemplo, os preços das

matérias-primas e dos equipamentos, do qual são difíceis de prever a que níveis estarão os preços há um ano ou vários anos mais tarde ou até mesmo a dificuldade de estimar o investimento, como no caso deste trabalho, por não haver pesquisas similares na literatura. Para estimar as variáveis de maior impacto na viabilidade do projeto foi utilizada a análise de sensibilidade.

Esta análise consiste em medir em que magnitude uma alteração prefixada em um ou mais fatores do projeto altera o resultado final. Esse procedimento permite avaliar de que forma as alterações de cada uma das variáveis do projeto podem influenciar a viabilidade do projeto. É a ferramenta com a qual se calcula a variação do Valor Presente Líquido (VPL) ou da Taxa Interna de Retorno (TIR) a partir de mudanças isoladas em uma variável, ou seja, sem que se altere nenhuma outra variável ou em mudanças realizadas em mais de uma variável ao mesmo tempo, mais próximo de uma situação real (Ponciano *et al.*, 2006).

Esta análise mostra a sensibilidade dos resultados do projeto às alterações nas variáveis que compõem os fluxos de benefícios e custos, ou seja, mostra alterações nos indicadores de rentabilidade, em decorrência de mudanças nos parâmetros que são susceptíveis às incertezas. Testa-se o que acontece com os indicadores, quando o custo da mão-de-obra, por exemplo, cresce em 10%, isto é, deseja-se saber o grau de sensibilidade da rentabilidade do projeto a este parâmetro. Este estudo sugere, geralmente, um cenário realista (o que serve de base ao estudo), um cenário muito pessimista, um cenário medianamente pessimista, um cenário otimista e um cenário muito otimista (Dourado *et al.*, 1999).

Neste trabalho, as variáveis-chaves escolhidas para a análise de sensibilidade foram: preço da fécula de mandioca, preço do Polietileno glicol 300 (PEG 300), preço de venda do produto no mercado interno, preço da prensa hidráulica e preço do túnel vaporizador, preço da acetona, preço do custo fixo e preço do investimento fixo.

Foram escolhidas três variáveis-chave que influenciam nos custos variáveis, duas variáveis-chave que influenciam nos ISBL, uma variável do custo fixo e a variável-chave que é o preço de venda do produto no mercado interno, sendo um parâmetro entre tendência de mercado e a avaliação econômica do processo. Os preços destas variáveis-chave foram perturbados de - 30% a + 30% não concomitantemente, sendo observada somente a influência da perturbação na TIR. Para facilitar a visualização dos dados

coletados, as variáveis-chave foram plotadas em gráficos onde foi possível avaliar os perfis das perturbações, mostrado no gráfico da Figura 5.3.

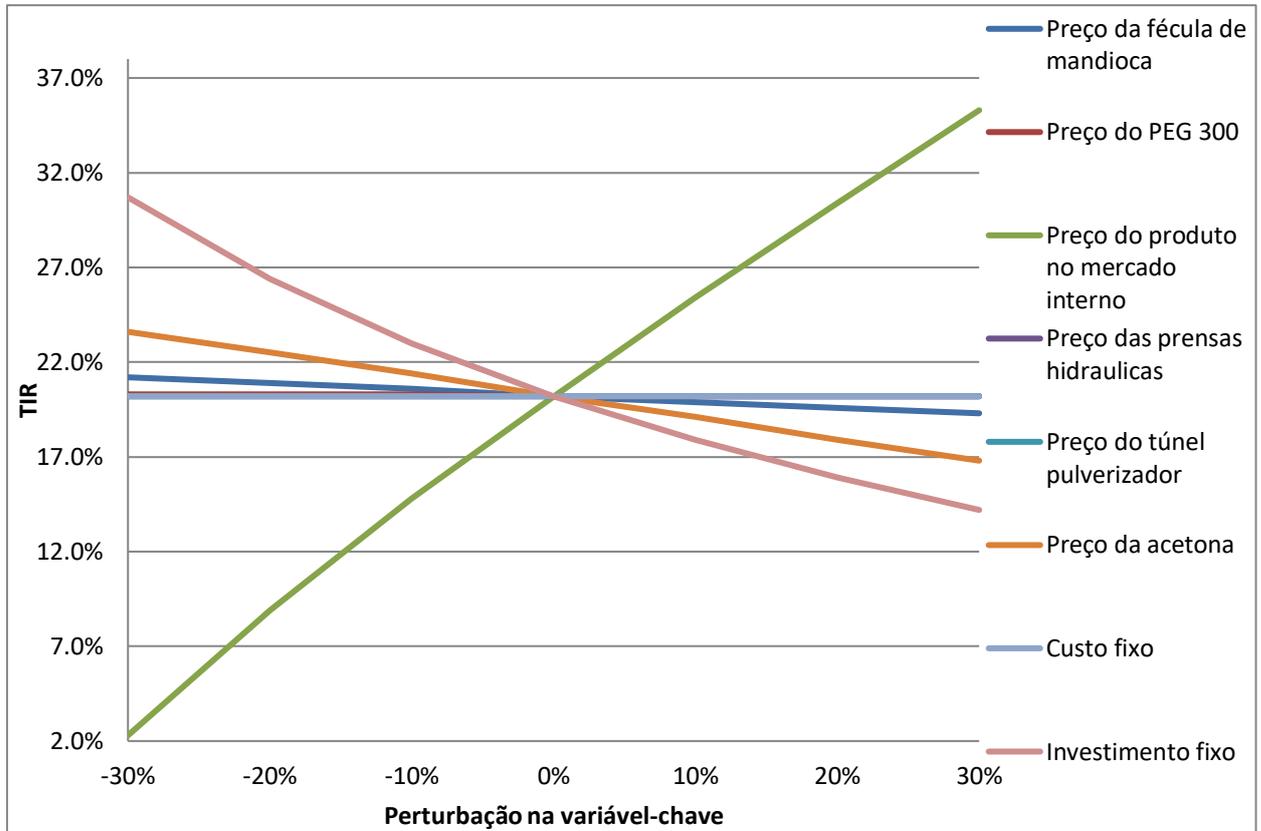


Figura 5.3 - Perfis das perturbações nas variáveis-chave na Análise de Sensibilidade

Fonte: Elaboração própria

Foi observada uma variação na TIR entre 2,3% até 35,4%, do qual ambos foram sobre influência da perturbação do preço de venda do produto no mercado interno. O preço do produto é o item cuja variação tem maior impacto sobre a rentabilidade do projeto, considerando a estrutura e as características do mercado de bioprodutos, que conferem grande instabilidade aos preços recebidos, implica que o risco envolvido nesses empreendimentos pode ser elevado. Portanto é a mais importante de se estudar com maior precisão para se tomar a decisão de investir.

As variáveis-chave Investimento fixo e preço da acetona também devem ser consideradas importantes, pois quando perturbadas com 30% de aumento, resultou em uma TIR abaixo da taxa mínima de atratividade, tornando o projeto economicamente inviável.

Outras variáveis, como preço da fécula de mandioca, preço do túnel pulverizador, preço das prensas hidráulicas e preço do polietileno glicol 300 não influenciaram a TIR a ponto de tornar o projeto inviável economicamente, ou seja, são variáveis que mesmo com erros nas estimativas, não influenciam na rentabilidade do projeto.

Comparando os resultados da análise do ponto de nivelamento do projeto e a análise da viabilidade econômica pelos métodos determinísticos, foi observada certa discrepância nos resultados mostrando que do ponto de vista operacional, pela análise do ponto de nivelamento, o projeto proposto é operacionalmente viável a partir de 50% de utilização da capacidade da planta instalada. Em outras palavras, o processo em si, gera lucro, pois as receitas são maiores que os custos de produção a partir de 50% de utilização da capacidade instalada. Por outro lado, pelo ponto de vista econômico, na análise de viabilidade econômica pelos métodos determinísticos, foi necessária a utilização da capacidade máxima instalada para termos um VPL positivo, ou seja, para o projeto ser economicamente viável. Esta discrepância é observada devido ao alto investimento necessário para a implantação do projeto devido ao alto custo dos equipamentos e da quantidade de equipamento necessário para a operação da linha de produção por completa, desde a matéria-prima até o copo de amido de mandioca pronto para consumo ou venda.

A análise de sensibilidade ratificou a influência do investimento fixo sobre a rentabilidade do processo, mostrando ser um ponto importante para o projeto. Como solução para este problema, seria necessário um investimento de fomentos de bancos de desenvolvimentos, como no caso do Brasil, tem o BNDES que fornece um incentivo a projetos na área de desenvolvimento sustentável e com apelo ambiental, do qual o projeto proposto neste trabalho se enquadra.

Para o caso do preço da acetona, que é um insumo na etapa do revestimento, há diversas técnicas na literatura, e algumas já sendo aplicadas nas indústrias, de revestimento como a utilização de blendas poliméricas, discutidas no capítulo 4, entre outros. Além disso, há também a opção de utilização de outros solventes de acordo com discussão feita no capítulo 4 sobre os solventes para o revestimento.

Nesse sentido, a comercialização apresenta-se como um dos principais problemas para o bioplástico, perdendo um pouco de elasticidade do preço de demanda frente à rentabilidade do projeto. Acredita-se que com mais estudos e incentivo dos governos

nas mudanças de hábitos e a pesquisa e desenvolvimento, os bioplásticos de maneira geral irão se tornar mais baratos, pois seus processos serão mais eficientes, conseqüentemente os preços cairão e tornarão mais competitivos frente aos atuais copos de plásticos de origem fóssil.

Também foi possível inferir que alterações nos preços de equipamentos e matérias-primas, excesso a acetona, não impactam a ponto de inviabilizar a viabilidade do processo, tornando atrativo o investimento em projetos de bioplásticos de amido de mandioca.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO

---

O amido é polímero natural e renovável, com uma diversificada e ampla gama de fontes naturais que pode ser plantada em diversos ambientes climáticos, sendo, em geral, de baixo custo de produção agrícola, conferindo uma versatilidade para a fabricação de produtos. No Brasil, que é um país forte em agricultura, tem uma grande produção de alimentos que são fontes de amido, como batata, milho e mandioca. Como vimos, a mandioca é uma cultura com grande expansão de produção tanto no Brasil como em outros países, como Tailândia, que tem investido fortemente na mandiocultura.

Neste trabalho, foi estudado o desenvolvimento de uma embalagem tipo espuma de amido utilizando a fécula de mandioca como componente principal através do processo de expansão térmica (ou termoprensagem ou termoformação), onde uma massa de amido, água e aditivos é colocado dentro de um molde que é fechado, gerando uma pressão sobre a massa, e aquecido. Essa combinação de pressão e aquecimento gera a formação de um vapor do qual provoca a expansão da massa com estrutura porosa, ou seja, espuma.

Considerando as discussões feitas neste projeto, conclui-se que a melhor formulação para a produção de espuma de amido de fécula de mandioca pelo processo de termoprensagem continha em torno de 55% de fécula de mandioca e 1% de polietileno glicol 300 (PEG 300) como plastificante, e o restante em água. Diversos autores estudaram que estas concentrações da formulação levaram a ótimos resultados de propriedades mecânicas para o desenvolvimento de materiais, como no caso embalagens.

A partir disso, o amido de mandioca é uma alternativa para o desenvolvimento de embalagens de espuma biodegradáveis através da expansão térmica, utilizando água como agente expensor. Como discutido, há uma versatilidade entre a escolha do plastificante dentre glicerol, poli (álcool vinílico) e polietileno glicol 300 (PEG 300), do qual, neste trabalho, foi escolhido o uso com polietileno glicol 300 (PEG 300) por haver diversos autores utilizando este plastificante com sucesso nos resultados obtidos.

As embalagens a base de amido de mandioca são muito sensíveis à umidade e apresentam fácil degradação frente a agentes microbianos. Por isso, também foi discutido a aplicação de um revestimento através de um filme hidrofóbico a fim de aumentar a aplicabilidade dos produtos para embalagens e o tempo de prateleira do produto. Pelo ponto de vista técnico-econômico, foi sugerido o uso do poli (ácido láctico) (PLA) em solução de *coating* com acetona a 15% de PLA (m/m), pois o PLA é uma resina biodegradável e acetona é considerada um solvente não agressivo ao meio ambiente, permanecendo no pensamento verde da proposta deste trabalho. Para aplicação do revestimento no produto, foi escolhida a pulverização por ser uma técnica econômica e prática, mas este processo permite a utilização de outras técnicas de revestimento, como a imersão.

Na avaliação de viabilidade do projeto, foram feitas análises operacionais, pelo ponto de nivelamento operacional e de caixa da planta proposta no projeto; e, análises econômicas por métodos determinísticos como o VPL, tempo de retorno e a TIR, onde foi possível verificar a rentabilidade do projeto dentro de parâmetros estipulados na discussão do projeto. Também foram estudadas as influências de possíveis erros nas estimativas da viabilidade do projeto. Portanto, após resultados obtidos no capítulo 5 deste trabalho, foi concluído que o projeto proposto para produção de copos de amido de mandioca é operacionalmente e economicamente viável com alto risco, pois é muito sensível ao preço de venda do produto.

Após este trabalho, foi possível verificar que a produção de embalagens biodegradáveis a partir de amido de mandioca é uma vertente em desenvolvimento. Pelo ponto de vista tecnológico, não há necessidade de invenção de novos equipamentos tornando o processo mais simples, pois os equipamentos seriam os já utilizados e estabelecidos no mercado. Uma característica interessante para a tecnologia proposta para este trabalho é a versatilidade da tecnologia para fabricação de produtos diversificados somente sendo necessária a mudança do formato do molde. Ou seja, há possibilidade de a mesma linha de produção fabricar diferentes produtos atingindo diferentes públicos alvos e mercados.

Avanços na tecnologia e qualidade de matérias-primas, e no processo, tendem a colocar o Brasil em uma posição estratégica de controle tecnológico. Este know-how pode garantir destaque comercial, em uma possível substituição dos polímeros sintéticos

derivados do petróleo por produtos mais sustentáveis. Mas, ainda, há melhorias a serem discutidas, propostas testadas para o desenvolvimento de embalagens de amido de mandioca, como a utilização de fibras naturais ou blendas poliméricas sem afetar importantes propriedades mecânicas, biodegradabilidade e a rentabilidade do processo.

Como sugestão frente ao uso da acetona no revestimento hidrofóbico, do qual os custos representam 64% dos custos dos insumos, poderia ser estudado o uso de uma integração de massa do processo no qual haveria recuperação do solvente visando otimizar os custos.

## CAPÍTULO 7: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 12 de 1978. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/e57b7380474588a39266d63fbc4c6735/RE\\_SOLUCAO\\_12\\_1978.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/e57b7380474588a39266d63fbc4c6735/RE_SOLUCAO_12_1978.pdf?MOD=AJPERES). Acesso em: 12/04/2015 às 17:20 horas.

Agostini, M. R. Produção e utilização de farinha de mandioca comum enriquecida com adição das próprias folhas desidratadas para consumo alimentar. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual Paulista – Botucatu – 2006).

Agustini, D.; Junior, H. E. Produção de álcool de mandioca a partir de hidrólise enzimática natural. Revista Synergismus Scyentifica UTFPR, vol. 2, pág. 1 – 4, 2007.

Ahmed, J.; Tiwari, B. K.; Imam, S. H.; Rao, M. A. Starch-based polymeric materials and nanocomposites – chemistry, processing and applications, Taylor & Francis Group, 2012.

Alexandrino, C. D. Utilização dos amidos de milho e de batata na elaboração de tapioca. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal do Ceará – Fortaleza – 2006).

Alpina equipamentos. Condensadores evaporativos – especificações técnicas. Disponível em < [www.alpinaequipamentos.com.br](http://www.alpinaequipamentos.com.br) >. Acesso em outubro/2015.

Alves, G. S.; Sampaio, A. P. L.; Zavolski, C. A.; Brito, V. H.; Cereda, M. P.; Neves, E. Material a base de amido de mandioca para manufatura de embalagem de alimentos. Revista Citino: Ciência, tecnologia, inovação e oportunidade, vol. 2, nº 1, pag. 16 – 24, 2012.

Andersen, P. J.; Hodson, S. K. Systems for molding articles which include a hinged starch bound cellular matrix. Patente registrada na USPTO, nº US 5.705.203, Estados Unidos, 1998.

André, T. B.; dos Santos, A. C. Uso de produtos da cultura da mandioca (Manihot) na produção animal. Revista Enciclopedia biosfera, vol. 8, nº 15, pág. 1622 – 1647, 2012.

Avancini, S. R. P. Caracterização química, microbiológica e toxicológica da água de fermentação do amido de mandioca. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos – Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – 2007).

Balchin, I. H.; Feast, M. A. J.; Grimes, R. Método e aparelho para a produção de um corpo espumado biodegradável. Patente registrada no INPI – nº: PI 0410410-2 A, Brasil, 2004.

Banco Central do Brasil. Consulta da taxa Selic atual. Disponível em <[www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdia.asp](http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdia.asp)> Acessado em 20/09/2015, às 16:00 horas.

Belloli, R. Polietileno verde do etanol da cana-de-açúcar brasileira: biopolímero de classe mundial. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre – 2010).

Bertolini, A. C. Starches – characterization, properties and applications, Taylor & Francis Group, 2010.

Bobbio, P. A.; Bobbio, F. O. Material de embalagem. In: Bobbio, P. A.; Bobbio, F. O. Química do processamento de alimentos. 3ª edição. Campinas: Fundação Cargill, pág. 189 – 202, 1984.

Borges, M. F.; Fukuda, W. M.; Rossetti, A. G. Avaliação de variedades de mandioca para consumo humano. Revista de pesquisa agropecuária brasileira, vol. 37, nº 11, pág. 1559 – 1565, 2002.

BRASIL. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução nº 12 de 1978. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/e57b7380474588a39266d63fbc4c6735/RESOLUCAO\\_12\\_1978.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/e57b7380474588a39266d63fbc4c6735/RESOLUCAO_12_1978.pdf?MOD=AJPERES). Acesso em: 21/06/2015 às 09:30 horas.

BRASIL. Portaria 554, de 30 de agosto de 2008. Dispõe sobre as normas de identidade, qualidade, acondicionamento, armazenamento e transporte da farinha de mandioca. Acessado em 23/04/2015, às 13:50 horas.

British Plastic Federation. Bioplastic History, 2015. Disponível em <<http://www.bpf.co.uk/>> Acessado em 4/10/2015 às 17:40 horas.

Brito, G. F.; Agrawal, P.; Araújo, E. M.; Mélo, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. Revista eletrônica de materiais e processos, vol. 6, nº 2, pág. 127 – 139, 2011.

Büchler, P. M. ; Campos, V. . Removal of selected metals from drinking water using modified powdered block carbon. Revista Environmental Geology, vol. 240, pág. 274 – 278, 2007.

Cardoso, C. E. L. Competitividade e inovação tecnológica na cadeia agroindustrial de fécula de mandioca no Brasil. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

Cardoso, Carlos E. L.; Alves, Lucilio R. A.; Felipe, F. I. Avanços nas regras do comércio internacional podem criar oportunidades para a cadeia da mandioca. CEPEA – ESALQ – USP, 2007.

Carr, L. G. Desenvolvimento de embalagem biodegradável tipo espuma a partir de fécula de mandioca. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Química – Universidade de São Paulo – São Paulo – 2007).

Carvalho, R. S. Atitudes e comportamento dos consumidores diante de produtos com apelo ecológico. Dissertação (Mestrado em Administração – Faculdades Integradas Pedro Leopoldo – Pedro Leopoldo – 2008).

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP. Mandioca. Disponível em < <http://cepea.esalq.usp.br/mandioca/>> Acessado em 10/11/2015 às 23:00 horas.

Chauvel, A.; Lefebvre, G. Petrochemical process. Ed. Technip, vol. 1, 1989.

Ciclosoft 2014 – CEMPRE. Radiografando a coleta seletiva. Disponível em < <http://cempre.org.br/ciclosoft/id/2>> Acessado em 15/09/2015 às 18:30 horas.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Conjuntura sobre raiz, farinha e fécula de mandioca – Câmara setorial da cadeia produtiva da mandioca e derivados. Ministerio de Agricultura e Abastecimento, 2012.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Perspectiva para a agropecuária, vol. 2, safra 2014/2015, Brasília, 2014.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Perspectiva para a agropecuária, vol. 1, safra 2013/2014, Brasília, 2013.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Proposta de preços mínimos – safra 2013/2014, vol. 2, 2013.

COPAGRA – Cooperativa Agroindustrial do noroeste Paranaense. Produção de mandioca em 2014. Disponível em < <http://www.copagra.coop.br/>> acessado em 20/08/2015, às 20:00 horas.

Costa, M. A. C. Gestão de produção em uma indústria de embalagens de papelão ondulado: caso Korruga Embalagens – Estudo de caso. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Ciências Econômicas – Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – 2005).

Davis, G.; Song, J. H. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. Revista Elsevier: Industrial Crops and Products, vol. 23, pág. 147 – 161, 2006.

De Oliveira, S. M.; Marim, B. M. Emprego de bandejas biodegradáveis de bagaço de mandioca e álcool polivinílico como embalagem de alimentos. III Simpósio de bioquímica e biotecnologia, biochemistry and biotechnology reports, vol. 2, nº 3, pág. 343 – 346, 2013.

De Souza, S. R. P. S.; Filho, C. G.; Fritz, M.; Haquim, Y. M. S. M. Estudo de competitividade na indústria de embalagens plásticas no Brasil. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Florianópolis, pág. 3223 – 3230, 2013.

Debiagi, F.; Ivano, L. R. P. F. M.; Nascimento, P. H. A.; Mali, S. Starch biodegradable packaging reinforced with lignocelulosic fibers from agroindustrial wastes. Revista: Biochemistry and Biotechnology reports, vol. 1, nº 2, pág. 57 – 67, 2013.

Debiagi, F.; Mali, S.; Grossmann, M. V. E.; Yamashita, F. Efeito de fibras vegetais nas propriedades de compósitos biodegradáveis de amido de mandioca produzidos via extrusão. Revista: Ciência e Agrotecnologia de Lavras, vol. 34, nº 6, pág: 1522 – 1529, 2010.

Debiagi, F.; Matsuda, D. K. M.; Marengo, V. A.; Vercelheze, A. E. S.; Mali, S. Propriedades físicas e biodegradação de bandejas de amido, fibras do bagaço da cana de açúcar e nanoargila. 11º Congresso Brasileiro de polímeros, pág. 3948 – 3953, 2011.

Dourado, E. M. C. B.; Silva, L. M. R.; Khan, A. S. Análise econômica da mini fábrica processadora de castanha de caju. Revista econômica do Nordeste, vol. 30, nº 4, pág. 1014 – 1037, Fortaleza, 1999.

Embaixada do Brasil em Tóquio – Setor de promoção comercial – SECOM/TÓQUIO. Estudo de mercado – Bioplásticos, 2007.

EMBRAPA – Mandioca: o pão do Brasil = Manioc, le pain du Brésil. Brasília: Embrapa, 2005. 530p.

EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Cultivo da mandioca para a região do cerrado, 2003. Disponível em: <  
[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca\\_cerrados/importancia.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_cerrados/importancia.htm)> Acessado em 18/04/2015 às 11:40 horas.

EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Produção de mandioca no Brasil. Disponível em <  
<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura>> Acessado em 18/04/2015 às 12:30 horas.

Enoki, P. A.; Adum, S. H. N.; Ferreira, M. Z.; Aureliano, C. P.; Valdevino, S. L.; da Silva, A. A. Estratégias de marketing verde na percepção de compra dos consumidores na grande São Paulo. Revista Jovens pesquisadores, ano V, nº 8, 2008.

Eulália, L. A. S.; Araújo, J. B.; Kettani, O.; Francioli, L.A. Azevedo, R. C.; Brmer, C.F. An essay on green supply chain and dynamic alignment, Marrocos, 3dr International Conference on Information System, Logistics and Supply Chain, 2010.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Production – cassava crops – 2014. Acessado em 12/04/2015 às 22:12 horas.

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Divison – Products of crops – Cassava. Disponível em <  
<http://faostat3.fao.org/home/E>> Acessado em 18/04/2015 às 15:35 horas.

Felipe, F. I.; Rizato, M.; Wandalsen, J. V. Potencial econômico dos resíduos de mandioca provenientes de fecularias no Brasil. 47º Congresso da Sociedade Brasileira de economia, administração e sociologia rural, 2009.

Grach, F. C. Incorporação de resíduos de embalagens pós-consumo provenientes das agroindústrias na fabricação de bandejas de polpa moldada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – 2006).

Grupo Freedonia - 2013. Demand for bioplastics will increase globally to 960k tons by 2017,< [www.freedoniagroup.com](http://www.freedoniagroup.com)> acessado em 30/10/15, às 9:40 horas.

Guimarães, J. L. Preparação e caracterização de compósitos de amido plastificado com glicerol e reforçados com fibras naturais vegetais. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais – Universidade Federal do Paraná – Curitiba – 2010).

Halley, P. J.; Averous, L. R. Starch polymers – from genetic engineering to green applications, Elsevier, 2014.

Henrique, C. M.; Cereda, M. P.; Sarmiento, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amido modificados de mandioca. Revista Ciência e tecnologia de alimentos, vol. 28, nº 1, pág. 231 – 240, 2008.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Diretoria de pesquisas – Coordenação de agropecuária – Gerência de agricultura, 2014.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Diretoria de pesquisas – Coordenação de agropecuária – Gerência de agricultura, 2013.

IBGE. Produção agrícola de Mandioca safra 2014/2015. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_\[mensal\]/Fasciculo/lspa\\_201501.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201501.pdf)> Acessado em 21/04/2015 às 11:10 horas.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. Brasil, vol. 37, 2010.

ICIS pricing acetone. Disponível em < [www.icis.com](http://www.icis.com) >. Acesso em novembro/2015.

Instituto Mauá de tecnologia, Mauá, 2011. Acessado em 18/04/2015 às 20:50 horas.

Jassen, L.; Moscicki, L. Thermoplastic Starch – A green material for various industries, Wiley-VCH verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009.

Juras, I. A. G. M. Plásticos biodegradáveis. Consultoria legislativa da área XI – Câmara dos Deputados do Brasil, 2013.

Lancelotti, A. O mercado de bioplásticos no Brasil: perspectivas e oportunidades. Systex – Informativos <[www.syntex.com.br/?p=28](http://www.syntex.com.br/?p=28)> acessado em 05/11/2015 às 14:12 horas.

Leonel, M.; Jackey, S.; Cereda, M. P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce – Um estudo de caso. Revista Centro de raízes tropicais (CERAT/UNESP), 1998.

Loercks, J. R.; Pommeranz, W.; Schimdt, H. Molded part made of starch foamed material. Patente registrada na USPTO – nº 5897944, Estados Unidos, 1999.

Lopes, M. S. G. Produção de plásticos biodegradáveis utilizando hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar. Tese (Doutorado em Biotecnologia – Universidade de São Paulo – São Paulo – 2010).

Lorenzi, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Editora Nova Odessa, Instituto Plantarum, vol. 3, pág. 384 – 391, 2009.

Lugão, A. B.; Bastos, C. R.; Parra, D. F.; Carr, L. G.; Ponce, P. Espumas de amido resistente a temperaturas correspondentes a forno convencional doméstico, forno de industrial alimentícia e forno doméstico de micro-ondas. Patente registrada no INPI – nº: PI 0603932-4 A2, Brasil, 2009.

Lugão, A. B.; Bastos, C. R.; Parra, D. F.; Carr, L. G.; Ponce, P. Processo de impermeabilização de substratos biodegradáveis. Patente registrada no INPI – nº: PI 0520831-9 A2, Brasil, 2010.

Lugão, A. B.; Carr, L. G.; Ponce, P. Dispositivo de pressão negativa para obtenção de espumas biodegradáveis. Patente registrada no INPI – nº: MU 8700654-5 U2, Brasil, 2010.

Mali, S.; Grossmann, M. V. E.; Yamashita, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. Revista Ciências Agrárias, vol. 31, nº 1, pág. 137 – 156, 2010.

Marengo, V. A.; Vercelheze, A. E. S.; Mali, S. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. Revista: Química Nova, vol. 36, nº 5, pág. 680 – 685, 2013.

Marengo, V. A.; Vercelheze, A. E. S.; Mali, S. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. Revista Química Nova, vol. 36, nº 5, pág. 680 – 685, 2013.

Marques, J. A.; Prado, I. N.; Zeoula, L. M.; Alcalde, C. R.; do Nascimento, W. G. Avaliação da mandioca e seus resíduos industriais em substituição ao milho no desempenho de novilhas confinadas. Revista brasileira de zootecnia, vol. 29, nº 5, pág. 1528 – 1536, 2000.

Mattos, J.F. Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica. 2ª ed. São Paulo, Atlas, pág. 269 – 280, 1989.

Medeiros, E. S.; Corradini, E.; Lotti, C.; Carvalho, A. J. F.; Curvelo, A. A. S.; Mattoso, L. H. C. Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. Revista Polímeros: Ciência e tecnologia, vol. 15, nº 4, pág. 268 – 273, 2005.

Meneghetti, C. C.; Domingues, J. L.; Características nutricionais e uso de subprodutos da agroindústria na alimentação de bovinos. Revista eletrônica Nutritime, vol. 5, nº 2, pág. 512 – 536, 2008.

Miranda, V. R.; Carvalho, A. J. F. Blendas compatíveis de amido termoplástico e polietileno de baixa densidade compatibilizada com ácido cítrico. Revista Polímeros, vol. 21, nº 5, pág. 353 – 360, 2011.

Naime, N. ; Ponce, P. ; Lugão, Ademar B . A Influência de agentes ativos nas propriedades mecânicas e de barreira de embalagens biodegradáveis. X Congresso Brasileiro de Polímeros (CBPOL), Foz do Iguaçu, pág. 131 – 131, 2009.

Naime, N. Embalagens de fontes ativas. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência na área de tecnologia nuclear – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo – 2010).

Naime, N.; Brant, A. J. C.; Lugão, A. B.; Ponce, P. Espumas de fécula de mandioca com fibras naturais. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, pág. 10019 – 10028, 2012.

Naime, N.; Granado, L. M.; Carr, L. G.; Lugão, A. B.; Ponce, P. Espumas de fécula de mandioca com plastificantes. 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, Campina Grande, 2007.

Naime, N.; Ponce, P.; Lugão, A. B. Embalagens biodegradáveis tipo espuma. XIII Congresso Brasileiro de Mandioca, pág. 895 – 901, 2009.

Nassar, N. M. A.; da Silva, J. R.; Vieira, C. Hibridização interespecífica entre mandioca e espécies silvestres de Manihot. Revista Ciência e Cultura, vol. 38, pág. 1050 – 1053, 1986.

Oliveira, S. S.; Albuquerque, A. S.; Moreira, P. I. O. Comparação dos níveis de ácido cianídrico (HCN) entre etnovarietades de mandioca bravas e mansas. Revista Raizes e amidos tropicais, vol. 3, 2007.

Palhano, F. O. O Meio Ambiente e o Setor industrial – Desafio para o desenvolvimento sustentável. Condensação de Monografia (Bacharel em Jornalismo – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Recife – 2001).

Paper Foam, 2015. Disponível em < <http://www.paperfoam.com/>> Acessado em 6/10/2015 às 11:30 horas.

Pellicano, M.; Pachekoski, W.; Agnelli, J. A. Influencia da adição de amido de mandioca na biodegradação da blenda polimérica PHBV/Ecoflex. Revista Polímeros: Ciência e tecnologia, vol. 19, nº 3, pág. 212 – 217, 2009.

Pereira, J.; Ciacco, C. F.; Vilela, E. R.; Teixeira, A. L. S. Féculas fermentadas na fabricação de biscoitos: estudo de fontes alternativas. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, vol. 19, nº. 2, pág. 287 – 293, 1999.

Pereira, L. D. Caracterização do amido nativo e modificação química do amido da fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum*) com tripolifosfato de sódio. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares – Universidade Estadual de Goiás – Anápolis – 2011).

Ponce, P.; Carr, L. G. Formulação de adesivo para espuma de amido, celulose e derivados. Patente registrada no INPI – nº PI 0604473-5 A, Brasil, 2008.

Ponciano, N. J.; Constantino, C. O. R.; de Souza, P. M.; Detmann, E. Avaliação econômica da produção de abacaxi (*Ananas comosus* L.) cultivar perola na região norte fluminense. *Revista Caatinga*, vol. 19, nº 1, pág. 82 – 91, 2006.

Ramos, M. A. F. A. C. Química verde – potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário. Dissertação (Mestrado em Química – Universidade de Lisboa – Lisboa – 2009).

Rocha, T. S. Estudo da hidrólise enzimática do amido de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*): efeito do tamanho dos grânulos. Dissertação (Mestrado em Engenharia e ciência de alimentos – Universidade Estadual Paulista – São José do Rio Preto – 2007).

Santos, J. R.; Abreu, N. R. O impacto do marketing verde para as usinas sucroalcooleiras que atuam em Alagoas. *Revista Alcance*, vol. 16, nº 2, pág 201 – 220, 2009.

Schlemmer, D.; Sales, M. J. A.; Resck, I. S. Preparação, caracterização e degradação de blendas PS/TPS usando glicerol e óleo de buriti como plastificantes. *Revista Polímeros: Ciência e tecnologia*, vol. 20, nº 1, pág. 6 – 13, 2010.

Schmidt, V. C. R. Desenvolvimento de bandejas biodegradáveis a partir de fécula de mandioca, calcário e fibra de celulose. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – 2006).

SEAB - Paraná (Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento); DERAL (Departamento de Economia Rural). Análise da conjuntura agropecuária – Mandioca safra 2014/2015.

SEBRAE. Estudo de Mercado sobre a mandioca (farinha e fécula). ESPM, 2008.

SEBRAE. Informações de mercado sobre mandioca (com foco em farinha e fécula). ESPM, 2008.

SEBRAE. Mandioca (Farinha e fécula) – informações de mercado sobre a mandioca. 2012.

SEBRAE. Mandiocultura – derivados da mandioca. 2009.

SEBRAE. Panorama do mercado da mandioca. 2014.

SECEX – Secretaria de Comercio Exterior – Mdic. Importação/Exportação de Mandioca, 2014. Disponível em <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/camaras\\_setoriais/Mandioca/30RO/app\\_conjuntura\\_mandioca.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Mandioca/30RO/app_conjuntura_mandioca.pdf)> Acessado em 15/08/2015 às 19:00 horas.

Silva, C. H. R. T. Estocolmo' 72, Rio de Janeiro' 92 e Joanesburgo'02: as três grandes conferências ambientais internacionais. Nucleo de estudos e pesquisas do Senado Federal do Brasil, 2011.

Silva, M. F. O.; da Costa, L. M.; Pereira, F. S.; da Costa, M. A. A indústria de transformação de plásticos e seu desempenho. Revista BNDES Setorial: Química, vol. 38, pág. 131 – 172, 2010.

Simon, A. T.; Satolo, E. G. Uma análise do complexo sucroalcooleiro sob a ótica da Gestão da Cadeia de Suprimentos (SCM). XVI Simpósio de Engenharia de Produção, Botucatu, 2009.

Sivertsen, K. Polymer foams, 3063. Polymer Physics, Spring , 2007.

Smith, R. Biodegradable polymers for industrial applications, Woodhead Publishing Limited, 2005.

Soares, F. C.; Yamashita, F.; Müller, C. M. O.;Pires, A. T. N. Thermoplastic starch/poly (lactic acid) sheets coated with cross-linked chitosan. Revista Elsevier: Polymer Testing, vol. 32, pág. 94 – 98, 2013.

Sociedade Brasileira de Mandioca. Produção e preços de mandioca e derivados em 2012. Disponível em <<http://www.sbmandioca.org/>> acessado em 20/06/2015, às 21:30 horas.

Sociedade Brasileira de Mandioca. Produção e preços de mandioca e derivados em 2011. Disponível em <<http://www.sbmandioca.org/>> acessado em 20/06/2015, às 22:10 horas.

Stoffel, F. Desenvolvimento de espumas a base de amido de mandioca. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos – Universidade de Caxias do Sul – Caxias do Sul – 2015).

TABELA Brasileira de Composição de Alimentos. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/nepa/taco/>>. Acessado em 12/07/2015 às 12:20 horas.

TABELA SALARIAL BASE. Piso Salarial 2015. Disponível em <<http://tabelasalarial.com/consulta-tabela-salarial-2014-atualizada/>> Acessado em 01/11/2015 às 21:48 horas.

Teixeira, E. M. Utilização de amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos. Tese (Doutorado em Ciência (físico-química) – Universidade Federal de São Carlos – São Carlos – 2007).

Teixeira, W. Mandioca e derivados. Perspectiva para a agropecuária na safra 2013/14. CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, 2013.

Tiefenbacher K. F. Starch-based foam materials – use and degradation properties: Journal Macromol. Science Pure Application Chemistry, vol. A30, pág. 727 – 731, 1993.

Veiga, J. P. S. Caracterização de resíduos de colheita da mandioca (*Manihot esculenta* crantz) e avaliação do potencial de co-geração de energia no processo de produção de etanol. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas – Campinas – 2012).

Vilela, N.J. ; Luengo, R.F. Viabilidade técnica e econômica da caixa Embrapa para comercialização de tomate para consumo in natura. Horticultura Brasileira, Brasília, vol. 20, nº. 2, pág. 222 – 227, 2002.

Vilpoux O.; Avérous L. Starch-based plastics. In ‘Technology, use and potentialities of Latin American starchy tubers’ (eds.: Cereda M. P., Vilpoux O.) NGO Raízes and Cargill Foundation, São Paulo, Brasil, Vol 3, 521–553 (2004).

Vilpoux, O. F. Competitividade da mandioca no Brasil, como matéria-prima para amido. Revista Informações econômicas, vol. 38, nº 11, 2008.