

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

NATHALIE HAMINE PANZARINI RODRIGUES

**EMBALAGEM DE ESPUMA À BASE DE AMIDO DESENVOLVIDA A
PARTIR DE SUBPRODUTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA
(*Solanum tuberosum* L.)**

TESE

PONTA GROSSA

2020

NATHALIE HAMINE PANZARINI RODRIGUES

**EMBALAGEM DE ESPUMA À BASE DE AMIDO DESENVOLVIDA A
PARTIR DE SUBPRODUTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA
(*Solanum tuberosum L.*)**

Tese apresentada como requisito à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

Coorientadora: Profa. Dra. Maria Helene Giovanetti Canteri

PONTA GROSSA

2020

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa
n.53/20

R696 Rodrigues, Nathalie Hamine Panzarini

Embalagem de espuma à base de amido desenvolvida a partir de subproduto da industrialização da batata (*Solanum tuberosum L.*). / Nathalie Hamine Panzarini Rodrigues, 2020.

98 f.; il. 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco
Coorientadora: Profa. Dra. Maria Helene Giovanetti Canteri

Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

1. Biopolímeros. 2. Batata - Subprodutos. 3. Gomas e resinas. 4. Aveia. 5. Embalagens - Indústria. I. Francisco, Antonio Carlos de. II. Canteri, Maria Helene Giovanetti. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 670.42



FOLHA DE APROVAÇÃO

Tese Nº 36/2020

EMBALAGEM DE ESPUMA À BASE DE AMIDO DESENVOLVIDA A PARTIR DE SUBPRODUTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.)

por

Nathalie Hamine Panzarini Rodrigues

Esta tese foi apresentada às **09 horas** de **25 de maio de 2020** como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Evaldo Kubaski Toniolo
(UEPG)

Prof. Dr. Luiz Gustavo Lacerda
(UEPG)

Profa. Dra. Regina Negri Pagani
(UTFPR)

Profa Dra Sabrina Ávila Rodrigues
(UTFPR)

Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco
(UTFPR) – *Orientador e presidente da banca*

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski
Coordenador do PPGEPI - Doutorado

- A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa -

Dedico esse trabalho ao meu maior
incentivador Reinaldo e ao meu maior
incentivo Miguel.

AGRADECIMENTOS

Claramente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Gratidão aos meus pais pela dedicação e esforço para minha formação tanto acadêmica quanto pessoal, assim como minha irmã, companheira de vida.

Ao meu esposo Reinaldo e meu filho Miguel pois sem o apoio e incentivo deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná por minha formação acadêmica. Foram quase 12 anos entre o início da minha primeira Graduação em Tecnologia em Alimentos até o Doutorado em Engenharia de Produção. Gratidão e orgulho em ter uma Universidade pública, gratuita e de qualidade reconhecida em meu currículo.

Agradeço ao Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, pelos chás de camomila, pela compreensão e pela oportunidade de tê-lo como orientador. À minha co-orientadora Prof.^a Dr.^a Maria Helene Giovanetti Canteri pelo seu imenso carinho, dedicação e ajuda durante todo o trabalho. Com toda certeza foram exemplos de pessoas e mestres para minha vida profissional.

Aos Professores Sabrina, Sérgio e Simone pelos conhecimentos compartilhados e auxílio nas análises aqui desenvolvidas.

Aos meus amigos de trajetória e colegas do LESP.

À empresa que disponibilizou o subproduto utilizado para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhando, refazendo e retocando o sonho pelo qual se pôs a caminhar.

Paulo Freire

RESUMO

RODRIGUES, Nathalie Hamine Panzarini. **Embalagem de espuma à base de amido desenvolvida a partir de subproduto da industrialização da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 2020. 98 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

O uso de embalagens à base de petróleo e seu descarte no meio ambiente apresenta vários problemas ambientais, direcionando pesquisas para o desenvolvimento de biopolímeros como substitutos dos polímeros convencionais. Portanto, este projeto teve por objetivo desenvolver um material para embalagem biodegradável a partir de subprodutos da industrialização da batata (*Solanum tuberosum* L.). Para tanto, dez formulações utilizando o subproduto da industrialização da batata, a goma xantana, a pectina de alta metoxilação e a fibra natural de aveia foram testadas para desenvolver uma espuma biodegradável pelo processo de termo expansão. Análises físico-químicas foram realizadas para caracterizar o subproduto da batata. As três formulações compostas por goma xantana e fibra de aveia (C10, C15 e C20) com os melhores resultados foram analisadas quanto à morfologia, às propriedades mecânicas e à biodegradabilidade do produto final. Tanto o índice de absorção quanto a solubilidade em água foram maiores na amostra com 20% de plastificante e 20% de fibra. A atividade da água não foi afetada pelas variações nos aditivos. As amostras com maior concentração de aditivos apresentaram maior resistência à tração mecânica, mas houve um limite para esses níveis de resistência à espuma. O efeito visual mais acentuado foi a cor amarela. O principal mecanismo de degradação da espuma proposto foi a hidrólise, com tempo entre 7 e 20 dias para a decomposição completa. A combinação de um subproduto da industrialização da batata com goma xantana e fibra natural de aveia possibilitou a produção de um substituto promissor para polímeros sintéticos, fornecendo uma solução ecológica para o uso de subprodutos agroindustriais, com redução do volume de resíduos de embalagens à base de petróleo. O material pode ser usado em pequenos produtos descartáveis ou embalagens alternativas para alimentos secos, ou aplicado à agricultura em bandejas de sementes, embalagens para o transporte de mudas de plantas ou recipientes de composto.

Palavras-chave: Biopolímero. Subproduto da batata. Goma xantana. Aveia.

ABSTRACT

RODRIGUES, Nathalie Hamine Panzarini. **Starch-based foam packaging developed from a by-product of potato industrialization (*Solanum tuberosum* L.)**. 98 p. Thesis (Doctoral in Production Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

The use of petroleum-based packaging and its disposal in the environment presents several environmental problems, directing research towards the development of biopolymers as substitutes for conventional polymers. Therefore, this project aimed to develop a material for biodegradable packaging from by-products of potato industrialization (*Solanum tuberosum* L.). For that, ten formulations using the by-product of potato industrialization, xanthan gum, high methoxil pectin and a natural fiber of oats were tested for the development of a biodegradable foam by thermo expansion process. Physical chemical analyzes were performed to characterize or by-product. The three formulations composed of xanthan gum and oat fiber (C10, C15 and C20), with the best results were analyzed for morphology, mechanical properties and biodegradability of the final product. Both the absorption index and the water solubility were higher in the sample with 20% plasticizer and 20% fiber. Water activity was not affected by changes in additives. As the quantities with the highest concentration of additives showed greater resistance to mechanics, but there was a limit to these levels of resistance to foam. The most accentuated visual effect was the yellow color. The main foam degradation mechanism proposed was hydrolysis, with time between 7 and 20 days for complete decomposition. A combination of a by-product of potato industrialization with xanthan gum and natural fiber allows the production of a promising substitute for synthetic polymers, providing an ecological solution for the use of agro-industrial by-products and with volume reduction of petroleum-based packaging waste. The material can be used in small disposable products or alternative packaging for dry foods, or applied to agriculture in seed trays, packaging for transporting plant seedlings or containers of compost.

Keywords: Biopolymer. Potato by-product. Xanthan gum. Oat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama dos passos para condução da tese.	21
Figura 2 - Classificação dos polímeros biodegradáveis.	28
Figura 3 - Diagrama da cadeia produtiva de vegetais processados.	38
Figura 4 - Estrutura química parcial da amilose.	40
Figura 5 - Estrutura química parcial da amilopectina.	40
Figura 6 - Morfologia granular de alguns tipos de amido.	41
Figura 7 - Processamento e envelhecimento térmico de amido.	42
Figura 8 - Estrutura principal da goma xantana.	44
Figura 9 - Representação esquemática da cadeia de ácido poligalacturônico.	46
Figura 10 - Mistura do gel do subproduto contendo amido com os aditivos.	55
Figura 11 - Processo de termo expansão da massa obtida com subproduto da batata.	56
Figura 12 - Processo de obtenção de espuma à base de amido desenvolvida a partir de subproduto da industrialização da batata.	58
Figura 13 - Possíveis aplicações do subproduto da industrialização da batata.	68
Figura 14 - Comparação das espumas após 7 dias de armazenamento.	69
Figura 15 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C10) nos 7 primeiros dias de análise.	75
Figura 16 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C15) nos 7 primeiros dias de análise.	75
Figura 17 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C20) nos 7 primeiros dias de análise.	75
Figura 18 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C10) após 14 dias de análise.	76
Figura 19 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C15) após 14 dias de análise.	77
Figura 20 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C20) após 14 dias de análise.	77
Figura 21 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata no primeiro e no vigésimo primeiro dia da análise de biodegradabilidade.	78
Figura 22 - Linha do tempo da biodegradação de espumas desenvolvidas a partir de subprodutos da batata que foram enterrados no solo preto.	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Funções da embalagem.....	23
Quadro 2 - Principais materiais utilizados em embalagens e suas características. ..	25
Quadro 3 - Estudos de desenvolvimento de espumas à base de amido.....	30
Quadro 4 - Etapas dos materiais e métodos	50
Quadro 5 - Palavras-chave e combinações.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projeto experimental fatorial.....	57
Tabela 2 - Análise bibliométrica em bases científicas	62
Tabela 3 - Análise bibliométrica em bases científicas	63
Tabela 4 - Composição centesimal média e valor calórico da farinha de casca de batata.	64
Tabela 5 - Índice de solubilidade, índice de absorção de água e atividade de água de espumas com base em subprodutos da batata	70
Tabela 7 - Propriedades mecânicas e densidades das espumas à base de subprodutos da batata.....	71
Tabela 8 - Parâmetros de cor das espumas desenvolvidas a partir de subprodutos da batata.	73

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CEAGESP	Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
LESP	Laboratório de Sistemas de Produção Sustentável
PA	Poliamidas
PCL	Poli(capro)lactone
PE	Polietileno
PET	Polietileno tereftalato
PHL	Plástico Biodegradável
PLA	Ácido Polilático
PP	Polipropileno
OS	Poliestireno
PVA	Acetato de vinila
PVC	Policloreto de vinila
EPS	Poliestireno expandido
TPS	Amido termoplástico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo Geral.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	17
1.4 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO PARA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.....	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 EMBALAGENS	22
2.1.1 Produção de Embalagens Biodegradáveis	27
2.2 BATATA E O SUBPRODUTO DA SUA INDUSTRIALIZAÇÃO	34
2.3 ESPUMAS A BASE DE AMIDO	39
2.3.1 Amido.....	39
2.3.2 Aditivos para a produção de embalagem.....	43
2.4 Goma Xantana	43
2.4.1 Pectina.....	45
2.4.2 Fibra natural.....	46
3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 ESTADO DA ARTE.....	51
3.2 OBTENÇÃO DO SUBPRODUTO PROVENIENTE DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA	52
3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO SUBPRODUTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA EM BASE SECA	53
3.3.1 Análises Físico-Químicas do Subproduto da Batata.....	53
3.4 DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL TIPO ESPUMA..	54
3.4.1 Obtenção das espumas:	54
3.4.2 Formulações	56
3.5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E ESTRUTURAL DA ESPUMA	58

3.5.1 Solubilidade	58
3.5.2 Índice de Absorção de Água	59
3.5.3 Atividade de água	59
3.5.4 Densidade.....	59
3.5.5 Análise Mecânica.....	60
3.5.6 Parâmetros de cores.....	60
3.5.7 Análise De Biodegradabilidade.....	60
3.5.8 Análise Estatística	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1 ESTADO DA ARTE.....	62
4.2 OBTENÇÃO DO SUBPRODUTO PROVENIENTE DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA	64
4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO SUBPRODUTO DA BATATA	64
4.4 OBTENÇÃO DAS ESPUMAS	69
4.4.1 Resultados das formulações com diferentes plastificantes.....	69
4.4.2 Caracterização Física, e Estrutural da Espuma.....	70
4.4.3 Análise Mecânica de Espuma.....	71
4.4.4 Cor.....	73
4.4.5 Biodegradabilidade	74
5 CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS.....	82
APÊNDICE A - PUBLICAÇÃO INTERNACIONAL.....	97

1 INTRODUÇÃO

Nessa seção serão abordados tópicos introdutórios referentes a essa pesquisa, desde a contextualização da problemática, apresentando os objetivos (geral e específicos), a justificativa e originalidade do estudo, as contribuições para Engenharia de Produção, bem como a estrutura da pesquisa.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O uso de polímeros derivados de petróleo acelerou nos últimos anos alcançando uma produção de 359 milhões de toneladas em 2018 (PLASTIC EUROPE, 2019). A maior porcentagem de plástico é derivada de combustíveis fósseis, que exercem pressão excessiva sobre fontes não renováveis e se degradam muito lentamente em períodos entre 100 e 450 anos. Essa degradação envolve sua fragmentação em partículas menores, o que causa impactos na água, no ar e no solo que afetam diretamente o meio ambiente e a saúde (DEBIAGI *et al.*, 2011; MERCADO *et al.*; 2017). Os autores anteriores propõem que esse efeito possa ser reduzido com o gerenciamento de subprodutos sólidos.

Os problemas ambientais causados pelo descarte de materiais não biodegradáveis levaram à pesquisa e desenvolvimento de materiais biodegradáveis, capazes de ser usados na produção de embalagens em escala comercial (SOLANO e GANTE, 2014). Do ponto de vista econômico, ao comparar embalagens biodegradáveis com materiais sintéticos, as produzidas a partir de bioprodutos nem sempre têm preços competitivos no curto prazo. A utilização de subprodutos agrícolas, ou gerados pela indústria, pode, portanto, fornecer uma alternativa de embalagem no mercado (MANIGLIA, 2012).

Os materiais derivados da agricultura estão emergindo como matéria-prima promissora para vários produtos como biocombustíveis, biopolímeros, componentes funcionais e medicinais, alimentação humana e animal (CHINTAGUNTA *et al.*, 2016; ROMMI *et al.*, 2015; AL-WESHAHY *et al.*; 2013; AL-WESHAHY e RAO, 2009; HOSSAIN *et al.* 2014; SINGH *et al.*, 2008, 2005; CURTI *et al.*, 2016; KASAPIDOU *et al.*, 2015; VENTURI *et al.*, 2019). Com o aumento do número de indústrias e de volume de batata industrializada, o uso completo de matérias-primas está se tornando cada

vez mais importante para atender às demandas urgentes por redução de subprodutos gerados durante o processo e para atender às preocupações ambientais (WU, 2016).

Entre os polímeros naturais, o amido foi identificado como um dos materiais mais promissores para o desenvolvimento de biopolímeros (GHANBARI *et al.*, 2018), sendo amplamente disponível e um recurso natural facilmente biodegradável. São necessárias elevadas quantidades de água ou plastificantes para produzir um filme à base de amido. Esses materiais plastificados (através da aplicação de energia térmica e mecânica) são chamados de amido termoplástico (TPS) e fornecem uma alternativa aos polímeros sintéticos (PEELMAN *et al.*, 2013).

A aplicação de amido derivado de um subproduto agroindustrial é considerada de interesse ambiental e econômico como base de embalagens biodegradáveis, porque, embora geralmente essas sejam ricas em compostos e fibras bioativos, são descartadas na cadeia final de um processo de produção (LUCHESE *et al.*, 2019). Alguns estudos indicam que a combinação de amido com uma variedade de plastificantes (naturais ou sintéticos) e / ou outros aditivos, como fibras naturais, permite a produção de novos materiais poliméricos semelhantes à espuma com melhores propriedades. Edhirej *et al.* (2017), por exemplo, desenvolveram um compósito híbrido a partir do bagaço de mandioca, um material amiláceo, e de fibra de palmeira de açúcar, usando a frutose como plastificante. A adição da fibra influenciou significativamente as propriedades físicas, com aumento da espessura e redução de densidade, do teor de água, da solubilidade e da absorção de água. Machado *et al.* (2018) descobriram que as espumas que continham arroz quebrado, também rico em amido, eram mais finas e apresentavam maior densidade, maior tensão de tração e valores máximos de estresse à flexão, em comparação com as espumas de controle. Kaisangsri *et al.* (2014) observaram que o índice de absorção e solubilidade em água foi menor em bandejas com maiores concentrações de proteína zeína e glúten. Por fim, Stoffel *et al.* (2018) estudaram fibras de aveia como reforços ou cargas em materiais biodegradáveis de amido de mandioca nativo e catiônico / PVA e concluíram que têm boa dispersão e compatibilidade com a matriz polimérica.

Embora as bandejas de espuma biodegradável tenham sido desenvolvidas com misturas de amido e fibras naturais, não há relatos científicos sobre o uso de amido dos subprodutos da indústria da batata. Este trabalho trata, portanto, de espumas biodegradáveis preparadas a partir de matérias-primas de amido produzidas a partir de subprodutos da indústria da batata. A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma

cultura economicamente importante, mas altamente poluente, devido à alta concentração de componentes orgânicos, potencialmente contaminantes, como amido, lipídios, sacarídeos, proteínas e outras substâncias solúveis (WANG, *et al.* 2009a; WANG *et al.* 2009b). Em função de que os componentes da embalagem são biodegradáveis, também se espera que o composto final tenha essa mesma característica.

A goma xantana, um polímero natural amplamente aplicado na indústria de alimentos, foi adicionada por ser um espessante eficiente, sendo a viscosidade da solução aumentada, mesmo em concentração baixa, em uma solução aquosa com comportamento pseudoplástico. A combinação de goma com amidos e outros agentes plastificantes tem sido utilizada no desenvolvimento de filmes, melhorando as características de estabilização, gelatinização e retrogradação (PETRI, 2015; GOMES, 2014). Utilizou-se fibra de aveia natural como reforço de espuma. Segundo Zanela *et al.* (2018), este material pode ser usado para reforço de materiais biodegradáveis produzidos por moldagem por injeção, e estudos anteriores demonstraram o potencial uso de fibra de aveia em materiais biodegradáveis.

Nesse contexto, surge a seguinte questão de pesquisa:

Como desenvolver uma embalagem sustentável com valor agregado a partir de um subproduto da industrialização da batata?

1.2 OBJETIVOS

A fim de responder à questão de pesquisa foram designados os objetivos descritos a seguir:

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um material para embalagem biodegradável a partir de subprodutos da industrialização da batata (*Solanum tuberosum L.*).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento das espumas a base de amido previamente desenvolvidas;

- Caracterizar o subproduto da batata e apontar possíveis aplicações;
- Testar diferentes protocolos e formulações para a obtenção de uma embalagem biodegradável;
- Investigar a influência de diferentes plastificantes na espuma em concentrações similares;
- Verificar a influência da quantidade de fibra natural na formulação do produto final;
- Analisar as características físicas e estruturais das embalagens produzidas;
- Verificar o potencial de biodegradabilidade da embalagem por perda de massa;
- Propor alternativas de uso sustentável dessa embalagem, em substituição a produtos com alto impacto ambiental.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O setor de agroindústrias tem crescido, com importante papel no desenvolvimento da economia, originando uma quantidade significativa de subprodutos. Estes, resultantes de atividades de processamento ou transformação de matéria-prima, quando não recebem tratamento de forma correta podem ocasionar sérios problemas de poluição do solo, águas superficiais e subterrâneas (DIAS, 2014).

Segundo Debiagi *et al.* (2013) a gestão de subprodutos sólidos pode diminuir esse impacto, através de programas tais como reciclagem, incineração com reaproveitamento da energia gerada, reutilização e descartes em aterros sanitários.

Ravindran & Jaiswal (2016) destacam a valorização dos subprodutos da agroindústria. O uso de subprodutos industriais como matéria-prima para o desenvolvimento de embalagens é econômico e ambientalmente atraente. O uso de subprodutos para a produção de valor agregado faz parte do espírito da economia circular para abordar as possibilidades de conversão de recursos biológicos renováveis em produtos economicamente viáveis.

Entre os polímeros naturais, o amido tem sido apontado como um dos materiais mais promissores para o desenvolvimento de biopolímeros. Derivado de fontes renováveis, produzido em grandes quantidades e 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. Entre 85 a 90% dos bioplásticos encontrados no mercado utilizam o amido como matéria-prima. Portanto o desenvolvimento de novos materiais de valor agregado é de grande interesse acadêmico, social e tecnológico (GHANBARI *et al.*, 2018; MIRANDA; CARVALHO, 2011).

Deve-se notar que as propriedades das embalagens mudam dependendo da composição e natureza dos componentes combinados, permitindo seu ajuste para potencialmente atender a uma ampla gama de aplicações (GHANBARI, 2018).

Estudos apontam que a partir da combinação do amido com uma variedade de plastificantes (naturais ou sintéticos) e aditivos, como fibras naturais, pode-se produzir novos materiais poliméricos tipo espuma com melhores propriedades (EDHIREJ *et al.*, 2017; MACHADO *et al.* 2018, STOFFEL *et al.* 2018; KAISANGSRI *et al.* 2014; GHANBARI *et al.* 2018). Esses estudos utilizaram o amido advindos de diversos vegetais, adquiridos de empresas que produzem adoçantes, estabilizantes, acidulantes, texturizantes e fibras, destinados às indústrias alimentícias.

Este trabalho considera de interesse ambiental e econômica a aplicação do amido proveniente de um subproduto agroindustrial como base de uma embalagem biodegradável. A produção mundial de tubérculos de batata tem aumentado constantemente devido à crescente demanda por nutrição humana e bioprocessamento na China, Ásia e África, tornando-se a quarta safra comestível mais produzida, depois do arroz, milho e trigo (SCHARF *et al.* 2018).

Ainda que o consumo de batatas *in natura* tenha diminuído, produtos processados têm apresentado crescente popularidade. Dependendo do procedimento aplicado, as perdas causadas pelo descascamento da batata variam de 15% a 40%. As agroindústrias descascam as batatas como parte da produção de batatas fritas, batatas instantâneas e produtos similares (ARAPOGLOU *et al.*, 2010).

Considera-se um problema o alto volume dos subprodutos de baixo valor resultantes do processamento de batatas. No entanto, o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir desses subprodutos pode ser considerado alternativa para a sustentabilidade e a necessidade da conservação ambiental do planeta.

Como os componentes da embalagem são biodegradáveis, também se espera que o composto final seja totalmente biodegradável. Portanto, este material

pode ser referido como 'uma embalagem verdadeiramente ecológica' e que seu uso contribui com a diminuição do uso de plásticos sintéticos derivados de fontes não-renováveis, com a redução dos problemas ambientais pelo descarte de materiais plásticos não-biodegradáveis, aliado à possibilidade de agregar valor à subprodutos normalmente descartados por indústrias ou destinados a produtos de baixo valor.

Comprovando o caráter inovador desta pesquisa nenhuma patente foi encontrada nas bases de patentes associada às seguintes palavras-chave: starch foam; biodegradable; potato pell waste; xantana; oat.

1.4 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO PARA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Referente ao aspecto acadêmico, a realização dessa pesquisa está vinculada ao Laboratório de Sistemas de Produção Sustentável (LESP), vinculado à Engenharia de Produção por meio de dois grupos de pesquisa: Sistemas de Produção Sustentável e Bioprodução.

Conforme a classificação definida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o grupo de pesquisa LESP atua nas seguintes áreas da Engenharia de Produção:

- (i) Gestão Industrial
- (ii) Gestão do Conhecimento e Inovação

Nesse sentido, esta pesquisa dispõe-se a atender um dos objetivos do LESP, especificamente em relação à Gestão Sustentável, através da Ecoinovação.

Ecoinovação é qualquer forma de inovação que resulte ou vise progresso significativo e demonstrável em direção à meta de desenvolvimento sustentável, através da redução de impactos no meio ambiente, melhoria da resiliência às pressões ambientais ou obtenção de uma solução mais eficiente e o uso responsável dos recursos naturais (COMISSÃO EUROPEIA, 2011).

Os sistemas produtivos têm o objetivo de manter as necessidades de consumo da sociedade, analisando quais bens produzir da maneira mais vantajosa para a sociedade.

Dentre as diversas áreas englobadas na Engenharia de Produção, a Gestão Ambiental é essencial para promover a sustentabilidade dentro das organizações. Nos estudos da relação entre o processo produtivo e meio ambiente, busca-se o uso de tecnologias limpas durante o processo, utilizando matérias-primas cujo produto final

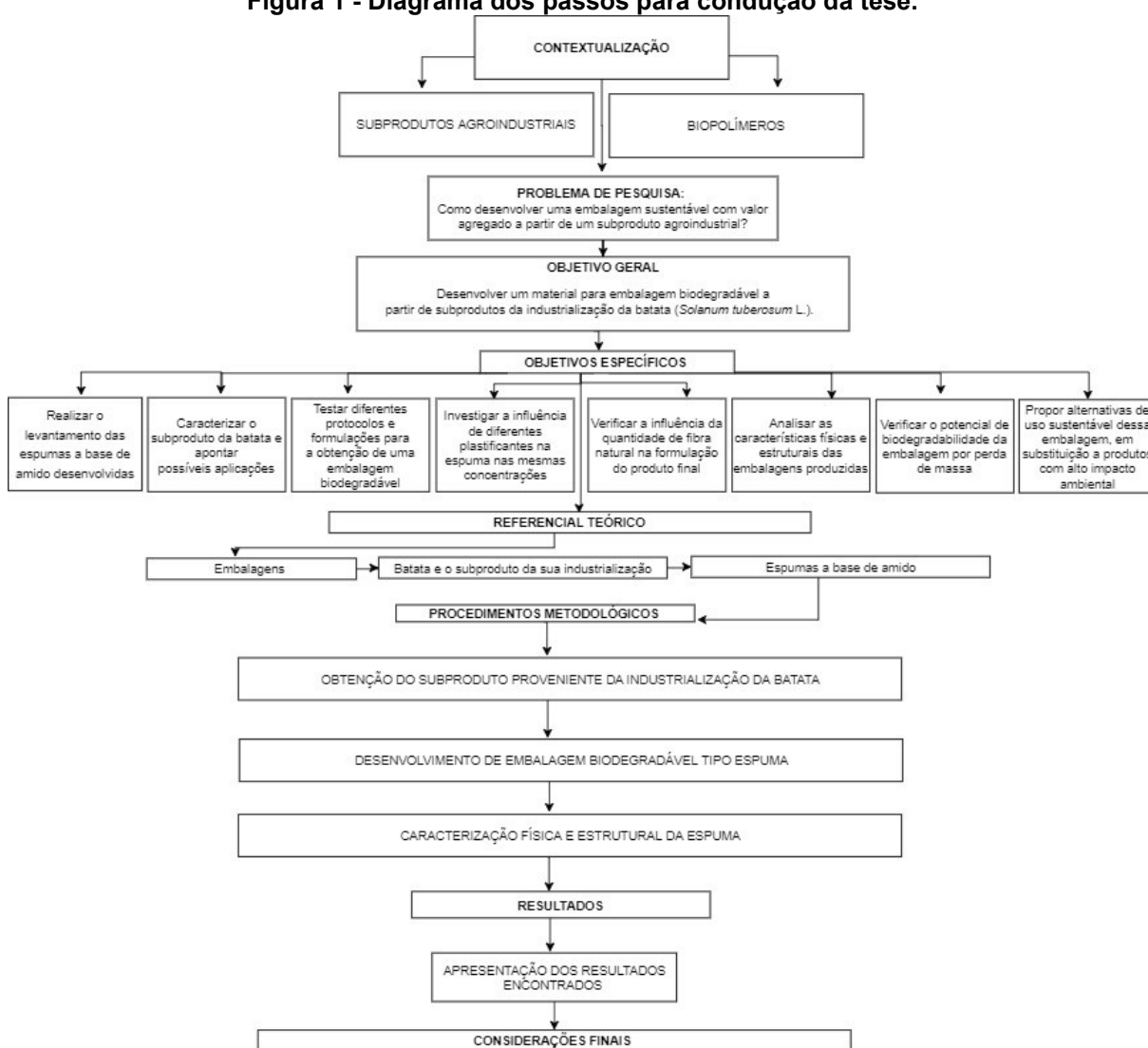
gere menos impacto ambiental, minimizando, reciclando e reutilizando resíduos e subprodutos.

O presente estudo é relevante na linha de pesquisa em que está inserida, pois propõe o desenvolvimento de produto biodegradável para substituir polímeros convencionais, cuja matéria-prima é um recurso natural finito. Além do mais, utiliza como substância principal o amido proveniente do subproduto de uma agroindústria da região, visando sanar problemas como destinação e agregação de valor ao subproduto.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para se obter uma visão geral do desenvolvimento da pesquisa, na Figura 1 está apresentado um diagrama com os passos do presente estudo.

Figura 1 - Diagrama dos passos para condução da tese.



Fonte: Autoria própria

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico sobre embalagens, embalagens biodegradáveis, a batata, os subprodutos de sua industrialização, as espumas à base de amido e os aditivos utilizados para formação da embalagem.

2.1 EMBALAGENS

A necessidade de proteger os produtos surgiu quando a vida humana se tornou mais complexa, na época em que os pré-históricos deixaram de ser nômades. Ao perceber o aumento das distâncias entre sua moradia e as fontes de alimento, esses seres humanos conscientizaram-se de que era preciso armazená-lo, bem como criar novos meios para procurar e conservar o alimento - fossem animais caçados, verduras ou legumes cultivados (BORGHI, 2010; BATTISTELLA *et al.*, 2010).

A embalagem teve sua importância intensificada após a Revolução Industrial, com a invenção da máquina a vapor. Além da exigência da proteção dos produtos em virtude das distâncias, a velocidade de circulação das mercadorias exigiu das embalagens proteção e cuidado no transporte e na distribuição de bens de consumo. Já no Brasil, a evolução da embalagem ganhou um impulso no último quarto do século XIX, no marco da industrialização geral e do desenvolvimento do comércio, a partir da chegada dos imigrantes e do rápido crescimento populacional da cidade de São Paulo (CAVALCANTI e CHAGAS, 2007).

Esses envoltórios evoluíram atendendo às demandas que surgiram do desenvolvimento da sociedade e dos diversos bens de consumo; funções antigas, como viabilizar a proteção e o transporte continuam essenciais, porém agora são complementadas por outras também importantes (ABRE, 2016). Apresenta-se como um dos fatores primordiais da qualidade, sendo valioso componente na relação e no sucesso entre produto e consumidor. De acordo com as necessidades da sociedade, seja relacionada a produtos ou a serviços, a embalagem como integrante do sistema produto-embalagem, cumpre diversas funções (Quadro 1).

Quadro 1 - Funções da embalagem.

Funções	Atributos
Proteção	<ul style="list-style-type: none"> • Previne danos mecânicos, deterioração do produto (barreira contra gases, umidade, luminosidade, aromas, entre outros), contaminação externa e adulteração; • Aumenta a vida de prateleira do produto.
Promoção	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona estética e apelo de venda; • Apresenta e descreve o produto e suas características; • Instrumento de propaganda e <i>marketing</i>.
Informação	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica o produto; • Descreve o modo de preparo e uso; • Lista ingredientes; • Apresenta informações nutricionais e instruções para armazenamento, abertura e segurança e de descarte, tanto para o produto quanto da própria embalagem.
Logística e Manuseio	<ul style="list-style-type: none"> • Viabiliza o transporte eficiente do produtor até o varejista; • Exposição no ponto de venda.
Convivência e Individualização	<ul style="list-style-type: none"> • Facilita o preparo, armazenamento, porcionamento (compra individualizada e consumo).
Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Reduz a perda de produto e permite a reutilização da embalagem; • Auxilia e orienta o descarte do produto e da embalagem; • Protege o produto e permite a estocagem adequada garantindo a sua maior durabilidade; • Torna viável um transporte eficiente; • Apresenta oportunidades no uso de matérias-primas alternativas e renováveis e projeto otimizado.

Fonte: Adaptado de EUROOPEN (2009).

Não considerando especificamente como função, Lindh *et al.* (2016) apontam o impacto ambiental mínimo, a redução de resíduos, o uso reduzido de recursos e o uso mínimo de substâncias perigosas como estratégias para o desenvolvimento de embalagens com um baixo efeito ambiental negativo.

O desenvolvimento de embalagens está sujeito a muitas influências e demandas não só relacionadas aos consumidores, mas a toda cadeia de suprimentos

nas quais estão inseridas, requisitos legais exigidos pela legislação e abrange a seguinte classificação descrita por Boora e Batra (2017):

- **Embalagem primária:** material que primeiro envolve o produto, geralmente em contato direto com o conteúdo, responsável por evitar contaminações por agentes químicos e físicos e informar ao consumidor.
- **Embalagem secundária:** fora da embalagem primária, e pode ser usado para evitar furtos ou para agrupar pacotes primários juntos.
- **Embalagem terciária ou de trânsito:** usado para movimentação a granel, armazenamento e transporte. A forma mais comum é uma carga unitária paletizada que embala firmemente em recipientes.

Segundo Jorge (2013), a seleção do sistema de embalagem para um dado produto depende de fatores como o tipo de produto, os requisitos de proteção, a vida útil requerida para o produto, o mercado a que se destina e o circuito de distribuição e venda, entre outros. Existem quatro tipos de materiais básicos para produção de embalagens: os plásticos, os metais, o vidro e a celulose-papel/papelão. Cada material apresenta aspectos positivos e negativos, com as principais características mencionadas no Quadro 2:

Quadro 2 - Principais materiais utilizados em embalagens e suas características.

Material	Tempo de degradação	Vantagens	Desvantagens
Metal (base aço)	10 anos	<ul style="list-style-type: none"> • Reciclável e fácil separação dos resíduos • Resistente a baixas e elevadas temperaturas • Boa resistência mecânica • Possibilidade de decoração • Elevada barreira a gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Interação química com o produto • Reutilização limitada • Não transparente
Metal (base alumínio)	200 a 500 anos	<ul style="list-style-type: none"> • Leve e resistente a baixas e elevadas temperaturas • Elevada barreira • Elevada resistência à sulfuração e moderada corrosão • Boa capacidade de formação • Flexível ou rígido • Possibilidade de combinação com papel ou plástico (laminados) • Reciclável 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos elevados de produção
Plástico	450 anos	<ul style="list-style-type: none"> • Leve • Inquebrável • Resistência mecânica e térmica relativa • Barreira e inércia relativa • Reciclável 	<ul style="list-style-type: none"> • Derivado do petróleo • Permeabilidade a odores e umidade
Vidro	Indeterminado	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte • Transparente com possibilidade de se tornar colorido • Elevada barreira • Várias formas e tamanhos • Possibilidade de fechamento entre as utilizações • Reutilizável e reciclável 	<ul style="list-style-type: none"> • Quebrável • Elevado peso
Papel	1 a 6 meses	<ul style="list-style-type: none"> • Várias espessuras e formatos • Combinação com vários materiais para formar produtos laminados ou revestidos • Resistente à baixa temperatura • Baixo preço • Reciclável 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa resistência mecânica • Baixa barreira • Falta inércia

Fonte: Adaptado de ABRE et al. (2016)

Outro material muito empregado em embalagens é o poliestireno expandido (EPS- Expanded Polystyrene). Usualmente conhecido como isopor, é um material resultante da polimerização de um derivado do petróleo em água, através de um

elemento expansivo. O EPS apresenta baixa condutividade térmica, sendo quimicamente inerte e resistente a óleos, água e ácidos. É muito utilizado nas bandejas de isopor, para embalar carnes, frutas, queijos, entre outros. Devido à sua característica de proteção ao conteúdo, as embalagens de poliestireno são também usadas para acondicionar ovos e chocolates (BARÃO, 2011).

Usado atualmente como embalagem ou material isolante em vários campos industriais do mundo, uma grande quantidade de EPS é consumida, sendo descartada como subproduto. Esse volume de EPS constitui uma grande preocupação pois, quando descartado de forma displicente nos aterros sanitários, prejudica na compactação do lixo e na decomposição de materiais biodegradáveis por meio da criação de camadas impermeáveis que impedem a troca de líquidos e gases gerados na biodegradação de matérias orgânicas. Adicionalmente, é de conhecimento notório que o EPS residual causa muitos problemas ambientais, especialmente a poluição da água e da terra, porque não pode ser decomposto na natureza (KAN, 2009; SILVA, 2013).

Similarmente às outras áreas, a embalagem acompanha a moda e as tendências culturais e ainda atende à expectativa de marketing do produto (construção da imagem, promoções), o que a torna uma mídia direta ao consumidor efetivo do produto.

No Brasil, o mercado de alimentos tem sido o alvo de grandes investimentos, sendo um dos setores que mais cresceram no país em 2019 (6,7%). Ao mesmo tempo, o mercado de embalagens passa pela mesma transformação e crescimento com a instalação de novas empresas, melhoria dos processos e uma produção 6,5% maior em 2019, faturando R\$ 80,2 bilhões. Os consumidores estão cada vez mais rigorosos, buscando embalagens mais funcionais em termos de comunicação de informações e mais facilidades para segurar, carregar e usar. Com a propagação da tecnologia, o principal diferencial tem sido a criatividade, no desenvolvimento de embalagens cada vez mais leves, práticas e eficientes atendendo às cobranças dos consumidores (SOUSA, 2012; ABIA, 2020; ABRE, 2020).

Outro desafio ligado ao desenvolvimento de tecnologias destinadas a embalagens é a gestão de resíduos sólidos. Plásticos de base petroquímica, como poliestireno (PS), poliamidas (PA), polietileno tereftalato (PET) e polietileno (PE) são amplamente utilizados nas embalagens de alimentos, devido às suas excelentes propriedades estruturais, performances, propriedades de barreira a gás ou água,

qualidades estéticas e custo. Porém, um atributo negativo é não serem considerados ecologicamente corretos, pois derivam de fontes não sustentáveis, visto que grande parte das embalagens de plástico usadas de forma convencional é derivada dos subprodutos gasosos do processamento de petróleo bruto, um recurso finito (HANANI, 2014).

Devido ao crescente consumo dentro da sociedade as empresas utilizam cada vez mais estratégias para conquistar o consumidor. Por outro lado, as indústrias de embalagens, além dos seus objetivos principais, estão adequando sua produção à medida que a preocupação com o meio ambiente aumenta, buscando processos e produtos sustentáveis. As embalagens sustentáveis surgem como uma ferramenta estratégica de marketing para divulgação da marca e produto, tornando-se um dos fatores que podem contribuir para decisão da compra. Dentre as estratégias mais utilizadas pela indústria de embalagens encontra-se a utilização de embalagens recicláveis, polímeros verdes e os biodegradáveis (LANDIM et. al., 2016).

2.1.1 Produção de Embalagens Biodegradáveis

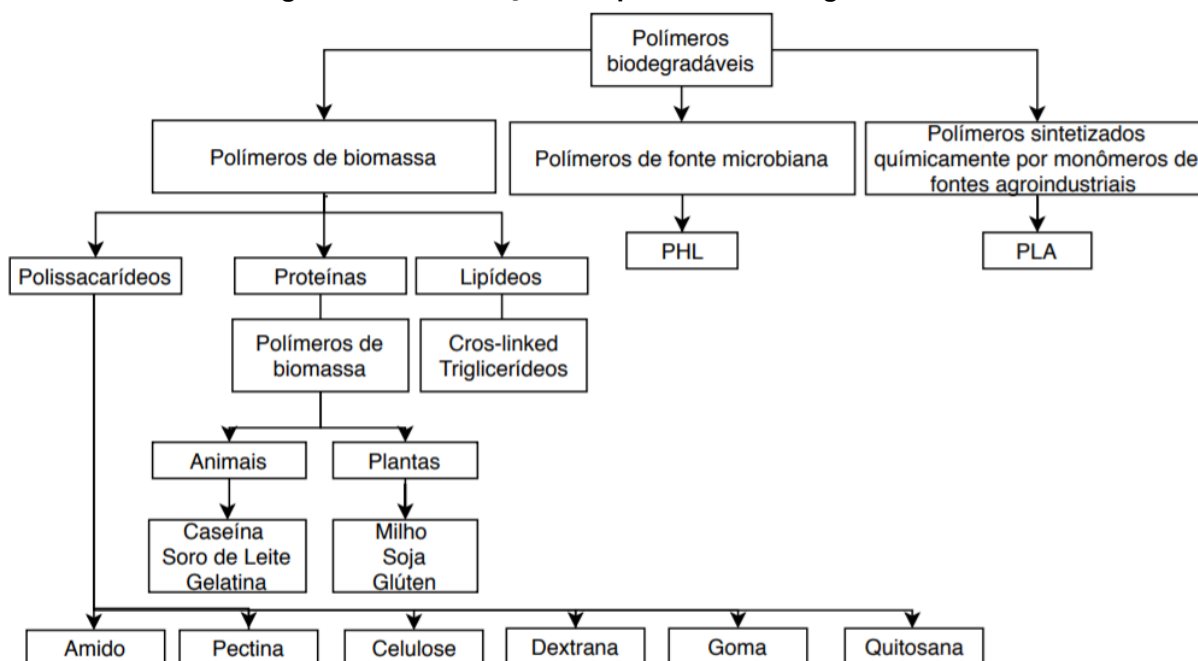
A gestão de subprodutos sólidos pode diminuir o impacto ambiental através de programas de reciclagem, incineração com reaproveitamento da energia gerada, reutilização e descartes em aterros sanitários. Além disso, visando reverter esse quadro, várias pesquisas estão sendo desenvolvidas para incrementar e/ou desenvolver materiais biodegradáveis que possam substituir, em algumas aplicações, os polímeros sintéticos (ENGEL *et al.*, 2019; ZANELA *et al.*, 2018; BALAKRISHNAN *et al.*, 2017).

Os principais requisitos para a produção de novos materiais biodegradáveis segundo Debiagi *et al.* (2013) são:

- (1) Ausência de toxicidade, bem como de seus produtos de degradação;
- (2) Propriedades mecânicas adequadas;
- (3) Processabilidade e
- (4) Baixo custo.

De acordo com Khan *et al.* (2016) os polímeros biodegradáveis são classificados em diferentes tipos com base em sua síntese e fontes, como se indica na Figura 2:

Figura 2 - Classificação dos polímeros biodegradáveis.



Fonte: Adaptado de Khan *et al.* (2016).

Entre os insumos passíveis de aplicação na produção de matéria-prima de embalagens biodegradáveis, os materiais de origem agrícola são os mais utilizados, pois além de baratos, estão disponíveis o ano todo e provêm de fonte renovável. Dentre esses, destaca-se o amido por ser um polímero natural com propriedades de formar filmes e espumas, quando gelatinizado e seco (CARR, 2007).

A falta da reutilização e reciclagem das embalagens pode ocasionar um problema ambiental, devido ao uso desordenado e descarte irresponsável destes subprodutos. Dentre as embalagens mais utilizadas, os plásticos convencionais são os mais descartados de forma inadequada no meio ambiente, podendo causar poluição de rios, mares e solo, sinteticamente derivados do petróleo e dificilmente degradados (LANDIM *et al.*, 2016)

Segundo Carr (2007), as embalagens derivadas de materiais biodegradáveis surgem como alternativa para a diminuição do impacto ambiental causado por essas embalagens convencionais. Dentre as principais vantagens destacam-se:

- Processo envolvendo somente a utilização de substâncias atóxicas;
- Matéria-prima proveniente de fontes renováveis;
- Alta biodegradabilidade, com processo total em cerca de trinta dias, sem deixar subprodutos.

Os polímeros biodegradáveis podem ser desenvolvidos a partir de fontes naturais renováveis como batata, milho, celulose, 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 e ao polihidroxibutirato-co-valerato, respectivamente, ou até mesmo serem derivados de fonte animal (quitina, a quitosana ou proteínas) (LANDIM *et al.*, 2016).

Segundo Wang *et al.* (2009) a conscientização dos problemas globais devido aos subprodutos plásticos aumentou a importância dos termoplásticos à base de amido, totalmente biodegradáveis e de natureza verde. Algumas das aplicações importantes do polímero de amido incluem a produção de papel e cartão, têxteis e adesivos (BALAKRISHNAN *et al.*, 2017).

Segundo Polat *et al.* (2013) esforços estão sendo feitos em escala mundial para desenvolver substitutos renováveis e biodegradáveis para embalagens de espuma de poliestireno expandido não biodegradável. No Quadro 3 estão apresentados estudos com o objetivo de desenvolver espumas à base de amido cozendo-as em um molde:

Quadro 3 - Estudos de desenvolvimento de espumas à base de amido.

Título	Amido	Fibra	Aditivos	Principais resultados	Autor
Effect of a natural polyphenolic extract on the properties of a biodegradable starch-based polymer	Amido de milho	Bagaço de uva	Copoliéster biodegradável baseado em diácidos e glicol	<ul style="list-style-type: none"> A adição do resíduo causava uma diminuição na viscosidade; Exerceu um efeito plastificante e influenciou a biodegradabilidade do polímero que se desintegrou mais tarde do que o com amido puro. 	Cerruti <i>et al.</i> , 2011.
The effects of the addition of corn husk fibre, kaolin and beeswax on cross-linked corn starch foam	Amido de milho não modificado	Fibra de casca de milho	Caulim e cera de abelha	<ul style="list-style-type: none"> O uso de aditivos aumentou a capacidade de formação de espuma das bandejas; A resistência à água das bandejas foi aumentada com mais sucesso; Combinações triplas de aditivos melhoraram as propriedades mecânicas; Fibra de casca de milho, caulim e cera de abelha são potenciais aditivos baratos para bandejas de espuma de amido. 	Polat <i>et al.</i> , 2013
Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil.	Amido de mandioca	Fibra kraft	Zeína, glúten, proteína de soja e óleo de palma	<ul style="list-style-type: none"> As propriedades das bandejas de espuma de amido de mandioca misturadas com kraft, zein e glúten foram melhoradas; O índice solúvel em água de espuma de zeína ou amido de glúten e mandioca diminuiu cerca de 79%; A resistência da espuma de amido desenvolvida foi maior que a espuma EPS e pode resistir à permeação de óleo; As bandejas de espuma de amido de mandioca podem ser embaladas em alimentos com pouca umidade. 	Kaisangsri <i>et al.</i> , 2014
Water barrier properties of starch films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from sugarcane bagasse	Amido de milho	Bagaço de cana	Glicerol	<ul style="list-style-type: none"> Nanocristais de celulose (CNC) foram obtidos a partir do bagaço da cana; Filmes de amido e amido / CNC foram formulados e suas propriedades de barreira à água foram testadas; A adição de CNC aumenta a hidrofobicidade da superfície dos filmes de amido; A incorporação do CNC melhora as propriedades de barreira à água dos filmes de amido; 	Slavutsky e Bertuzzi, 2014
Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made	Amido de mandioca	Bagaço de malte	Estearato de magnésio e	<ul style="list-style-type: none"> O bagaço de malte foi utilizado para produzir espumas biodegradáveis à base de amido de mandioca; O bagaço de malte foi distribuído homogeneamente por toda a matriz polimérica amorfa; 	Mello e Mali, 2014

from cassava starch			goma de guar	<ul style="list-style-type: none"> • A adição de bagaço a 10% diminuiu a higroscopicidade das espumas de amido; • A adição de bagaço em até 15% diminuiu a taxa inicial de adsorção de água das bandejas. 	
Preparation of Cassava Starch-based Trays with Glycerol, Sorbitol and Poly (Vinyl Alcohol): Properties and Influence for Use as Food Packaging	Amido de mandioca	-	Glicerol, sorbitol e poli (álcool vinílico)	<ul style="list-style-type: none"> • Os aditivos influenciaram principalmente as propriedades mecânicas e a hidrosopia das bandejas de espuma de amido; • A adição de PVA reduziu a capacidade de absorção de água da bandeja e resultou nos maiores valores de resistência à tração e alongamento; • Conforme demonstrado pelos dados de isoterma de sorção, a incorporação de PVA a 5% resulta em uma diminuição na umidade de equilíbrio das espumas de amido a umidade relativa <75%. 	Stoffel, 2015
Effect of concentrated natural rubber latex on the properties and degradation behavior of cotton-fiber-reinforced cassava starch biofoam	Amido de mandioca	Fibra de algodão	Látex	<ul style="list-style-type: none"> • O látex de borracha natural melhora a tolerância dimensional do bioespuma de amido de mandioca, melhora as propriedades do biofoam se aplicado em quantidade adequada, acelera a degradação térmica da celulose e retarda a degradação do bioforma de amido de mandioca. 	Sanhawong <i>et al.</i> , 2017
Effect of Broken Rice Flour Addition on Cassava Starch-Based Foams.	Amido de mandioca	Arroz quebrado	Goma de guar, estearato de magnésio e glicerol	<ul style="list-style-type: none"> • Espumas contendo arroz quebrado mostram menor espessura e maior densidade; • As propriedades mecânicas (tensão de tração e tensão máxima à flexão) são influenciadas positivamente pela adição de 10% (p / p) de arroz quebrado; • As espumas feitas a partir de formulações contendo arroz quebrado a 10% (p / p) demonstram maior tensão de tração e valores máximos de tensão à flexão em comparação com as espumas de controle. 	Machado <i>et al.</i> , 2018
Composites of thermoplastic starch foam reinforced with cellulose nanofibers:	Amido de milho nativo	Nanofibras de celulose	Glicerina, azodicarbon amida	<ul style="list-style-type: none"> • Os filmes em espuma de TPS e TPS / CNFs foram preparados usando o processo de extrusão; • As propriedades termo-mecânicas do TPS foram aprimoradas após a adição de CNFs; • Os resultados de TGA e DSC mostraram que a adição de CNFs pode melhorar a estabilidade térmica; 	Ghanbari <i>et al.</i> , 2018

Thermal and mechanical properties				<ul style="list-style-type: none"> As imagens de MEV mostraram que a dispersão de CNFs na matriz era uniforme com superfície lisa. 	
Oat Fiber as Reinforcement for Starch/Polyvinyl Alcohol Materials Produced by Injection Molding	Amido de mandioca	Aveia	PVA e glicerol	<ul style="list-style-type: none"> Todos os materiais têm boa processabilidade, e a resistência à tração, módulo de Young e alongamento na ruptura variam de 4,7 a 5,5 MPa, 7,1-12,4 MPa e 180-260%, respectivamente; O tipo de amido (nativo ou catiônico) não influencia as propriedades do material biodegradável; A fibra de aveia apresenta boa dispersão e compatibilidade com a matriz polimérica, 	Zanela <i>et al.</i> , 2018
Effect of peroxide oxidation on the expansion of potato starch foam	Amido de batata oxidado	Fibras de madeira	Quitosana	<ul style="list-style-type: none"> O amido foi oxidado com peróxido de hidrogênio. As análises de RMN e FTIR confirmaram diferentes graus de oxidação. A oxidação causa cisão da cadeia que diminui a viscosidade da pasta. A oxidação produz grupos carboxila que neutralizam a cisão da cadeia por baixa oxidação. A oxidação melhora a expansão da espuma de amido devido à diminuição da viscosidade da pasta. 	Barbosa <i>et al.</i> , 2019
Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species	Amido isolado de batatas e batata doce	-	Glicerol e estearato de magnésio	<ul style="list-style-type: none"> Amidos de batata doce, oca e arracacha foram utilizados para produzir bandejas de espuma pelo processo de termopressagem. O amido de arracacha produz bandejas de espuma com baixa densidade, boa resistência mecânica e estabilidade térmica. As bandejas de batata doce e espuma de oca apresentaram maior resistência mecânica. 	Cruz-Tirado <i>et al.</i> , 2019
Development of biodegradable starch-based foams incorporated with grape stalks for food packaging	Amido de mandioca	Caules de uva	Goma de guar estearato de magnésio	<ul style="list-style-type: none"> Os caules de uvas Cabernet Sauvignon foram incorporados em espumas à base de amido de mandioca; A biodegradabilidade e aplicabilidade das espumas como embalagens de alimentos foram analisadas; As estruturas desenvolvidas são adequadas para a embalagem de alimentos com baixo teor de umidade. 	Engel <i>et al.</i> , 2019
Study of interactions between cassava	Amido de mandioca	Casca de amendoim	Glicerol, goma guar e estearato	<ul style="list-style-type: none"> Resultados da análise mecânica mostraram que a adição de casca de amendoim reduziu a rigidez devido ao aumento da mobilidade das cadeias de amido; 	Machado <i>et al.</i> , 2020

starch and peanut skin on biodegradable foams			de magnésio	<ul style="list-style-type: none">• A adição de pele de amendoim não influenciou o estresse tênsil e o módulo de Young, mas reduziu a tensão tênsil das espumas;• As espumas com adição de pele de amendoim foram menos hidrofílicas do que as espumas CS, o que amplia a aplicação desses materiais.	
---	--	--	-------------	--	--

Fonte: Autoria própria.

Embora os bioplásticos continuem sendo um nicho com apenas 1% da produção total de plástico, há um movimento em direção à sua implantação mais ampla. O mercado global de plástico biodegradável deverá atingir US \$ 6,73 bilhões até 2025, diante US\$ 3,02 bilhões em 2018. O principal fator para esse aumento é devido à crescente demanda por polímeros biodegradáveis em economias emergentes, como Índia, Brasil e China. Algumas das principais empresas do mercado mundial são Novamont SPA, Metabolix Inc., BASF SE, Natureworks LLC, Corbion Purac, Cardia Bioplastics, Biome Technologies PLC, Toray Industries Inc., Evonik Industries, El du Pont de Nemours e Company. Outros incluem Polímeros BioApply, NatureWorks LLC, BioSphere Plastic, Dow Plastics, Cereplast, Solvay SA, Techno-Polymer Company Limited e RTP Company (GRAND VIEW RESEARCH, 2019).

2.2 BATATA E O SUBPRODUTO DA SUA INDUSTRIALIZAÇÃO

Nativa da América do Sul, mais especificamente da Cordilheira dos Andes, a batata (*Solanum tuberosum* L.) foi consumida por populações nativas em tempos remotos há mais de 8.000 anos. Foi introduzida na Europa antes de 1520, onde alguns governantes impuseram medidas para sua difusão por este continente. Com a colonização realizada pelos países europeus, esse tubérculo passou a ser conhecido e consumido também em outros continentes e atualmente apresenta-se como a quarta cultura agrícola na ordem de importância mundial, atrás dos cereais trigo, arroz e milho (SALLES, 2001; ABBA, 2018; BÁRTOVÁ, 2015).

Observa-se um grande aumento nos níveis de produção de batata na América Latina e Ásia, sendo que este continente em 2018 apresentou a maior produção mundial, com destaque para China (maior produtora) e Índia, que juntas plantam quase um terço da batata consumida no mundo (FAOSTAT, 2020).

Mundialmente, o Brasil ocupa a décima quinta posição entre os países produtores, sendo o primeiro na América Latina. A cultura é considerada um dos dez principais produtos agrícolas e a hortaliça mais importante para a economia nacional. Na safra de 2017, ultrapassou os 79 milhões de hectares de área plantada e 4 milhões de toneladas produzidas. As principais variedades de batata produzidas no Brasil e comercializadas na CEAGESP são 'Ágata', 'Asterix', 'Bintje', 'Markies', 'Cupido', 'Baraka', 'Caesar', 'Monalisa' e 'Mondial' (IBGE, 2018; FAO, 2008; AROGI e ALBUQUERQUE, 2014).

A cultura da batata atrai um elevado montante de mão de obra, cerca de 20 pessoas/ha/ano, e tem um dos custos de produção mais caros por área (US\$ 5 a 6 mil/ha), sendo uma atividade com grande relevância sócio econômica para as regiões produtoras. Para os pequenos produtores, a batata também está se transformando rapidamente em valiosa fonte de renda, sendo um seguro contra as turbulências do mercado e proteção para a segurança alimentar (AMARAL, 2015).

Destinada tanto para alimentação quanto como fonte de amido de alta qualidade, é um alimento fundamentalmente energético, rico em proteínas e importante fonte de sais minerais. Recém-colhida, contém cerca de 80% de água e 20% de matéria seca, sendo a maior parte amido. Em massa seca, o teor de proteína da batata é semelhante ao de outros cereais e muito alto em comparação com outras raízes e tubérculos. As proteínas da batata apresentam alta funcionalidade e valor nutricional, sendo consideradas uma das melhores proteínas vegetais, além de apresentarem boas propriedades de formação de espuma e emulsão. Essas, são passíveis de utilização em aplicações alimentícias se recuperadas em forma nativa com alta qualidade e isoladas por métodos que não resultam em desnaturação (EMBRAPA, 2018; FAO, 2008; DABESTANI, 2017).

Além disso, a batata apresenta baixo teor de gordura, sendo rica em vários micronutrientes, como vitamina C, B1, B3 e B6 e minerais como potássio, fósforo e magnésio, além de folato, ácido pantotênico e riboflavina. Também contém antioxidantes alimentares, que podem desempenhar um papel na prevenção de doenças relacionadas ao envelhecimento e fibra dietética, com benefícios à saúde (FAO, 2008).

Mais de 50% da batata produzida é comercializada fresca, utilizada nas formas tradicionais de consumo sendo assadas, cozidas ou fritas, podendo ainda participar como ingrediente de inúmeras receitas (EMBRAPA, 2018).

No entanto, a alteração dos hábitos alimentares da população tem levado as indústrias a produzirem alimentos com maior conveniência e praticidade para atender a essa tendência de mercado. O processamento mínimo tem sido uma das alternativas para agregar valor à batata produzida no Brasil, vindo a reduzir a importação do produto congelado (EMBRAPA, 2018; VITTI, 2010).

O processo de industrialização é considerado uma possibilidade para agregação de valor aos produtos primários e redução de desperdícios. Dos tubérculos colhidos, entre 20 a 50% pertencem às classes 1^a/especialzinha, comercializadas por

um preço 40 a 50% inferior ao da classe mais aceita pelo consumidor. Esses tubérculos, de baixo valor comercial para o mercado fresco, podem ser aproveitados para elaborar produtos minimamente processados, o que agrega valor e aumenta o retorno econômico e a sustentabilidade econômica da cadeia produtiva da batata (LOVATTO *et al.*, 2012).

Uma porção considerável é transformada em produtos industrializados, como batatas fritas (chips ou palha), pré-fritas e pré-cozidas. Um dos mercados em grande expansão é o de batatas descascadas, cozidas a vapor, embaladas a vácuo e dentro da embalagem, esterilizadas em autoclave, por serem produtos com alto valor agregado, que satisfazem uma necessidade dos consumidores, com reduzido tempo de preparação e longa vida de prateleira (LOVATTO *et al.*, 2012; Embrapa, 2018).

Em alternativa, os produtos obtidos a partir da desidratação, assim como, farinha, amido, fécula e flocos desidratados estão sendo empregados como agentes espessantes na indústria alimentícia. Países como Rússia e os da região da Escandinávia utilizam processos de fermentação e destilação, para fabricação de bebidas alcoólicas como vodka e akvavit. Na indústria não alimentícia, a fécula de batata é utilizada como enchimento pela indústria farmacêutica, como adesivo pela indústria têxtil, como aglutinante pela indústria de madeira e como agente de textura na indústria de papel. Na fabricação de plástico biodegradável, o amido de batata pode ser empregado para produção de poliestireno, que gera produtos biodegradáveis descartáveis (EMBRAPA, 2018).

O processamento industrial de batata favorece a disponibilidade de uma série de produtos que beneficiam a alimentação humana; entretanto, também gera uma grande quantidade de subprodutos como as cascas e a polpa residual (BASTOS-NETO *et al.*, 2012). O subproduto de batata consiste principalmente de amido, celulose, hemicelulose e pectina. Subprodutos de batata, como a casca, são ricos em amido, que pode ser liquefeito e fermentado para gerar álcool combustível. O subproduto da batata também pode ser empregado para alimentação (ZHANG, *et al.* 2015; EMBRAPA, 2018).

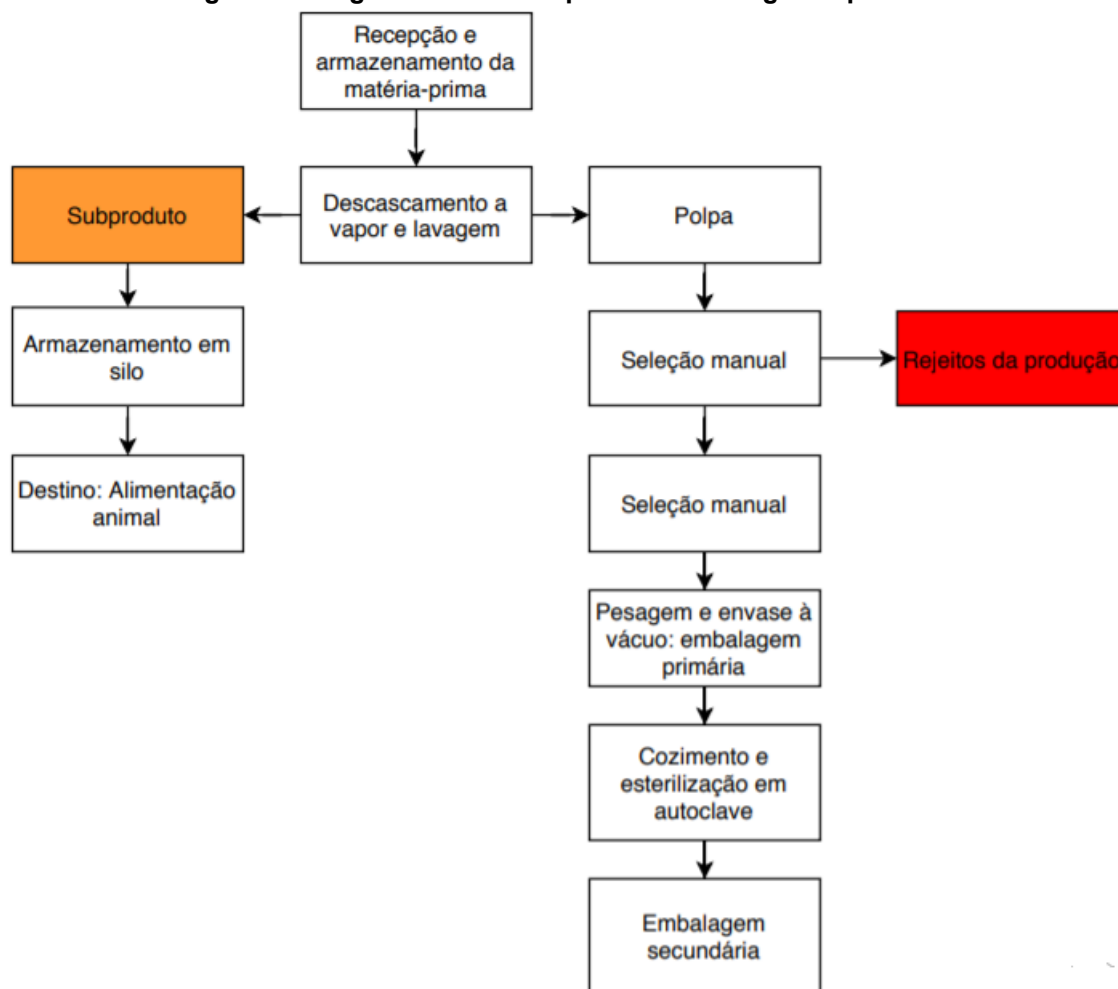
O setor agroindustrial há muito tempo tem colaborado para o crescimento econômico do país; em contrapartida, contribui sistematicamente para a geração de grandes quantidades de subprodutos. Seu manejo inadequado pode contaminar o solo, ar e corpos hídricos, criando problemas ambientais.

As indústrias de processamento de alimentos, dentre as quais podem ser incluídas as indústrias de fabricação de batatas, geram enorme volume de cascas, caroços, talos, polpa dentre outros, além de ocasionarem potenciais problemas ambientais devido à sua deterioração microbiana, bem como perdas de matérias-primas e energia, exigindo investimentos em tratamentos para controlar a poluição (WU, 2016; BASTOS- NETO, 2012).

Atualmente, a mudança gradativa no padrão de consumo da batata, onde se passa a consumi-la de formulações frescas para processadas (por exemplo, purê de batatas, batatas fritas, cozidas) é resultante da necessidade dos consumidores de uma alimentação rápida. Isso resultou em problemas ambientais associados aos subprodutos gerados por tais processos de fabricação (AMADO, et. al, 2014). Esses subprodutos são importantes fontes de poluição, devido à alta concentração de contaminantes orgânicos, como o amido, lipídios, sacarídeos, proteínas e outras substâncias solúveis (WANG *et al.*, 2009).

Devido a que quase nenhum processamento de alimentos derivado de batata pode ser iniciado sem a remoção das cascas, a geração de subproduto dessa fração é inevitável. O processamento industrial gera entre 70 e 140 mil toneladas/anual de cascas mundialmente (CHANG, 2011). A industrialização da batata cozida a vapor resulta em uma quantidade significativa de subprodutos, incluindo cascas e polpas, passíveis de serem aproveitados (PEREIRA, 2009). Na Figura 3, está apresentado o Diagrama da Cadeia Produtiva de Vegetais Processados, destacando em vermelho os pontos de geração de subproduto descartados pelo processo.

Figura 3 - Diagrama da cadeia produtiva de vegetais processados.



Fonte: Adaptado de Pereira *et al.* (2009); Nascimento (2017).

O problema dos subprodutos causa grande preocupação para as indústrias de batatas, o que implica a necessidade de identificar uma solução integrada e ambientalmente amigável (CHEN, 2012).

As estratégias convencionais para o subproduto de cascas de batata estão focadas na produção de alimentos de baixo valor destinados a animais, fertilizantes, compostagens ou biogás, com desperdício de variados materiais nutritivos e fonte potencial de compostos funcionais e bioativos, incluindo não apenas antioxidantes, mas também pigmentos, fibras alimentares, vitaminas e minerais (WU, 2016; NELSON, 2010; AMADO, 2014).

Com o aumento do número de indústrias de processamento de batatas e de sua produção, a utilização completa da matéria-prima mostra cada vez mais importância para a demanda urgente de redução de subprodutos e liberação da pressão ambiental desses (WU, 2016). Portanto, os usos alternativos dos fluxos de subprodutos de processamento de alimentos para bioprodutos de valor agregado

prometem uma solução para o gerenciamento por redução, reutilização e recuperação.

Segundo Peelman (2013), o amido é um recurso natural biodegradável amplamente disponível e fácil. Para produzir um filme à base de amido de plástico, são necessários altos teores de água ou plastificantes (glicerol, sorbitol). Esses materiais quando plastificados (aplicação de energia térmica e mecânica) são chamados de amido termoplástico (TPS) e constituem uma alternativa para o poliestireno (PS).

Os materiais termoplásticos à base de amido (por exemplo, misturas de TPS com componentes poliméricos sintéticos / biodegradáveis, como policaprolactona, álcool polietileno-vinílico ou álcool polivinílico) têm sido aplicados com sucesso em nível industrial para aplicações de espuma, sopro de filme, moldagem por injeção, moldagem por sopro e extrusão (BASTIOLI, 1998, CHIVRAC, POLLET & AVÉROUS, 2009, JOSHI, 2008, MENSITIERI *et al.*, 2011; WEBER, 2000).

2.3 ESPUMAS A BASE DE AMIDO

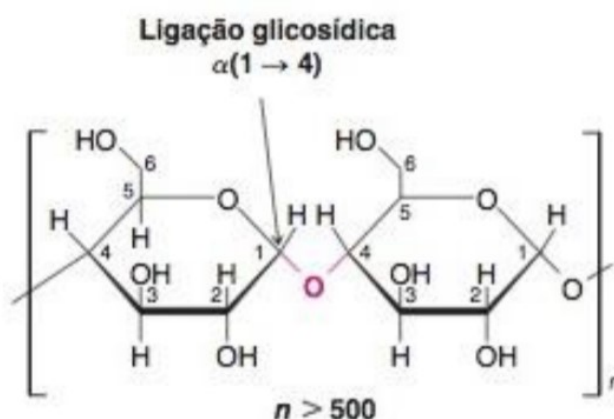
A aplicação do amido como substituto de materiais à base de petróleo está se tornando cada vez mais atraente, devido a ser obtido a partir de fontes naturais renováveis com baixo custo, abundante, biodegradável e não tóxico. Como citado anteriormente no Quadro 3, um campo de aplicação abrange os materiais de espuma, como embalagens e recipientes descartáveis, isolamento, amortecimento, componentes de móveis de baixa densidade e bandejas para alimentos (BARBOSA *et al.*, 2019).

2.3.1 Amido

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 e 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, 2013).

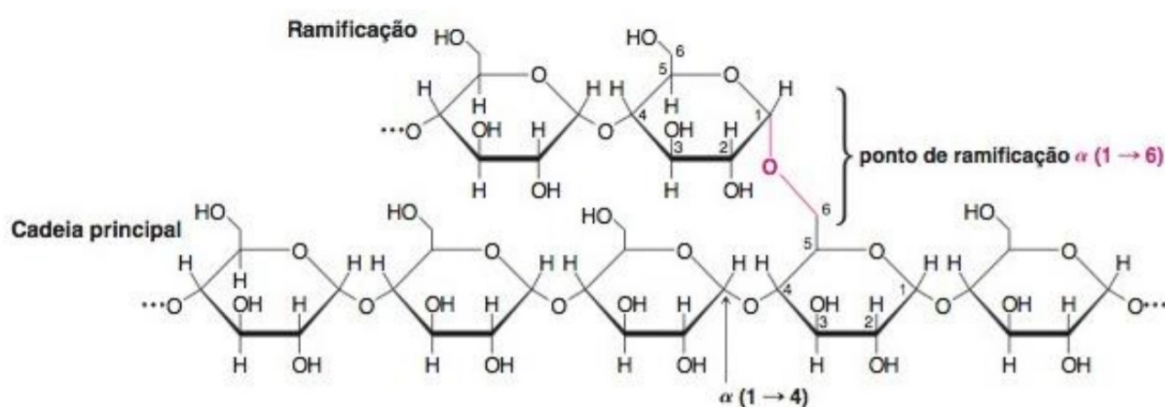
O amido encontrado principalmente em cereais, legumes, tubérculos e raízes compõe a mais importante reserva de energia das plantas superiores, sendo que sua parcela na composição total da planta é de aproximadamente 60 a 75% do seu peso. Constituído principalmente por dois componentes: amilose, um polímero de unidades de D-glicose ligadas por ligações α -1,4 e amilopectina, um polímero altamente ramificado de unidades de D-glicose também vinculado por ligações α -1,4 e pontos de ramificação resultante de ligações α -1,6 (BARBOSA *et al.*, 2019). Suas estruturas químicas estão representadas nas Figuras 4 e 5 respectivamente:

Figura 4 - Estrutura química parcial da amilose.



Fonte: Solomons e Gryhle (2012).

Figura 5 - Estrutura química parcial da amilopectina.



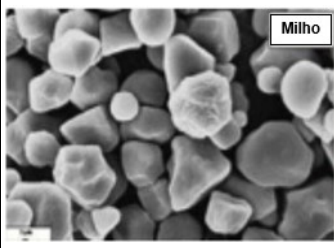
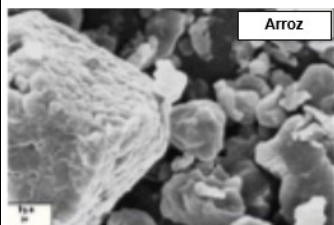
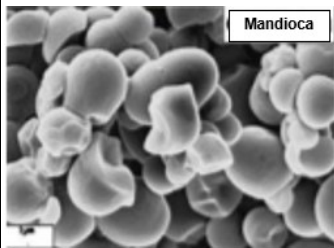
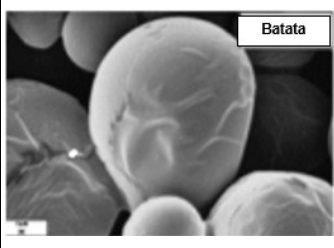
Fonte: Solomons e Gryhle (2012).

Embora a proporção amilose-amilopectina varie dependendo da fonte botânica, o amido geralmente contém 20 a 30% de amilose e 70 a 80% de amilopectina. Os grânulos de amido também podem conter em pequenas quantidades

proteínas, lipídios, minerais (cálcio, magnésio, potássio, fósforo e sódio) e cinzas, que podem afetar suas propriedades funcionais (BARBOSA *et al.*, 2019).

A Figura 6 apresenta algumas diferenças de morfologia entre alguns tipos de amido:

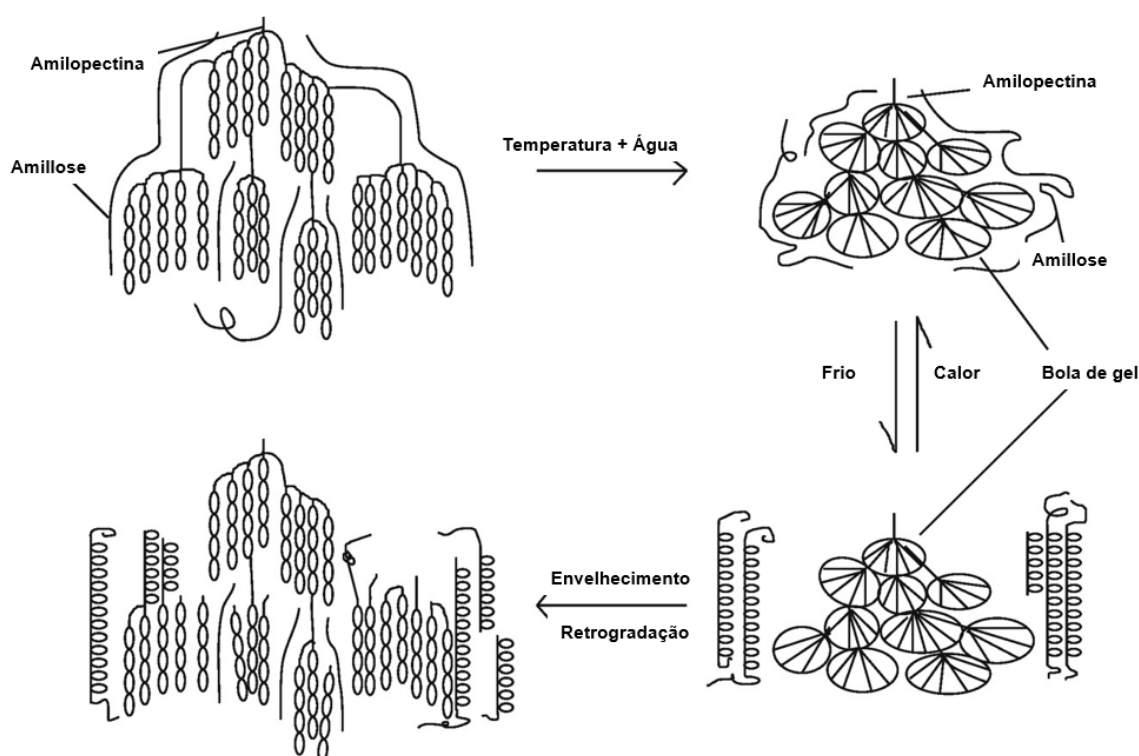
Figura 6 - Morfologia granular de alguns tipos de amido.

Fonte	Forma do Grânulo	Diâmetro (µm)	Amilose (%)	Amilopectina (%)	Lipídeos (mg/100g de amido seco)
Milho		5-26	28	72	796
Arroz		3-8	30	70	760
Mandioca		5-30	18	82	188
Batata		15-100	18	82	107

Fonte: Teixeira (2007).

Segundo Carr (2007), o amido apresenta-se praticamente insolúvel em água fria, sendo capaz de absorver até 30% do seu peso, com pequeno aumento do volume dos grãos. Quando aquecido e em presença de excesso de água, as ligações mais fracas de pontes de hidrogênio entre as cadeias de amilose e amilopectina são rompidas e os grânulos de amido começam a absorver água, aumentando o volume dos grãos. Esse processo é conhecido como gelatinização e a temperatura de ocorrência deste processo é chamada de temperatura de gelatinização (T), também dependente da origem botânica do amido (entre 60 °C a 75 °C). Com a gelatinização, há um aumento da viscosidade do meio, quando atinge sua (T) máxima os grânulos são totalmente quebrados e as regiões cristalinas gel desaparecem (COULTATE, 2002; PENG *et al.*, 2007). Este processo está ilustrado na Figura 7 a seguir:

Figura 7 - Processamento e envelhecimento térmico de amido.



Fonte: Adaptado de Khan *et al.* (2016).

Pesquisas e desenvolvimentos na área de materiais à base de amido estão sendo realizados, onde produtos e aplicações de amido estão surgindo constantemente. Por exemplo, podem ser citados: usos em embalagens e recipientes descartáveis ou descartáveis, materiais de amortecimento e isolamento, painéis de espuma, materiais de construção, filmes para cobertura morta, matriz de encapsulamento e liberação controlada, dermatologia e cosméticos, filtro de fumaça

de cigarro, componente de calçados, adesivos de madeira e micropartículas usadas na apicultura (SOYKEABKAEW *et al.*, 2006).

A extrusão tem sido usada convencionalmente nas últimas décadas para a fabricação de materiais de espuma de baixa densidade com agentes expansores físicos, usando uma variedade de polímeros incluindo PS, PVC não plastificado, PE, PP e PLA (ácido polilático) recentemente (KAISANGSRI *et al.*, 2014; SOYKEABKAEW *et al.*, 2015; TEIXEIRA *et al.* 2009).

2.3.2 Aditivos para a produção de embalagem

Várias abordagens foram investigadas com o objetivo de superar as limitações do amido que inerentemente é bastante quebradiço e sensível à água. Plastificantes são comumente adicionados ao amido para melhorar a flexibilidade do produto de espuma (SOYKEABKAEW *et al.*, 2006). Com a finalidade de alterar a propriedade do material e de conferir estabilidade durante o processamento, precisam ser eficientes em sua função, estáveis nas condições de processamento, possuir fácil dispersão, serem atóxicas e de baixo custo (CARR, 2007).

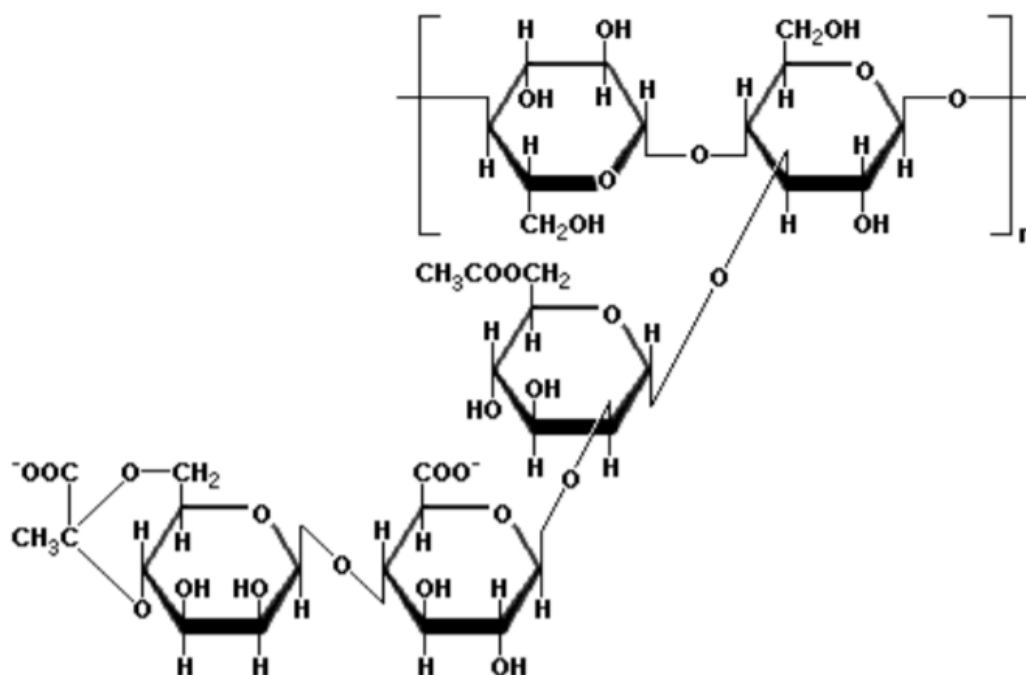
2.4 GOMA XANTANA

Convencionalmente, as gomas se originam de uma grande variedade de plantas, sendo um termo comum para géis hidro-polissacarídeos coloidais que têm afinidade e apresentam propriedades de ligação com água e outros materiais orgânicos / inorgânicos. Quimicamente, as gomas são polímeros de carboidratos ou polissacarídeos, presentes em todas as formas de vida e com várias propriedades químicas e físicas únicas. Esses componentes servem como material estrutural para o reino vegetal, como reservas de energia, adesivos e também agentes de transferência de informações. Além dos originários de plantas, existem os polissacarídeos microbianos compostos por unidades regulares de repetição de açúcares simples, como glicose, manose, frutose, entre outros (PALANIRAJ, 2011).

A goma xantana é um biopolímero microbiano natural, considerado um heteropolissacarídeo extracelular resultante da fermentação aeróbica submersa de cultura pura do gênero *Xanthomonas*. Esse componente é constituído por repetidas

unidades pentassacarídicas (Figura 8), sendo duas unidades de β -D-glicose unidas por ligação 1-4 formando a cadeia principal; a cadeia lateral é composta de β -D-manose-1,4- β -D-ácido glicurônico-1,2- α -D-manose (FITZPATRICK *et al.*, 2013).

Figura 8 - Estrutura principal da goma xantana.



Fonte: Rosalam e England (2006).

Descoberta em meados de 1950, tornou-se invenção, inovação e provocou grande interesse no mundo científico e industrial com aplicação nos segmentos de alimentos, fármacos, cosméticos, químico e de petróleo principalmente devido ao seu grande potencial biotecnológico. Sem características tóxicas, pode ser obtida com baixo custo em grandes quantidades, o que determina a sua importância para os processos industriais (BRANDÃO, 2012; LOPES *et al.* 2015).

Xanthomonas spp. é um microorganismo estritamente aeróbico, ou seja, o oxigênio é um nutriente essencial tanto para o seu crescimento como para a produção de xantana. Este processo é relativamente caro devido à utilização de glicose e / ou sacarose como a única fonte de carbono. Porém, existe a possibilidade de obter a fonte de carbono dos subprodutos e subprodutos da agricultura, reduzindo custos de produção e incentivando a reutilização de subprodutos (LOPES *et al.* 2015).

Segundo o mesmo autor, há uma alta demanda industrial de goma xantana, consumida pelas indústrias de cosméticos, farmacêuticos, têxteis, petróleo e, especialmente, a indústria de alimentos usado como aditivo.

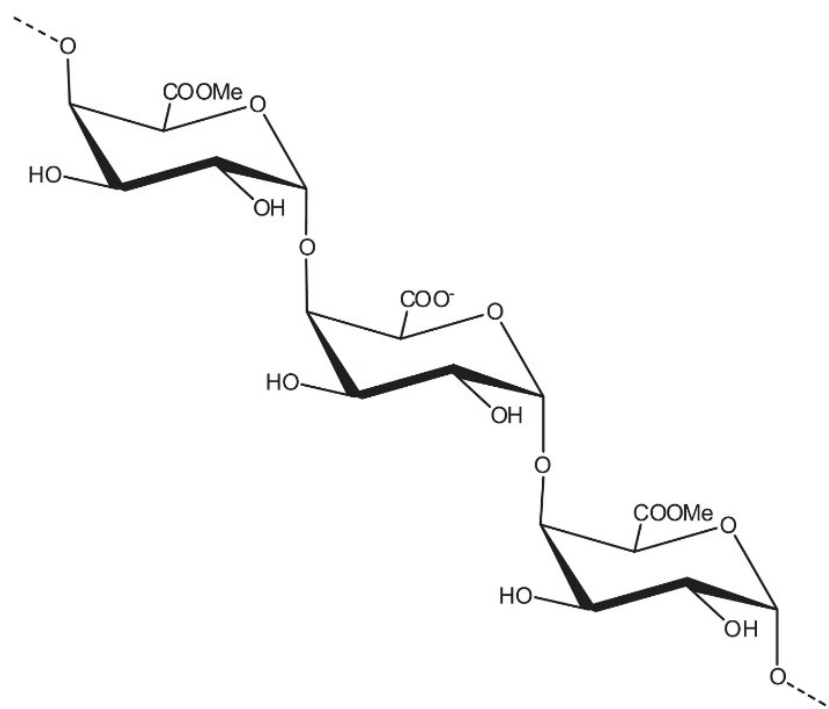
É amplamente aplicada na indústria alimentícia por ser um espessante eficiente, ter a viscosidade da solução aumentada mesmo a uma concentração muito baixa, em solução aquosa apresentar comportamento pseudoplástico, possuir alta estabilidade em uma ampla faixa de pH, de temperatura e de força iônica e ser estável sob cisalhamento durante o processamento e embalagem. A combinação da goma com amidos e outros agentes plastificantes têm sido utilizada no desenvolvimento de filmes, melhorando características de estabilidade, gelatinização e retrogradação (PETRI, 2015; GOMES, 2014).

Quanto à sua segurança, o uso em alimentos foi aprovado pelo *Food and Drug Administration* (FDA) em 1969, e baseia-se principalmente em suas propriedades reológicas únicas que permitem a formação de soluções viscosas em baixas concentrações e estabilidade em um amplo intervalo de pH e temperatura (BORGES, 2008).

2.4.1 Pectina

A pectina é um composto solúvel em água que se polimeriza na forma de películas por moldagem e secagem e pode servir como matriz para a produção de filmes biodegradáveis e comestíveis. Polissacarídeo natural, extraído de frutas cítricas e de maçã em escala industrial, é amplamente utilizado na indústria de alimentos por suas propriedades gelificantes e estabilizantes. Esse polímero é constituído por um esqueleto de ácido galacturônico com 1 a 4 ligações interrompidas por resíduos de L-ramnose; com cadeias laterais constituídas por açúcares neutros, principalmente D-galactose e L-arabinose (SCHOLS e VORAGEN, 1996; SOUZA, 2017). A Figura 9 ilustra a estrutura básica simplificada da pectina, indicando a metoxilação em alguns dos ácidos galacturônicos.

Figura 9 - Representação esquemática da cadeia de ácido poligalacturônico.



Fonte: Souza et al. 2017

A pectina possui característica formadora de soluções gelificantes, com capacidade de retenção de água, estabilizando as suspensões aquosas, porém com baixa viscosidade. Seu uso é favorável, uma vez que apresenta baixo custo de obtenção, sendo um dos espessantes mais economicamente viáveis do mercado (MARUYAMA *et al.* 2006).

A literatura apresenta estudos de pectina para aplicação em embalagens de alimentos. Esses mostram sua excelente barreira ao oxigênio, óleo e aroma e boas propriedades mecânicas, mas baixa resistência à umidade. Esse polímero é biocompatível, atóxico e totalmente degradado por bactérias exibindo elevada biocompatibilidade e biodegradabilidade (SOUZA, 2017; JEEVAHAN, 2017). A pectina é um polímero comestível reconhecida como segura para o consumo humano (GRAS - generally recognized as safe) pela FDA (Food and Drug Administration - USA) (FDA, 2013).

2.4.2 Fibra natural

Os grãos integrais de cereais contêm uma quantidade substancial de fibra alimentar, estando associado a muitos benefícios à saúde. Consideradas fonte de

fibra alimentar, a cevada e a aveia são a fonte mais rica de componentes de fibra solúvel, especialmente o β -D-glucano (AHMAD *et al.*, 2010).

A fibra natural está se revelando como um material alternativo para substituir os produtos à base de petróleo, sozinhos ou combinados com outros materiais, na produção e na melhoria de propriedades mecânicas de materiais verdes (EDHIREJ *et al.*, 2017).

Segundo Soykeabkaew *et al.* (2006) diversas fibras lignocelulósicas naturais como juta, linho, álamo tremedor, milho, madeira macia, celulose de eucalipto, polpa kraft, bagaço de cana de açúcar, linter de algodão, cânhamo, α -celulose e farelo de trigo, além de alguns nanofillers, como argilas e nanoceluloses, têm sido aplicadas para reforçar espumas de amido.

As vantagens das fibras naturais, como baixo custo, baixa densidade, disponibilidade, sustentabilidade, reciclabilidade e biodegradabilidade, fazem delas uma área de pesquisa interessante e esforços consideráveis estão sendo feitos para aproveitar todo o seu potencial (VERCELHEZE *et al.*, 2012).

A aveia (*Avena sativa* L.) continua sendo uma importante cultura de cereais em todo o mundo em desenvolvimento e para usos especializados em economias desenvolvidas, sendo usada para alimentação humana e ração animal. Em geral, o uso de grãos de aveia como ração animal tem diminuído constantemente, o que pode estar associado a um uso emergente e ao interesse na aveia como alimento natural para a saúde. A quantidade de aveia usada para consumo humano aumentou devido aos benefícios alimentares associados aos fitoquímicos, como os β -glucanos, presentes no grão (TIWARI e CUMMINS, 2009). Segundo os mesmos autores o β -glucano de aveia é um componente viscoso e solúvel da fibra alimentar, com benefícios potencialmente positivos para a saúde e nutrição humana em termos de redução dos níveis de colesterol e glicose no sangue.

O amido é o principal componente do grão de aveia, podendo alcançar até 65% de seu peso seco. Está localizado em maior quantidade no endosperma, seguido por pequenas porções do germe e aleurona. Quimicamente, é constituído de amilose (2 a 38%), amilopectina (20 a 30%), lipídeos (0,7-2,5%) e proteínas (0,02-1%). A amilose presente no amido de aveia é um polímero linear e devido a sua linearidade, apresenta tendência a se orientar paralelamente em solução, o que facilita a formação de ligações de hidrogênio com hidroxilas de 21 polímeros adjacentes. No entanto, a

afinidade com a água é reduzida, o que pode proporcionar a formação de pastas opacas e filmes resistentes (DOEHLERT *et al.*, 2013; COSTA, 2018).

Segundo Zanela *et al.* (2018) a fibra de aveia deriva do processamento extraída das camadas externas do grão. Essas fibras apresentam baixos valores comerciais e nutritivos, sendo utilizadas principalmente como fonte energética (queima) em caldeiras industriais. No entanto, esse material pode ser usado como reforço de materiais biodegradáveis produzidos por moldagem por injeção, e estudos anteriores demonstraram o uso potencial da fibra de aveia em materiais biodegradáveis.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo deste capítulo será apresentar as técnicas e procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento de uma embalagem de espuma à base do subproduto da industrialização da batata (*Solanum tuberosum* L.).

Para melhor compreensão dos caminhos percorridos para a realização da pesquisa, a seção material e métodos foi dividida em etapas sintetizadas no Quadro 4.

Na sequência cada etapa será fundamentada de acordo com a literatura e os métodos apresentados de forma detalhada.

Quadro 4 - Etapas dos materiais e métodos

ETAPA	ATIVIDADE	BREVE DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO	OBJETIVOS A SEREM ATENDIDOS (GERAL E ESPECÍFICOS)
1ª Etapa	Revisão teórica Revisão sistemática da literatura	i. Definição da pergunta de partida; ii. Identificação dos fatores chaves em desenvolvimento de embalagens biodegradáveis iii. Revisão de literatura utilizando as palavras-chave: embalagens, espumas a base de amido, resíduo de batata, iv. Busca em bases de patentes.	Desenvolver um material para embalagem biodegradável a partir de subprodutos da industrialização da batata (<i>Solanum tuberosum L.</i>). O.E. 1: Realizar o levantamento das espumas a base de amido desenvolvidas
2ª Etapa	Obtenção e caracterização o físico-química do subproduto da industrialização da batata em base seca	i. Descrição da empresa que cedeu o subproduto e etapa de sua obtenção; ii. Análises de rendimento, umidade, cinzas, proteínas, fibra alimentar total; carboidratos disponíveis, valor energético, amido; fenóis totais, parâmetros de cor.	O.E. 2: Caracterizar o subproduto da batata e apontar possíveis aplicações
3ª Etapa	Desenvolvimento de embalagem biodegradável tipo espuma	i. Obtenção das espumas; ii. Testes de formulações.	O.E. 3: Testar diferentes protocolos e formulações para a obtenção de uma embalagem biodegradável; O.E. 4: Investigar a influência de diferentes plastificantes na espuma nas mesmas concentrações; O.E. 5: Verificar a influência da quantidade de fibra natural na formulação do produto final;
4ª Etapa	Caracterização física e estrutural da espuma	i. Testes de caracterização da espuma: solubilidade, índice de absorção de água, atividade de água, densidade, análises mecânicas, parâmetros de cor, biodegradabilidade	O.E. 6: Analisar as características físicas e estruturais das embalagens produzidas; O.E. 7: Verificar o potencial de biodegradabilidade da embalagem por perda de massa; O.E. 8: Propor alternativas de uso sustentável dessa embalagem, em substituição a produtos com alto impacto ambiental

Fonte: Autoria própria

3.1 ESTADO DA ARTE

O desenvolvimento de embalagens tipo espuma desenvolvidas com amido proveniente de atividades desenvolvidas por indústrias, especificamente a relacionadas ao processamento de batatas foi investigada mediante um levantamento na literatura de teorias e práticas relevantes seguindo uma revisão sistemática da literatura.

Inicialmente foram definidas as palavras-chave: “packing”, “starch foam”, “biodegradable”, “potato peel waste” “xantana” “oats”. A seguir definiu-se a combinação dos cinco termos para selecionar os artigos nas bases científicas:

Quadro 5 - Palavras-chave e combinações

Palavras-chave em Português	Combinações	Palavras-chave em Inglês	Combinações
“Embalagem” “Espumas de amido” “Biodegradável” “Resíduo de casca de batata” “Xantana” “Aveia”	Espuma de amido E biodegradável	“Packing” “Starch foam” “Biodegradable” “Potato peel waste” “Xantana” “Oats”	Starch foam AND biodegradable;
	Embalagem E Espuma de amido E biodegradável E resíduo		Packing AND starch foam AND biodegradable AND waste
	Embalagem E Espuma de amido E resíduos de casca de batata		Packing AND starch foam AND biodegradable AND potato peel waste
	Embalagem E Espuma de amido E biodegradável E resíduos de casca de batata E xantana		Packing AND starch foam AND biodegradable AND potato peel waste AND xantana
	Embalagem E Espuma de amido E biodegradável E resíduos de casca de batata E xantana E aveia		Packing AND starch foam AND biodegradable AND potato peel waste AND xantana AND oats

Fonte: Autoria própria.

Por meio do portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) foram consultadas nessa pesquisa as seguintes bases de dados: ScienceDirect, Scopus e Web of Science. A busca foi delimitada localizando artigos entre 2010 e primeiro semestre de 2020. Optou-se por utilizar somente artigos de pesquisa em periódicos científicos indexados. Os demais artigos e capítulos de livro

foram descartados. O software escolhido para gerenciar o material encontrado nas bases de dados foi o EndNote6®.

Para complemento da pesquisa, uma busca por patentes foi realizada com as mesmas combinações de palavras-chave e aplicada em dez bases gratuitas disponíveis na internet:

- INPI - busca em patentes depositadas no Brasil;
- Latipat - busca em patentes da América Latina e Espanha;
- LENS Scholar: busca em patentes globais e conhecimento acadêmico
- Espacenet - busca internacional no Escritório Europeu de patentes;
- USPTO- busca em patentes e marcas registradas dos Estados Unidos
- Google patentes: Busca em patentes globais;
- Freepatent: busca em patentes dos Estados Unidos
- CIPO busca em patentes do Canadá
- JPO: busca em patentes do Japão
- WIPO: busca em patentes globais

3.2 OBTENÇÃO DO SUBPRODUTO PROVENIENTE DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da demanda de uma agroindústria que produz alimentos cozidos a vapor e embalados a vácuo. Essa fábrica está instalada no município de Castro, no Paraná, e possui uma infraestrutura de 8.900 m², com capacidade instalada para produção de mais de 10 mil toneladas de alimentos por ano, processando cerca de 20 tipos de vegetais.

Para o processamento industrial, as batatas seguiram o protocolo da linha de produção da agroindústria. As informações quantitativas inerentes ao processo, marca e modelo dos equipamentos, bem como detalhes do processamento industrial, tais como tempo e temperatura de cada etapa do processo não foram mencionados nesta pesquisa, pois estão mantidas sob termo de confidencialidade e sigilo.

O subproduto foi gerado no decorrer do processamento, a partir da etapa de seleção, na qual as batatas são descascadas, lavadas e passam por um processo de controle de qualidade visual para retirada de imperfeições.

Esse processo promove o descarte de uma quantidade de polpa considerável, depositada em recipientes plásticos. A coleta foi realizada diretamente após essa

etapa de processamento, sendo o subproduto acondicionado em embalagem hermeticamente fechada até ser utilizado.

3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO SUBPRODUTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA EM BASE SECA

Para a realização das análises, nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e da Universidade Estadual de Ponta Grossa, foi utilizado o subproduto do processamento das batatas cozidas a vapor, embaladas a vácuo e esterilizadas.

Para evitar deterioração microbiana e oxidação, o subproduto foi previamente centrifugado para retirada do excesso de umidade. Chegou-se ao volume de 1,232 kg de subproduto, autoclavado a 121 °C por 20 minutos, posteriormente seco em estufa de secagem com circulação de ar ACB Labor a 60 °C por 24 horas. Após esse processo, realizou-se a etapa de moagem em moinho de laboratório (Marconi, modelo MA340) e peneiramento em peneiras sem granulometria definida até obtenção de um pó fino e homogênea.

O rendimento da base seca foi calculado segundo a Equação (1):

$$R = \frac{PAP}{PIN} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

R = Rendimento, %;

PAP = Peso após processamento, kg;

PIN = Peso in natura, kg.

3.3.1 Análises Físico-Químicas do Subproduto da Batata

Para a caracterização do subproduto, foram realizadas as seguintes análises, em triplicata:

- Umidade: determinada por meio de método gravimétrico de secagem em estufa a 105 °C com circulação de ar até massa constante (IAL, 2008);
- Cinzas (%): determinadas através da incineração das amostras em mufla à temperatura de 500-600 °C por 4 horas (AOAC, 2005);

- Proteínas (%): determinada pelo método de Kjeldahl, sendo o teor proteico determinado pela multiplicação do conteúdo de nitrogênio total pelo fator de 6,25 (AOAC, 2005);
- Fibra alimentar total: determinada pelo método enzimático gravimétrico para alimentos (AOAC, 2005);
- Carboidratos disponíveis: obtidos por diferença entre 100 e a soma das porcentagens de água, proteína, lipídios totais e cinzas. Neste caso, os valores de carboidratos incluem a fibra alimentar total (NEPA, 2011).
- Valor energético: calculado usando os fatores de conversão recomendados para cada grama de nutriente (MACLEAN, 2003): proteína= 17 kJ (4 kcal); lipídio= 37 kJ (9 kcal)/g; carboidrato por diferença= 16 kJ (3,75 kcal)/g, fibra dietética= 8 kJ (2 kcal)/grama;
- Amido: enzimaticamente, a partir do teor de glucose liberado e corrigido para amido ($\times 0,9$) segundo Demiate *et al.* (2001);
- Fenóis Totais: o conteúdo de compostos fenólicos totais foi determinado de acordo com o método da AOAC (2005) utilizando reagente de Folin-Ciocalteu e ácido gálico como padrão, sendo a leitura realizada em espectrofotômetro em faixa de 720nm;
- Determinação dos parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* e b^*): com o auxílio do colorímetro portátil (modelo MiniScan EZ, marca Hunter Lab.), usando-se a escala L^* , a^* , b^* do sistema CIELab, desenvolvido por Hunter (Hunter, 1975).

3.4 DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL TIPO ESPUMA

3.4.1 Obtenção das espumas:

Para elaborar a massa inicialmente obteve-se um gel, composto do subproduto da batata em forma úmida, quando o subproduto em forma úmida foi aquecido em temperatura entre 70 °C e 80 °C com agitação constante por 30 minutos até a completa gelatinização.

Após o resfriamento natural do gel, a fibra bruta de aveia (Quaker SA, Mauá da Serra, Brasil) foi adicionada como reforço e a goma xantana (Proteic Ingredients) foi utilizada como agente de expansão e plastificante (em média 24 °C).

As espumas do subproduto de batata foram obtidas pelo processo de termoexpansão. Para preparar cada formulação (Tabela 1) os componentes foram misturados por um agitador mecânico (Cadence Orbital Electronic, Piçarras, Brasil, 400 W) durante 5 minutos, aproximadamente, até completa homogeneização (Figura 10).

Figura 10 - Mistura do gel do subproduto contendo amido com os aditivos.



Fonte: Autoria própria

Para o preenchimento completo do molde, a massa (cerca de 100 g) foi depositada sobre um molde de Teflon (Mini Grill Philco, Manaus, Brasil) pré-aquecido. A temperatura de cozedura utilizada foi de aproximadamente 200 °C por 5 minutos, tempo mínimo de cozedura necessário, determinados em testes preliminares, para evitar a formação de fendas nas bandejas como resultado de cozimento excessivo.

Em seguida, fechou-se o molde com a parte superior para iniciar o processo de termoexpansão. Dentro do molde, com o aumento da temperatura e presença de água na massa, ocorreu a gelatinização dos grânulos de amido e

consequentemente o aumento constante da temperatura ocasionou a evaporação da água provocando assim a expansão da massa (Figura 11).

Figura 11 - Processo de termo expansão da massa obtida com subproduto da batata.



Fonte: Autoria própria

Após esse processo, a alta temperatura solidificou o material e consequentemente obteve-se a espuma. Esse processo durou aproximadamente 15 minutos, após o qual o molde foi aberto para que a espuma esfriasse em temperatura ambiente (em média 24 °C) antes de serem retiradas do molde cuidadosamente. As espumas foram acondicionadas a vácuo em embalagem plástica (Vacuum Sealer 110 V) e armazenadas em estufa (EletroLab Modelo EL202, São Paulo, Brasil) a uma temperatura controlada de 20° C +- 2° C por 7 dias antes da caracterização de suas propriedades.

3.4.2 Formulações

O planejamento experimental fatorial seguiu dois fatores (tipos e porcentagem de plastificantes e porcentagem de fibra natural) em três níveis.

O estudo das formulações foi dividido em etapas. Inicialmente, foi feito o teste da quantidade de massa necessária para completar o molde, para evitar que fosse pouca a ponto de ser insuficiente para preencher todo o molde e formar espumas incompletas e nem em quantidade excessiva, quando após a expansão a massa saísse do molde e produzisse espumas defeituosas. Na segunda etapa, aplicaram-se dois plastificantes naturais (goma xantana e pectina 60% DE) nas

concentrações de 1, 5, 10, 15 e 20%. Na terceira etapa foi adicionada a fibra natural em diversas concentrações (1, 5, 10, 15 e 20%).

As formulações iniciais dos materiais estudados estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Projeto experimental fatorial.

	Gel do subproduto da batata (g)	Farelo de Aveia (g)	Goma Xantana (g)	Pectina. 60%DE (g)
A1	100	01	0	01
A5	100	05	0	05
A10	100	10	0	10
A15	100	15	0	15
A20	100	20	0	20
C1	100	01	01	0
C5	100	05	05	0
C10	100	10	10	0
C15	100	15	15	0
C20	100	20	20	0

Fonte: Autoria própria.

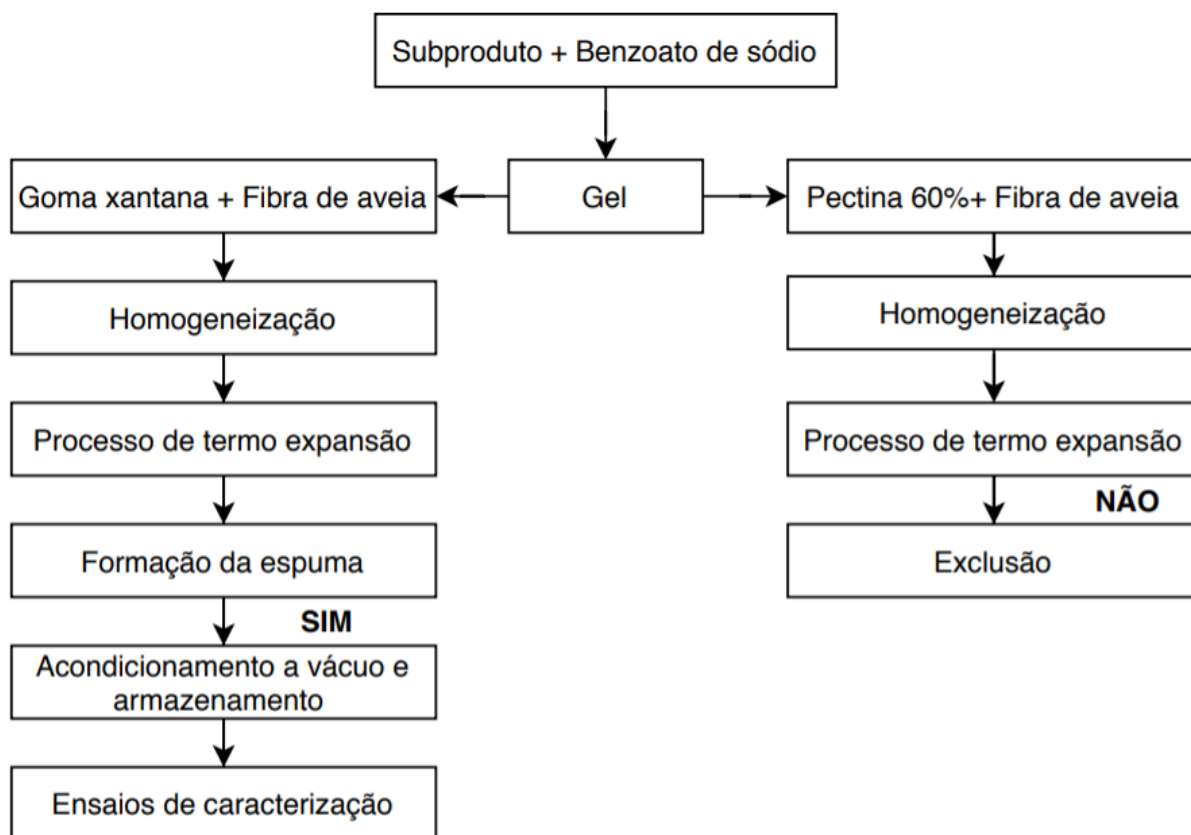
Com base nos resultados de estabilidade da massa, os percentuais de fibra e de plastificante goma xantana e pectina 60%DE foram escolhidos para a continuidade do trabalho, num total de seis experimentos (A10, A15, A20, C10, C15, C20).

Como apresentado na Figura 14, após 7 dias de armazenamento observou-se que as espumas preparadas com pectina 60% DE, diferentemente das preparadas com goma xantana, apresentaram crescimento microbiológico mesmo com o armazenamento a vácuo. Após esses resultados, optou-se por adicionar um conservante nas formulações para evitar crescimento microbiológico.

As amostras foram novamente acondicionadas a vácuo e armazenadas em estufa (EletroLab Modelo EL202) a uma temperatura controlada de 25° C +- 2°C por 7 dias antes caracterização de suas propriedades.

O diagrama do processo final de obtenção de espuma está representado na Figura 12:

Figura 12 - Processo de obtenção de espuma à base de amido desenvolvida a partir de subproduto da industrialização da batata.



Fonte: Autoria própria.

3.5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E ESTRUTURAL DA ESPUMA

Para determinar as propriedades da espuma foram realizados os testes adaptando técnicas de caracterização de polímeros convencionais.

3.5.1 Solubilidade

Os testes referentes à solubilidade das espumas foram realizados em triplicata, seguindo a metodologia proposta por Torres *et al.* (2017) Mais especificamente, amostras de 3 × 3 cm foram cortadas e armazenadas por sete dias em um dessecador com sílica, com uma temperatura ambiente de aproximadamente 24 °C. As amostras foram pesadas e acondicionadas em copos de vidro contendo 80 mL de água destilada, mantidos em um estado de agitação constante (100 rpm) por 1 hora a 25 °C. Imediatamente depois, as amostras foram removidas da solução e secas

em estufa de circulação de ar a 60 °C por 4 horas. A porcentagem do material solúvel total foi calculada de acordo com a Equação (2) abaixo:

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{Peso inicial seco} - \text{Peso final seco}}{\text{Peso inicial seco}} \times 100$$

3.5.2 Índice de Absorção de Água

O índice de absorção de água foi determinado de acordo com a ABNT NBR NM ISO 535 (1999), sendo as espumas pesadas após a adição de 100 mL de água por 60 minutos em temperatura ambiente. Depois disso, o excesso de água foi removido usando uma toalha de papel seca e a espuma foi pesada novamente. A capacidade de absorção de água da espuma foi calculada usando a Equação (3) abaixo, com as determinações finais das três amostras sendo a média para cada formulação.

$$\text{Índice de absorção de água (\%)} = \frac{\text{massa}_{(u)} - \text{massa}_{(s)}}{\text{massa}_{(s)}}$$

Sendo: massa_(u) = massa úmida e massa_(s) = massa seca.

3.5.3 Atividade de água

O teste de atividade da água foi realizado em triplicata usando o instrumento AquaLab Série 4TE. As amostras de cada formulação de espuma foram colocadas em seus próprios recipientes e depois introduzidas no leitor de atividade de água a uma temperatura média de 25,0 ± 0,12 °C.

3.5.4 Densidade

A densidade foi calculada de acordo com o método proposto por Shogren *et al.* (1998), utilizado para analisar a relação entre a massa e o volume das espumas em triplicata. Os testes de densidade foram realizados com tiras de espuma retangulares (100 × 25 mm). Cada amostra foi pesada e o volume foi calculado multiplicando o comprimento pela largura e espessura. Os valores de densidade relatados foram as médias de cinco amostras para cada formulação.

3.5.5 Análise Mecânica

Para avaliar as propriedades mecânicas das espumas, foram realizados ensaios de flexão e tração em uma máquina universal de ensaios, marca EMIC, modelo DL10000 (São José dos Pinhais, Brasil), utilizando uma célula de carga de 100 kN. Antes de realizar os testes, as amostras com dimensões de 2,5 cm × 10 cm foram armazenadas a vacuo por 10 dias. Os testes de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638-02a, com uma distância inicial entre as garras de 50 mm e uma velocidade de tração de 2 mm / s. A partir dos testes, foram obtidas curvas tensão-deformação, que permitiram determinar os valores da resistência à tração máxima e da força máxima que poderiam ser suportadas pelas amostras. Esses testes foram realizados em 10 amostras para cada formulação.

3.5.6 Parâmetros de cores

A cor da espuma foi determinada usando um espectrofotômetro de bancada HunterLab modelo UltraScan Pro (Jarinu, Brasil). A metodologia de Fernandes *et al.* (2010) foi utilizada na análise, cujos valores foram definidos por L*, a* e b*. A coordenada L* corresponde à luminosidade que varia de 0 para cores escuras a 100 para cores claras, enquanto a* e b* se referem às coordenadas de cromaticidade: verde (-) / vermelho (+) e azul (-) / amarelo (+), respectivamente, com valores de -60 a +60. As medições foram realizadas em triplicata e o dispositivo foi calibrado previamente.

3.5.7 Análise De Biodegradabilidade

A biodegradabilidade das espumas foi determinada através da medição da perda de massa do material exposto ao solo, seguindo a Norma ASTM 6400-99 (Especificação Padrão para Plásticos Compostáveis), com modificações. Amostras de espumas expandidas de subproduto de batata foram enterradas em vasos contendo terra preta, a uma profundidade de 3 cm da superfície. Os recipientes foram mantidos em temperatura ambiente sob condições aeróbias, sendo pulverizada água uma vez por dia sobre as amostras para garantir a umidade do sistema durante todo o experimento. O teste teve duração de 7 semanas e as amostras foram recuperadas a

cada 7 dias, com perda de massa decorrente da ação dos microrganismos e reações químicas. Após a pesagem, as amostras foram introduzidas novamente no solo para prosseguimento do teste.

3.5.8 Análise Estatística

Os dados obtidos na análise de estabilidade de massa e caracterização mecânica das espumas foram comparados por meio da Análise de Variância (ANOVA), no método Tukey, com intervalo de confiança de 95%, utilizando o software Sasm-Agri.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTADO DA ARTE

Na primeira etapa da pesquisa exploratória de seleção dos artigos foram utilizados os termos “packing”, “starch foam”, “biodegradable”, “potato peel waste”, “xantana” e “oats” nas bases de dados ScienceDirect, Scopus e Web of Science.

Os resultados obtidos nas análises preliminares e na busca por título, resumo e palavras-chave são observados na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Análise bibliométrica em bases científicas

Palavras-chave	Web of Science	Scopus	Science Direct
Starch foam AND biodegradable	235	500	25
Packing AND starch foam AND biodegradable	10	20	2
Packing AND starch foam AND biodegradable AND waste	1	11	1
Packing AND starch foam AND biodegradable AND potato peel waste	0	0	3
Packing AND starch foam AND biodegradable AND potato peel waste AND xantana;	0	0	0
Packing AND starch foam AND biodegradable AND potato peel waste AND xantana AND oats	0	0	0

Fonte: Autoria própria.

Após o levantamento das combinações de palavras-chave nas bases de dados pesquisadas, identificaram-se os artigos que contém os termos escolhidos em seu título, resumo ou palavras-chave. Excluíram-se trabalhos em duplicata e chegou-se ao total de 751 artigos relacionados ao tema. A avaliação permitiu observar que existe uma variedade de trabalhos que desenvolvem espumas biodegradáveis a base de amido, o que comprova a relevância do estudo. Porém, com as especificidades relacionadas à composição da embalagem desenvolvida não se encontrou nenhum estudo anterior (Tabela 2), reforçando a lacuna na literatura e impulsionando a pesquisa.

O cenário afirma-se quando bibliometria é aplicada nas bases de patentes gratuitas disponíveis como se indica na Tabela 3:

Tabela 3 - Análise bibliométrica em bases científicas

Palavras-chave	INPI	Latipat	LENS Scholar	Espacenet	USPITO	Google patentes	Freepatent	CIPO	JPO	WIPO
Starch foam AND biodegradable	6	0	302	19.225	0	43.677	38.139	7.370	3	405
Packing AND starch foam AND biodegradable	0	0	97	2953	9	43.677	0	2.873	3	286
Packing AND starch foam AND biodegradable AND waste	0	0	0	1386	0	5.227	4.727	655	3	477
Packing AND starch foam AND biodegradable AND potato peel waste	0	0	0	0	0	946	479	70	0	194
Packing AND starch foam AND biodegradable AND potato peel waste AND xantana;	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Packing AND starch foam AND biodegradable AND potato peel waste AND xantana AND oats	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autoria própria.

A partir da leitura dos títulos e resumos foram excluídos trabalhos que não tratam da temática em foco e selecionaram-se os artigos que contribuíam para a construção do referencial teórico e discussão dos resultados.

4.2 OBTENÇÃO DO SUBPRODUTO PROVENIENTE DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA BATATA

A batata foi escolhida para compor esse estudo em função da sua representatividade econômica para a agroindústria, bem como por ser o principal produto comercializado pela empresa em termos de volume. A empresa não informou a quantidade exata de subproduto de descasque separado por matéria prima, mas em média gera 63.500 kg/mês de subproduto.

4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO SUBPRODUTO DA BATATA

A composição química média (\pm DP) do subproduto da batata em base seca, com umidade (%) de $82 \pm 0,08$ (em base úmida) e $18,03 \pm 0,14$ expressa em percentagem (em base seca) está descrita na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição centesimal média e valor calórico da farinha de casca de batata.

Análise	Subproduto da Batata
Cinza (%)	$1,56 \pm 0,02$
Proteínas (%)	$6,53 \pm 0,10$
Lipídios (%)	$0,24 \pm 0,01$
Fibra insolúvel (%)	$12,58 \pm 0,18$
Fibra solúvel (%)	$2,02 \pm 0,04$
Carboidratos (%)*	$77,07 \pm 0,33$
Valor energético (%) **	$346,49 \pm 1,20$
Amido (%)	$59,74 \pm 1,19$
Fenóis totais (g/Kg)	$1,54 \pm 66,64$
Cor	L
	a*
	b*

* Por diferença; **Valor calculado

Fonte: Autoria própria.

O rendimento da farinha do subproduto da batata foi de 24%, valor maior que o encontrado por Nascimento; Canteri (2018) que encontraram rendimento de farinha de batata de 8% provavelmente devido ao menor teor de umidade do produto final.

Estudos que caracterizam o substrato apresentam resultados da umidade total do substrato como próximo a 85% (CHINTAGUNTA *et al.* 2016; ARAPOGLOU *et al.*; 2010). O teor de umidade do substrato da batata seco encontrado no presente estudo (18%) foi superior aos teores de umidade das farinhas especificadas pela ANVISA, que variam de 8 a 15%. Já os autores que indicaram os resultados em base seca chegaram a valores de 29,85% (JEDDOU *et al.*; 2017), de 5,8 % (LEIVAS *et al.*, 2013) e de 7,30 % (AMADO *et al.*, 2014). Uma das possíveis explicações para essa discrepância entre os resultados entre os estudos pode ser a relação tempo/temperatura de secagem utilizada no presente estudo em relação aos estudos anteriores.

Em relação ao subproduto mineral (cinzas) foi obtido o valor de 1,56%, dentro dos parâmetros das farinhas descritos pela CNNPA - ANVISA (BRASIL, 2008). Notavelmente, o teor de gordura (0,24%) foi menor do que a relatada por Khawla *et al.* (2014) (0,52%) e Arapoglou *et al.* (2010) (2,6 %).

Como se indica na Tabela 4, o subproduto da batata possuía um alto teor de carboidratos (77%), próximo aos encontrados por Liang *et al.* (2014) de 63,2% e Arapoglou *et al.* (2010) de 68,7%.

Várias metodologias estão sendo aplicadas para melhorar a extração de carboidratos, para serem posteriormente incluídos na formulação de materiais / bens de valor acrescentado ou para processos de fermentação para a produção de biocombustíveis (ARAPOGLOU *et al.*, 2010; LIANG *et al.*, 2015; RICHELLE *et al.*, 2015; CHINTAGUNTA *et al.*, 2016; MUHONDWA *et al.*, 2015). Outros estudos apontam diversas aplicações na alimentação humana como inclusão de fibras extraídas do subproduto na formulação de pães e bolos (TOMA *et al.*, 1979); ARORA, 1994; DHINGRA *et al.*, 2012; CURTI *et al.*, 2016) e na alimentação animal (NELSON *et al.*, 2010; KASAPIDOU *et al.*, 2015; ANDERSON, 2002); HOSSAIN *et al.*, 2015; TAWILA *et al.*, 2008; MASKE e SATYANARAYAN, 2012).

Nesse trabalho, observou-se o teor de fibra solúvel e fibra insolúvel de 2,02% e 12,58% respectivamente, com valores relativamente baixos comparados aos de Jaddou *et al.* (2017), com 10,14% para fibra solúvel e 19,59% para fibra insolúvel. Este autor analisou a inclusão da farinha do subproduto da batata variedade Spunta em bolos. A caracterização físico-química mostrou alto teor de fibra, proteína e um grande potencial tecnológico, como capacidade de ligação à água e capacidade de

absorção de gordura, mostrando um potencial de desenvolvimento de bolos ricos em fibras, a fim de aumentar a ingestão de fibra dietética.

Referente ao teor de amido, os resultados indicaram um teor de 59,74 %, superior ao de Khawla *et al.* (2014) de 48,46 %. Estes autores verificaram a possibilidade de usar subprodutos de cascas de batata como uma fonte econômica para a produção de amilase, bem como matéria-prima para produção de bioetanol após a hidrólise adequada. Liang *et al.* (2014) encontraram 34,3% de amido em seu estudo, no qual se desenvolveu com sucesso um processo de fermentação simples usando uma cultura microbiana mista indefinida para convertê-lo em principalmente ácido lático. Outros estudos também investigam outros métodos para produção de ácido lático do subproduto da batata (GUERRA-RODRÍGUEZ *et al.*, 2012; LIANG *et al.*, 2015; YAMADA *et al.*, 2009).

O amido aplicado como termoplástico (TPS) vem sendo um bioplástico sustentável com crescente atenção industrial (ROMMI *et al.*, 2015; ROGOLS *et al.*, 2002; TAMMINENI *et al.*, 2013). CHEN *et al.* (2012) em seu estudo, comprovaram a eficácia dos nanocristais de celulose derivados de subproduto de casca de batata como filme de barreira de reforço e vapor.

Uma característica importante dos amidos é a proporção de amilose para amilopectina. O teor de amilose pode afetar as propriedades mecânicas de bandejas de espuma de amido (CRUZ-TIRADO *et al.*, 2019).

Lappalainen *et al.* (2015) observaram que o amido cationizado preparado a partir de subprodutos de casca de batata apresentava grau comparável de substituição como derivados de amido cationizados comercialmente. O amido cationizado preparado a partir dos subprodutos de descasque pode ser utilizado como um floculante biodegradável e econômico para a purificação de água. Em outro estudo, Okeke e Frankenberger (2005) exploraram a potencial aplicação de amido em combinação com um consórcio bacteriano amilolítico e subproduto de casca de batata para a biorredução de ClO_4^- . Esses estudos demonstram a versatilidade desta matéria-prima.

A análise de composição química do subproduto forneceu valor de 6,53 % de proteínas, valor próximo ao encontrado por Amado *et al.* (2014) de 6,47% e Farvin *et al.* (2012) de 6,47%. O primeiro autor em seu estudo indicou o subproduto da batata como boa fonte de antioxidantes capazes de efetivamente limitar a oxidação

do óleo. Já Farvin *et al.* (2012) examinou a utilização do material residual, como fonte de antioxidantes naturais para retardar a oxidação lipídica e proteica em carnes.

O conteúdo de fenóis totais encontrado nesse estudo foi de 1,54 g/Kg O extrato de subproduto de batata apresenta alto conteúdo fenólico (70,82 mg de equivalente de catequina / 100 g), sendo o ácido clorogênico (27,56 mg / 100 g de amostra) o principal componente (KANATT *et al.*, 2005).

Segundo Venturi *et al.* (2019) extratos de casca de batata podem ser novos aditivos naturais com a possibilidade de substituir ou pelo menos reduzir conservantes sintéticos. Diversos estudos avaliam a extração de compostos polifenólicos, alcalóides esteróides e componentes antimicrobianos presentes no subproduto da batata para uso funcional e medicinal (AL-WESHAHY *et al.*; 2013; AL-WESHAHY e RAO, 2009; HOSSAIN *et al.* 2014; SINGH *et al.*, 2008; SINGH, *et al.*, 2005).

Referente aos resultados da análise de cor (Tabela 4), o L* escala varia de 0 a 100 preto branco; a* a escala se estende a partir de um valor negativo (cor verde) para um valor positivo (cor vermelha); e o b* escala varia desde negativo azul para amarelo positivo. Jeddou *et al.* (2017) encontraram valores superiores em suas análises por L* (81,90) e (85,51) respectivamente. Porém para a* (3,35) e (4, 89) e b* (13,60) e (21,34) os valores foram menores que no presente estudo. As diferenças entre cores se devem principalmente às reações de Maillard e caramelização que ocorrem durante o processo.

Como apresentado na Figura 13, tal subproduto, é uma importante fonte de poluição, devido à alta concentração de contaminantes orgânicos. Por outro lado, muitos compostos de valor agregado são extraídos aplicando diversas técnicas.

Figura 13 - Possíveis aplicações do subproduto da industrialização da batata.



Fonte: Autoria própria.

Com essa composição apresentada, esse subproduto pode ser considerado uma matéria-prima base em potencial para biorrefinarias, alimentos destinados a humanos e animais, fertilizantes, bioenergia, compostagens, fonte potencial de compostos funcionais e bioativos para produtos fito-farmacêuticos e tratamentos medicinais, podendo ser utilizado para produção de produtos de alto valor agregado sendo uma estratégia promissora para gerenciar problemas ambientais e econômicos.

4.4 OBTENÇÃO DAS ESPUMAS

4.4.1 Resultados das formulações com diferentes plastificantes

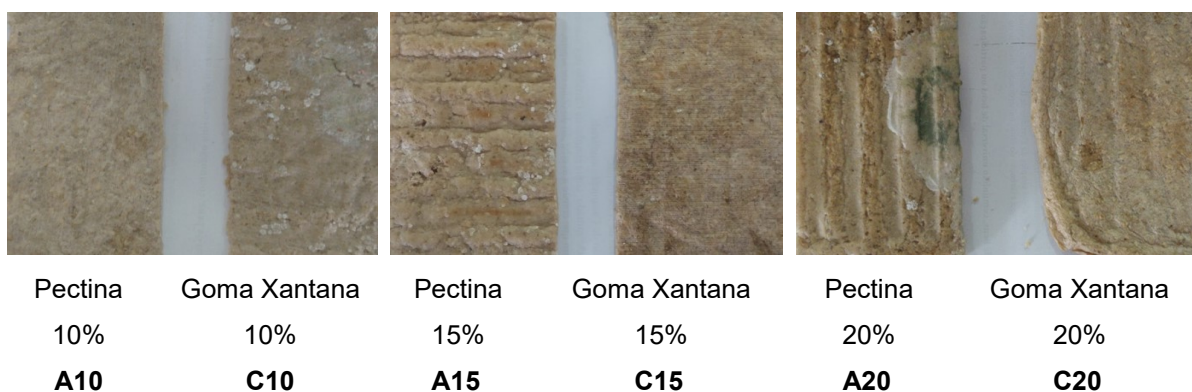
A gelatinização de uma parte do amido é feita para ajudar na dispersão dos componentes da fórmula, mantendo os componentes sólidos na massa, formando uma pasta homogênea e com viscosidade adequada (BOBBIO E BOBBIO, 1995; ANDERSEN e HODSON, 1998).

A extrusão de amido e água a temperaturas acima de 100 °C leva à formação de canais, devido à expansão do vapor à medida que o extrusado sai nas condições de alta pressão da matriz. Esse processo pode ser dividido em três etapas mecânicas: nucleação, crescimento de bolhas e estabilização de bolhas (SOYKEABKAEW *et al.*, 2006).

Nesta etapa inicial do trabalho, procurou-se verificar a aplicação da goma xantana e da pectina 60% como agentes plastificantes na formação da espuma.

Como apresentado na Figura 14, após sete (7 dias) de armazenamento observou-se que nas espumas preparadas com pectina 60%, diferentemente das preparadas com goma xantana, houve crescimento microbiológico mesmo com o armazenamento a vácuo.

Figura 14 - Comparação das espumas após 7 dias de armazenamento.
7 dias de armazenamento



Fonte: Autoria própria.

Outro gel foi preparado com o subproduto da batata mais 0,5 % da massa do subproduto de benzoato de sódio como conservante. Bactericida e fungicida o benzoato de sódio foi um dos primeiros conservantes permitidos pelo FDA, amplamente utilizado em alimentos e tem baixo custo. Possui característica de inibidor das enzimas digestivas pepsinas e tripsinas, é mais solúvel que outros conservantes (66,0 g/100ml a 20 °C) (INSUMOS, 2010).

As formulações com pectina 60% e benzoato de sódio não apresentaram estabilidade na formação das espumas. Já as formulações que continham goma xantana como plastificante (C10, C15 e C20) obtiveram melhor resultado na formação da espuma após a adição do conservante e por consequência foram escolhidas para a continuação do trabalho.

4.4.2 Caracterização Física, e Estrutural da Espuma

Sabe-se que as espumas à base de amido são suscetíveis à umidade. As moléculas de água afetam as ligações de hidrogênio do amido, enfraquecendo-as e reduzindo suas propriedades funcionais. Dessa maneira, a resistência à água é um parâmetro que precisa ser considerado na pesquisa para melhorar as aplicações dessas espumas.

As análises de índice de solubilidade e absorção de água podem ser realizadas para determinar a resistência das espumas de amido à umidade. Com a adição de diferentes concentrações de plastificante e fibra natural (goma xantana C10, C15 e C20 / aveia), a solubilidade das espumas variou entre 20% e 25%. Conforme demonstrado na 5, a embalagem C10 ofereceu maior solubilidade em comparação com outras concentrações, e as amostras não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) devido ao alto desvio padrão entre as amostras.

Tabela 5 - Índice de solubilidade, índice de absorção de água e atividade de água de espumas com base em subprodutos da batata

Espuma	Índice de Solubilidade (%)	Índice de absorção de água (%)	Atividade de água (25° C)
C10	25.44 ± 3.20 a	24.16 ± 1.98 a	0.97 ± 0.51 a
C15	23.38 ± 4.56 a	17.34 ± 1.15 b	0.96 ± 0.12 a
C20	20.18 ± 4.36 a	13.25 ± 1.15 c	0,96 ± 0.65 a

*Média ± DP (desvio padrão) das variáveis de resposta avaliadas. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ($p < 0,05$; teste de Tukey).

Fonte: Autoria própria.

Embora a solubilidade e a absorção de água tenham sido influenciadas pela interação da concentração de goma xantana / aveia, a análise de absorção de água revelou uma diferença estatisticamente significativa entre as amostras ($p < 0,05$). A embalagem C20 apresentou o menor índice de absorção de água, o que, por sua vez,

é desejável para a embalagem. Por outro lado, a embalagem C10 apresentou a maior absorção após 60 min de imersão. Guan e Hanna (2006), Kaisangsri *et al.* (2014) e Slavutsky e Bertuzzi (2014) relatam observações semelhantes em seus estudos. Segundo esses autores, a adição de fibras celulósicas pode reduzir a sensibilidade à umidade das espumas de amido, agindo como um agente hidrofóbico, diminuindo assim a absorção de água das espumas.

Quando a atividade da água é observada em função do teor de goma xantana/aveia (Tabela 5), todas as formulações mostraram comportamento semelhante e sem diferença estatística ($p < 0,05$).

4.4.3 Análise Mecânica de Espuma

Com o objetivo de garantir a viabilidade econômica do produto, não foi realizada a padronização do subproduto da batata por meio de operações unitárias, como secagem e peneiração. Isso, por sua vez, levou a uma variação significativa no comportamento mecânico entre as amostras analisadas da mesma formulação.

Através da identificação de amostras secas no centro e nas extremidades do molde, também foi observado que a heterogeneidade da distribuição de calor no molde afetou as características mecânicas da embalagem final. Quando avaliadas através de testes mecânicos usando uma máquina de teste universal, na presença de diferentes concentrações de plastificantes, as embalagens do tipo espuma, mostraram diferenças significativas em relação à resistência à tração e à força máxima suportada antes da ruptura ($p < 0,05$). A 7 apresenta resultados da espuma desenvolvida comparando-a com as características do EPS encontrado por Carr (2007).

Tabela 6 - Propriedades mecânicas e densidades das espumas à base de subprodutos da batata.

Parâmetros	Espuma de amido			EPS
	C10	C15	C20	
Resistência à tração (Mpa)	0,20 ± 0,10b	0,42 ± 0,19 a	0,24 ± 0,07b	2,59 ± 5a
Força Máxima à Ruptura(N)	5,88 b	25,20 a	21,96 a	ND
Densidade (g/cm³)	1,87 ± 0,08 a	1,07 ± 0,09 a	0,84 ± 0,03 a	0,12 ± 0,02a

*Média ± DP (desvio padrão) das variáveis de resposta avaliadas. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$; teste de Tukey).
ND: Não determinado.

Fonte: Autoria própria.

Segundo Kabir, Saha e Jeelani (2006), uma espuma de maior densidade geralmente leva a uma maior resistência. Entre as amostras analisadas, a embalagem C15 apresentou maior resistência à tensão (42%), maior força máxima (25 N) e densidade média quando comparada às demais formulações.

Observou-se que a resistência (20%) e a força máxima de ruptura (5 N) diminuiriam com a redução de goma xantana/aveia na embalagem C10, pois durante o processo a massa era mais viscosa devido à menor quantidade de plastificante e fibra, o que significa que ela se expandiu menos e resultou em embalagens mais densas e finas.

Em seu estudo, Guan e Hanna (2006) relatam que, à medida que a temperatura aumentou, a taxa de expansão inicialmente aumentou e depois diminuiu à medida que a temperatura continua a subir. Isso foi explicado pelo fato de que a menor viscosidade da massa a uma temperatura muito alta impediu a expansão.

No entanto, um aumento da concentração (C20) também resultou em menor resistência à tensão (24%), menor força (21 N) e menor densidade. Um aumento na concentração do plastificante aumenta a taxa de expansão das espumas comprimidas, o que leva a uma diminuição na densidade da espuma (SOYKEABKAEW *et al.*, 2015).

Os resultados indicaram que houve uma melhora nas propriedades mecânicas das amostras devido ao efeito da fibra, embora exista um limite na medida em que a adição de plastificante e fibra pode melhorar a resistência das embalagens de espuma.

Sheng *et al.* (2016), em seu trabalho sobre o desempenho da goma xantana em espumas, obtiveram um leve aumento na tensão superficial de soluções de espuma com um aumento no conteúdo da goma xantana. A viscosidade muda significativamente com a adição de goma xantana: a capacidade de formação de espuma quase não é afetada, mas a estabilidade da espuma é evidentemente melhorada.

Carr *et al.* (2017) investigaram a influência da adição de fibras de trigo na melhoria das propriedades mecânicas das espumas de amido de mandioca. Nesse caso, um aumento no número de fibras resulta em espumas com maior densidade e menos flexibilidade, independentemente do tipo de fibra. A maioria das quantidades de fibras testadas não melhora a resistência da espuma.

Glenn *et al.* (2001) descrevem como os painéis de espuma cozidos feitos com amidos de trigo e milho apresentam uma densidade mais alta ($\pm 0,15 \text{ g / cm}^3$) do que os painéis feitos com batata e tapioca ($\pm 0,12 \text{ g / cm}^3$).

Shey *et al.* (2006) também mostram que as espumas de amido cozidas à base de trigo, batata e amido de milho ceroso apresentam densidades diferentes, de $0,20 \text{ g / cm}^3$, $0,15 \text{ g / cm}^3$ e $0,13 \text{ g / cm}^3$, respectivamente. Neste trabalho, foi observada maior densidade para todas as formulações em comparação aos estudos citados.

4.4.4 Cor

Os parâmetros de cor das espumas foram significativamente afetados pela concentração de goma xantana / aveia ($p < 0,05$), conforme se indica na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros de cor das espumas desenvolvidas a partir de subprodutos da batata.

	L*	A*	B*
C10	50,95 \pm 0,02 a	1,57 \pm 0,06 ab	11,21 \pm 0,03 a
C15	48,33 \pm 0,01 c	1,48 \pm 0,03 b	8,49 \pm 0,05 b
C20	47,87 \pm 0,04 b	1,61 \pm 0,03 a	8,12 \pm 0,07 c

*Média \pm DP (desvio padrão) das variáveis de resposta avaliadas. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$; teste de Tukey).

Fonte: Autoria própria.

A formulação C10 apresentou um valor de luminosidade (L*) ($p < 0,05$) significativamente maior que o das amostras com maiores níveis de adição de fibras. O aumento no conteúdo de aveia resultou em uma diminuição no valor de L*. Esses resultados foram semelhantes aos de Famá *et al.* (2009) Mali *et al.* (2010) e Mello e Mali (2014) que relatam uma diminuição no valor de L* à medida que uma quantidade crescente de fibras foi adicionada às composições.

O parâmetro a*, que indica vermelhidão da espuma, não foi influenciado pelo aumento no teor de goma xantana/aveia, uma vez que o valor a* de C10 não diferiu significativamente do das outras formulações. No entanto, o efeito visual mais acentuado foi o da cor amarelada, indicada pelo parâmetro b*. Os resultados deste parâmetro podem ter sido influenciados pela caramelização e pela reação de Maillard devido aos altos níveis de carboidratos e proteínas no subproduto da batata e às altas temperaturas utilizadas durante o processo (SALGADO *et al.*, 2008).

Os resultados obtidos foram próximos aos de Mali *et al.* [5], que observaram um efeito visual amarelado crescente (b^*) em espuma contendo fibra de cana-de-açúcar, com proporções crescentes de fibra nas formulações. Debiagi *et al.* (2011) indicaram um aumento em b^* quando altas proporções de quitosana foram usadas nas formulações de espuma.

Famá *et al.* (2009) descobriram que os parâmetros de cor dos biocompósitos de amido aumentam significativamente com a adição de fibras de goma xantana/aveia, o que limita o uso desse agente de reforço em aplicações alimentares. Por outro lado, alterações na concentração de fibra de celulose não resultam em diferenças significativas de cor, mas um aumento no teor de proteínas da formulação intensifica o parâmetro amarelo b^* (SALGADO *et al.*, 2008).

4.4.5 Biodegradabilidade

A avaliação da biodegradabilidade é uma etapa fundamental para aumentar o potencial comercial das embalagens atualmente (ETXABIDE *et al.*, 2017).

Com relação à biodegradabilidade, observa-se que a hidrólise pode ter sido o principal mecanismo de degradação da espuma. A umidade da água pulverizada diariamente sobre o sistema pode ter reagido com os grupos hidroxila das moléculas de amido, enfraquecendo as cadeias e acelerando o processo biodegradativo. Resultado semelhante ao de Sanhawong *et al.* (2017) que avaliaram a biodegradação de espumas à base de amido de mandioca com adição de fibra de algodão e látex de borracha natural. O teste apontou que a degradação das amostras ocorreu principalmente por hidrólise, e a adição de látex de borracha natural retardou o processo. Outros fatores que podem ter influenciado a biodegradabilidade incluem a atividade biológica (especialmente a atividade de enzimas liberadas por microorganismos presentes no solo) e a degradação abiótica, como a fotodegradação (BASTIOLI, 2005). Segundo Cerruti *et al.* (2011) a ação do calor, bem como a atividade enzimática dos micro-organismos presentes na terra, encurta e enfraquece as cadeias poliméricas do amido, fazendo com que o processo de degradação inicie. Stoffel (2015), concluiu que bandejas à base de amido que apresentaram seção transversal com espaços vazios maiores, exibiram maior superfície de contato entre enzima e substrato, acelerando a degradação enzimática do material.

A cada 7 dias, as amostras de espuma foram desenterradas. Encontrou-se já na primeira retirada dificuldade em separar a amostra da terra, pois a havia alta aderência ao solo.

Figura 15 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C10) nos 7 primeiros dias de análise.



Fonte: Autoria própria.

Figura 16 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C15) nos 7 primeiros dias de análise.



Fonte: Autoria própria.

Figura 17 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C20) nos 7 primeiros dias de análise.



Fonte: Autoria própria.

A biodegradação do amido é obtida por hidrólise da ligação acetal por enzimas (presente no experimento). As amilases atacam a ligação α -1,4, enquanto as

glicosidases atacam a ligação α -1,6. Note-se que os produtos de degradação não apresentam características tóxicas. Como se indica na

Figura 15, Figura 16 e Figura 17, houve um aumento de massa nos primeiros sete dias. Resultado semelhante foi relatado por Sanhawong *et al.* (2017), com suas amostras mostrando inchaço visível após sete dias de teste de enterro do solo. Os autores afirmam que a água poderia ter reagido com os grupos hidroxila das moléculas de amido: a ligação de hidrogênio e a interação molecular entre as moléculas de amido foram potencialmente destruídas, aumentando assim o inchaço.

Observou-se que em 14 dias a amostra C10 já havia se degradado completamente e aderido à terra, não exibindo material residual capaz de ser pesado após a primeira semana (Figura 18).

Figura 18 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C10) após 14 dias de análise.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C15) após 14 dias de análise.



Fonte: Autoria própria.

Figura 20 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata (C20) após 14 dias de análise.



Fonte: Autoria própria.

Aos 21 dias do início da análise, nenhuma das amostras (C15 e C20) puderam ser retiradas para pesagem, estando totalmente aderidas ao solo (Figuras 19 e 20).

Figura 21 - Amostras de espuma desenvolvidas a partir dos subprodutos da batata no primeiro e no vigésimo primeiro dia da análise de biodegradabilidade.

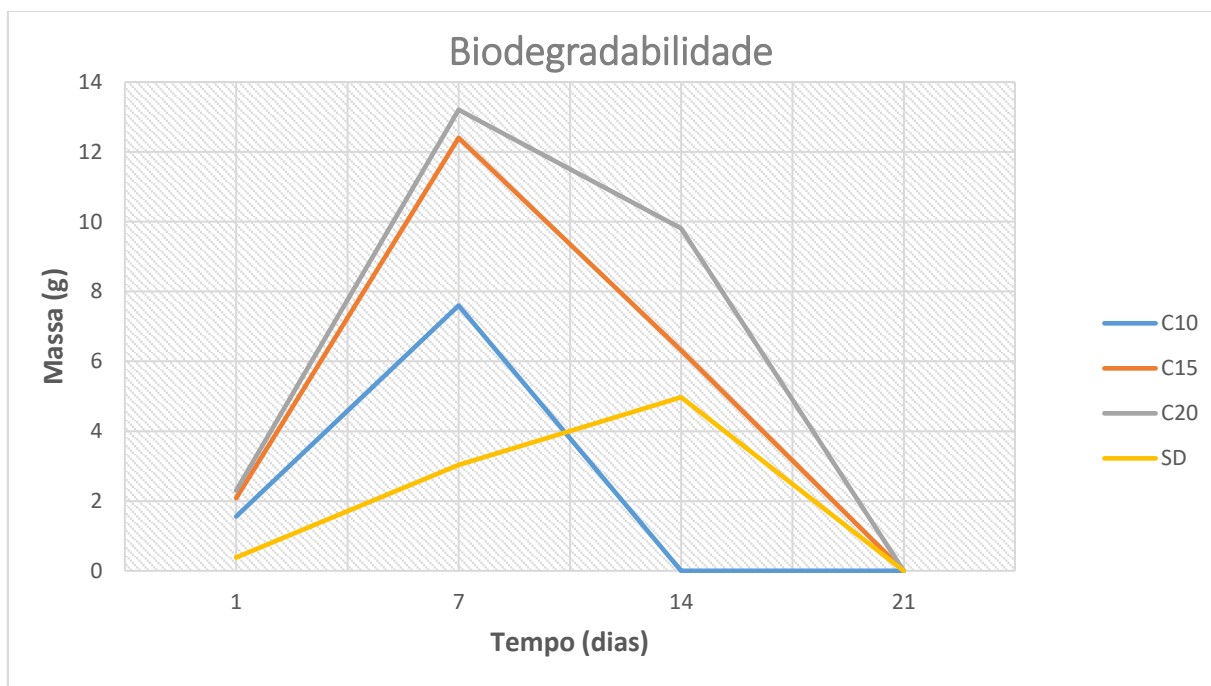


Fonte: Autoria própria.

Machado *et al.* (2020) em seu estudo relata os efeitos da adição de um resíduo agroindustrial (casca de amendoim) a espumas à base de amido de mandioca desenvolvidas pelo processo de termopressagem. As amostras de espumas compostas de amido de mandioca (CS) adicionadas de casca de amendoim (CS / PS) apresentaram degradação mais rápida que as espumas CS. Após 21 dias, foi observada a desintegração das amostras de CS / PS, já as amostras de espuma de CS, o início das desintegrações foi visível após 28 dias. A degradação mais rápida das amostras de CS / PS pode ser devida à fração fibrosa do aditivo.

O resultado da perda de massa em função do tempo durante o qual a embalagem permaneceu enterrada está indicado na Figura 22, na qual se indica também o desvio padrão (DP), com dados mais dispersos nos dias 1 a 14, após o qual apresenta pouca variação.

Figura 22 - Linha do tempo da biodegradação de espumas desenvolvidas a partir de subprodutos da batata que foram enterrados no solo preto.



Fonte: Autoria própria.

O uso de benzoato de sódio como agente conservante não parece ter impactado a biodegradabilidade. Isso ocorre porque o composto é facilmente biodegradável, com 90-93% da biodegradação ocorrendo em sete dias (GREENSCREEN™ ASSESSMENT, 2012).

Piñeros-Hernandez *et al.* (2017) verificaram a decomposição de filmes de amido de mandioca, glicerol e polifenóis naturais extraídos de folhas de alecrim, com decomposição quase inteiramente após 14 dias de teste. Durante esse período, a integridade dos filmes é mais bem preservada, indicando que a biodegradação foi adiada pela presença de extrato de alecrim.

Essas descobertas podem ser aplicadas a trabalhos futuros: outros resíduos agroindustriais com alta produção podem ser testados para substituir a aveia, como os da indústria cervejeira, e as cascas de arroz. A proporção de componentes pode ser otimizada através do planejamento fatorial, auxiliando na busca de material de embalagem adequado. O design de equipamentos portáteis capazes de controlar a temperatura e a pressão necessários para moldar a massa no formato desejado é crucial para a padronização do processo, sendo que esse equipamento também facilitaria os testes em escala industrial.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho objetivou desenvolver um material para embalagem biodegradável a partir de subprodutos da industrialização da batata (*Solanum tuberosum* L.). Espumas comestíveis biodegradáveis usando um subproduto da industrialização da batata como componente principal, goma xantana como plastificante natural e fibra de aveia como reforçador foram produzidas com sucesso.

Após realizar o levantamento das espumas a base de amido desenvolvidas presentes na literatura entre os anos de 2010 e primeiro semestre de 2020 verificou-se que existe uma variedade de trabalhos que desenvolvem espumas biodegradáveis a base de amido comprovando a relevância do estudo. Porém ao especificar a composição da embalagem desenvolvida não se encontra nenhum estudo anterior reforçando a lacuna na literatura e impulsionando a pesquisa.

O subproduto foi caracterizado através de análises físico-químicas, bem como essas características podem converter um subproduto usualmente descartado ou destinado a produtos de baixo valor agregado em um subproduto em potencial. A partir do subproduto estudado, pode ser produzido ácido láctico, enzimas e um alto teor de compostos fenólicos (polifenólicos, antioxidantes, alcaloides, antimicrobianos), o que o torna importante na área medicinal, no desenvolvimento de alimentos funcionais para humanos ou para animais. Contém quantidades suficientes de amido, celulose e açúcares fermentáveis para ser utilizado como matéria-prima de biocombustíveis e outros produtos fermentados. O amido presente também pode ser utilizado como base de embalagens biodegradáveis.

Foram testados diferentes protocolos e formulações com concentrações de goma xantana e pectina 60% como plastificante e reforço natural da fibra de aveia. Os resultados indicaram que a goma xantana apresentou melhor comportamento na formação da espuma e quantidade dos aditivos influenciou diretamente as características da espuma. Com uma proporção aumentada de plastificante e fibra, a espuma apresentou maiores valores de índice de absorção e solubilidade em água, sugerindo que a interação goma xantana / aveia interferia nessas propriedades.

Quanto às propriedades mecânicas, observou-se que a falta de padronização da matéria-prima e a heterogeneidade térmica do molde resultaram em diferenças significativas entre as amostras com a mesma formulação.

Com relação à biodegradabilidade, observa-se que a hidrólise pode ter sido o principal mecanismo de degradação da espuma e após 20 dias, todas as amostras aderiram totalmente ao solo, sem resíduos.

Propondo o uso sustentável dessa embalagem, em substituição a produtos com alto impacto ambiental, o material de espuma de amido do subproduto da batata pode ser usado em pequenos produtos descartáveis ou embalagens alternativas para alimentos secos, ou aplicado à agricultura em bandejas de sementes, embalagens para o transporte de mudas de plantas ou recipientes de composto.

Após a formação do conhecimento dessa tese, sugerem-se alguns trabalhos futuros a fim de validar e estimular o desenvolvimento de novos produtos biodegradáveis.

Dessa maneira sugere-se:

- Testar outras variáveis (tempo/temperatura) para a elaboração da base seca do subproduto da batata.
- Testar as aplicações do subproduto para minimização do volume de resíduos, desenvolver métodos para padronizar o resíduo para uso industrial, estudar a eficiência energética do resíduo para produção de pellets (tipo carvão), avaliar a hidrólise do amido com o uso de líquidos iônicos para testes de produção de bioetanol e aplicações de outras análises.
- Analisar profundamente outros resíduos agroindustriais com alta produção regional em substituição à aveia.
- Analisar as características do solo após a degradação da embalagem.
- Realizar outras análises para caracterização da espuma como Microscopia de varredura, TG/DTA e DSC.

REFERÊNCIAS

ABBA (Associação Brasileira de Batata). **A batata - História da batata**. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/site/historia-da-batata/>>. Acesso em 20 de março de 2018.

ABIA (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos). **Indústria de alimentos cresce 6,7% em 2019**. Disponível em <https://www.abia.org.br/vsn/tmp_2.aspx?id=422> Acesso em 29 de maio de 2020.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR NM ISO 535: Papel e Cartão**. Determinação da capacidade de absorção de água. Método de Cobb, 1999.

ABRE (Associação Brasileira Embalagem). **A Embalagem nos dias de hoje**. Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/apresentacao-do-setor/a-embalagem/> > Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.

ABRE (Associação Brasileira Embalagem). **Embalagem e sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular**. São Paulo: CETESB, 2016.

ABRE (Associação Brasileira Embalagem). **Estudo abre macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo**. Disponível em < <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2019/>> Acesso em: 29 de maio de 2020.

AHMAD, A. *et al.* Extraction and characterization of β -d-glucan from oat for industrial utilization. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 46, n. 3, p. 304-309, 2010.

AL-WESHAHY, A. *et al.* Effect of storage on antioxidant activity of freeze-dried potato peels. **Food Research International**, v. 50, n. 2, p. 507-512, 2013.

AL-WESHAHY, A.; RAO, A. Venket. Isolation and characterization of functional components from peel samples of six potatoes varieties growing in Ontario. **Food Research International**, v. 42, n. 8, p. 1062-1066, 2009.

AMADO I.R., *et al.* Optimisation of antioxidant extraction from *Solanum tuberosum* potato peel waste by surface response methodology. **Food Chemistry**, 165, pp. 290-299, 2014.

AMARAL, R. D. A. **Efeito de inibidores de escurecimento na qualidade de batatas minimamente processadas**. 2015. 184 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2015.

ANDERSEN, P. J.; HODSON, S. K. **Manufacturing articles and methods for manufacturing laminated structures, including inorganic sheets**. Patente US n. 5.830.548, 3 nov. 1998.

ANVISA 1978. Agência Nacional de Vigilância Sanitária: **Resolução - CNNPA nº 12, de 1978**. p 21-24.

AOAC. 2005. Métodos oficiais de análise da AOAC internacional. Washington: AOAC.

ARAPOGLOU, D. *et al.* Ethanol production from potato peel waste (PPW). **Waste Management**, v. 30, n. 10, p. 1898-1902, 2010.

AROGI, J. C.; ALBUQUERQUE, L. B. C. de. **A comercialização da batata na ceagesp, vista por estagiários de nutrição**. Disponível em <<http://www.hortibrasil.org.br/2016-06-03-10-49-48/a-comercializacao-da-batata-na-ceagesp-vista-por-estagiarios-de-nutricao.html>>. Acesso em 08 de maio de 2018.

ARORA, A.; CAMIRE, M. E. Performance of potato peels in muffins and cookies. **Food Research International**, v. 27, n. 1, p. 15-22, 1994.

BALAKRISHNAN, Preetha *et al.* Morphology, transport characteristics and viscoelastic polymer chain confinement in nanocomposites based on thermoplastic potato starch and cellulose nanofibers from pineapple leaf. **Carbohydrate polymers**, v. 169, p. 176-188, 2017.

BARÃO, M. Z. **Embalagens para produtos alimentícios**. Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR, 2011.

BARBOSA, J. V. *et al.* Effect of peroxide oxidation on the expansion of potato starch foam. **Culturas e Produtos Industriais**, v. 137, p. 428-435, 2019

BÁRTOVÁ, V. *et al.* Amino acid composition and nutritional value of four cultivated South American potato species. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 40, p. 78-85, 2015.

BASTIOLI, C. Biodegradability of polymers. In: Smithers Rapra Technology. Handbook of Biodegradable Polymers. **Shropshire**, UK, pp. 1-32. 2005.

BASTIOLI, C. Properties and applications of Mater-Bi starch-based materials. **Degradação e Estabilidade de Polímeros**, v. 59, n. 1-3, p. 263-272, 1998.

BASTOS-NETO, B. S. *et al.* Isolamento e caracterização de microrganismos amilolíticos presentes na rizosfera de tuberosas amiláceas. **Diálogos & Ciência**, p. 153-158, 2012.

BATTISTELLA, N; COLOMBO, J. R.; ABREU, K. C. K. **A importância da cor nas embalagens como fator influenciador no momento da compra**. Biblioteca online de ciências da comunicação, 2010.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Química no processamento de alimentos**. 2ª Edição. São Paulo: Varela, 1995.

BOORA, S.; BATRA, V. An Analytical Study of the Solid and Hazardous Waste Management in Paper/Paperboard Packaging Industry. **International Journal of Science, Engineering and Computer Technology**, v. 7, n. 1, p. 54-57, 2017.

BORGES, C. VENDRUSCOLO, C: Xanthan Gum: characteristics and operational conditions of production. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, 29, 2008, pp. 171-188. ISSN: 1676-5435

BORGHI, A. R. História da embalagem no Brasil. **Comunicação & Inovação**, v. 8, n. 14, 2010.

BRANDÃO, L. V. **Goma xantana obtida por fermentação da glicerina bruta residual do biodiesel: produção, caracterização e aplicação para fluido de perfuração de poços de petróleo**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal da Bahia, 2012.

BRITO, G. F. *et al.* Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista eletrônica de materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

BRUNDTLAND, G.; KHALID, M. UN **Brundtland commission report**. Our Common Future, 1987.

CARR, L. G. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável tipo espuma a partir de fécula de mandioca**. 2007. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

CAVALCANTI, P.; CHAGAS, C. **História da embalagem no Brasil**. São Paulo: Editora Griffo, 2007. 255p

CEAGESP. Cartilha Técnica: **A medida das hortaliças - São Paulo: CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo**. Centro de Qualidade, Pesquisa e Desenvolvimento, 2017. 16p.

CERRUTI, P.; SANTAGATA, G.; D'AYALA, G. G.; AMBROGI, V.; CARFAGNA, C.; MALINCONICO, M.; PERSICO, P. Effect of a natural polyphenolic extract on the properties of a biodegradable starch-based polymer. **Polymer Degradation and Stability**, v. 96, n. 5, p. 839-846, 2011

CHANG K.C. Polyphenol antioxidants from potato peels: extraction, optimization and application to stabilizing lipid oxidation in foods. **Proceedings of the National Conference on Undergraduate Research (NCUR)**, Ithaca College, New York, USA, 2011.

CHEN, D. *et al.* Biocomposites reinforced with cellulose nanocrystals derived from potato peel waste. **Carbohydrate Polymers**, v. 90, n. 1, p. 709-716, 2012.

CHINTAGUNTA, A. D.; JACOB, S.; BANERJEE, R.. Integrated bioethanol and biomanure production from potato waste. **Waste Management**, v. 49, p. 320-325, 2016.

CHIVRAC, F.; POLLET, E.; AVEROUS, L. Progress in nano-biocomposites based on polysaccharides and nanoclays. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, v. 67, n. 1, p. 1-17, 2009.

COSTA, D. R. da *et al.* **Resíduo industrial de aveia: extração e caracterização do amido visando aplicação em revestimento comestível adicionado de composto antifúngico natural**. Dissertação (Mestrado)- Tecnologia em Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018

COULTATE, T. P. Food: The chemistry of its componentes. Royal **Society of Chemistry**. p. 43-45, 2002.

CRUZ-TIRADO, J. P. *et al.* Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 125, p. 800-807, 2019

CURTI, E. *et al.* The use of potato fibre to improve bread physico-chemical properties during storage. **Food Chemistry**, v. 195, p. 64-70, 2016.

DABESTANI, S.; ARCOT, J.; CHEN, V. Protein recovery from potato processing water: Pre-treatment and membrane fouling minimization. **Journal of Food Engineering**, v. 195, p. 85-96, 2017.

DEBIAGI, F. *et al.* Biodegradable foams based on starch, polyvinyl alcohol, chitosan and sugarcane fibers obtained by extrusion. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. 54, 1043-1052, 2011.

DEBIAGI, F. *et al.* Embalagens biodegradáveis de amido reforçadas com fibras lignocelulósicas provenientes de subprodutos agroindustriais. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 1, n. 2, p. 57-67, 2013.

DEMIATE, I. M.; KONKEL, F. E.; PEDROSO, R. A. Avaliação da qualidade de amostras comerciais de doce de leite pastoso-composição química. **Food Science and Technology**, v. 21, n. 1, p. 108-114, 2001.

DHINGRA, D.; MICHAEL, M.; RAJPUT, H. Physico-chemical characteristics of dietary fibre from potato peel and its effect on organoleptic characteristics of biscuits. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 49, n. 4, p. 25-32, 2012.

DIAS, T. L. *et al.* Utilization of residual pulp of potato in snacks as prospect of reducing environmental impact. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 225-230, 2014.

DOEHLERT, D.C., SIMSEK, S., THAVARAJAH, D., THAVARAJAH, P., OHM, J. B. Detailed composition analyses of diverse oat genotype kernels grown in different environments in North Dakota. **Cereal Chemistry**. v. 90, p. 572-578, 2013.

EDHIREJ, A. *et al.* Cassava/sugar palm fiber reinforced cassava starch hybrid composites: Physical, thermal and structural properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 101, p. 75-83, 2017.

EMBRAPA - CPACT, 2001. 3 p. v. 10. **Caracterização e industrialização da batata**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/hortalicas/batata/composicao-nutricional>>. Acesso em 13 de março de 2018.

ENGEL, J. B; AMBROSI, A.; TESSARO, I. C. Development of a Cassava Starch-Based Foam Incorporated with Grape Stalks Using an Experimental Design. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, n. 12, p. 2853-2866, 2019.

ETXABIDE, A. *et al.* Development of active gelatin films by means of valorisation of food processing waste: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 192-198, 2017.

EUROPEAN COMMISSION, 2011. **Innovation for a Sustainable Future - the Eco-innovation Action Plan (Eco-AP)**, COM (2011) 899 final.

EUROPEN. **The European Organization for Packaging and the Environment. Packaging in the Sustainability Agenda: a guide for corporate decision makers.** ECR Europe. Bruxelas. Bélgica, 2009.

FAMÁ, L.; GERSCHENSON, L.; GOYANES, S. Vegetable fiber and starch compounds to protect food products. **Carbohydrate Polymers**, v. 75, n. 2, p. 230-235, 2009.

FAO. **Potatoes, nutrition and diet.** Disponível em <<http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/IYP-6en.pdf>>. Acesso em 19 de março de 2018.

FAOSTAT. **Cultivo mundial da Batata.** Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC>> Acesso em 30 de abril de 2020.

FARVIN, K.H S.; GREJSEN, H. D.; JACOBSEN, C. Potato peel extract as a natural antioxidant in chilled storage of minced horse mackerel (*Trachurus trachurus*): Effect on lipid and protein oxidation. **Food Chemistry**, v. 131, n. 3, p. 843-851, 2012.

FDA Part 184 - **Direct food substances affirmed as generally recognized as safe.** Subpart B - Listing of specific substances affirmed as GRAS, 184.1588- pectins, 2013.

FERNANDES, A. M. *et al.* Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 826-835, 2010.

FITZPATRICK, P. *et al.* Control of the properties of xanthan/glucomannan mixed gels by varying xanthan fine structure. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 2, p. 1018-1025, 2013.

GHANBARI, A. *et al.* Composites of thermoplastic starch foam reinforced with cellulose nanofibers: Thermal and mechanical properties. **Polymers of Carbohydrates**, v. 197, p. 305-311, 2018.

GLENN, G.M.; ORTS, W.J.; NOBES, G.A.R. Starch, fiber and CaCO₃ effects on the physical properties of foams made by a baking process. **Industrial Crops and Products**, 14, 201-212, 2001.

GOMES, G.V.P. **Produção simultânea de goma xantana e microfibrilas de celulose pela bioconversão de bagaço de cana por Xanthomonas**. Tese (Doutorado)- Engenharia Química, Universidade Federal da Bahia, 2014.

GRAND VIEW RESEARCH. **Mercado de bioplástico mundial 2019**. Disponível em < <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/bioplastics-industry>> Acesso em: 29 de maio, 2020.

GUAN, J.; HANNA, M. A. Selected morphological and functional properties of extruded acetylated starch-cellulose foams. **Bioresource technology**, v. 97, n. 14, p. 1716-1726, 2006.

GUERRA-RODRÍGUEZ E. *et al.* Modelling of the acid hydrolysis of potato (*Solanum tuberosum*) for fermentative purposes. **Biomass and Bioenergy**, 42, pp. 59-68, 2012.

HANANI, ZA N.; ROOS, Y. H.; KERRY, J. P. Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 71, p. 94-102, 2014.

HOSSAIN, Md E. *et al.* Vegetable peels: a promising feed resource for livestock. **Online Journal of Animal and Feed Research**, v. 5, p. 33-39, 2015.

HUNTER, R.S. **The measurement of appearance**. New York: J. Willey, 1975. 411p.

IAL. Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** - coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglia -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008 p. 1020

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas>>. Acesso em 14 março de 2018.

INSUMOS, E. **Conservação de alimentos por aditivos químicos**. Disponível em: <http://insumos.com.br/aditivos_ingredientes/materias/125.pdf> Acesso em: 07/11/2019.

JEDDOU, K. B. *et al.* Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. **Food Chemistry**, v. 217, p. 668-677, 2017.

JEEVAHAN, J. *et al.* A brief review on edible food packing materials. **Journal of Global Engineering Problems and Solutions**, v. 1, n. 1, p. 19 a 19 de 2017.

JORGE, N. Embalagens para Alimentos. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013

JOSHI, S. Can nanotechnology improve the sustainability of biobased products? The case of layered silicate biopolymer nanocomposites. **Journal of Industrial Ecology**, v. 12, n. 3, p. 474-489, 2008.

KABIR, M.E.; SAHA, M.C.; JEELANI, S. Tensile and fracture behavior of polymer foams. **Materials Science and Engineering: A**, 429, 225-235, 2006.

KAISANGSRI, N.; KERDCHOECHUEN, O.; LAOHAKUNJIT, N. Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 110, p. 70-77, 2014.

KAN, A; DEMIRBOĞA, R. A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates. **Journal of Materials Processing Technology**, v.209, n. 6, p. 2994-3000, 2009.

KANATT, S. R. *et al.* Potato peel extract a natural antioxidant for retarding lipid peroxidation in radiation processed lamb meat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 5, p. 1499-1504, 2005.

KASAPIDOU, E.; SOSSIDOU, E.; MITLIANGA, P. Fruit and vegetable co-products as functional feed ingredients in farm animal nutrition for improved product quality. **Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 1020-1034, 2015.

KHAN, B. *et al.* Thermoplastic starch: A possible biodegradable food packaging material: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 3, p. e12447, 2017.

KHAWLA, B. J. *et al.* Potato peel as feedstock for bioethanol production: A comparison of acidic and enzymatic hydrolysis. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 144-149, 2016.

LANDIM, A. P. M. *et al.* Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 26, 2016.

LAPPALAINEN, K. *et al.* Modification of potato peel waste with base hydrolysis and subsequent cationization. **Carbohydrate Polymers**, v. 132, p. 97-103, 2015.

LEIVAS, C. L. *et al.* Structural, physico-chemical, thermal and pasting properties of potato (*Solanum tuberosum* L.) flour. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 111, n. 3, p. 2211-2216, 2013.

LI, Y. *et al.* Fabrication and characterization of TiO₂/whey protein isolate nanocomposite film. **Food Hydrocolloids**, v.25, p.1098 - 1104, 2011.

LIANG, S. *et al.* Analysis of microbial community variation during the mixed culture fermentation of agricultural peel wastes to produce lactic acid. **Bioresource Technology**, v. 208, p. 7-12, 2016.

LIANG, S.; MCDONALD, A. G.; COATS, E. R. Lactic acid production with undefined mixed culture fermentation of potato peel waste. **Waste Management**, v. 34, n. 11, p. 2022-2027, 2014.

LINDH, H.; OLSSON, A.; WILLIAMS, H. Percepções dos consumidores sobre embalagens de alimentos: contribuindo ou neutralizando o desenvolvimento ambientalmente sustentável. **Tecnologia e Ciência de Embalagens**, v. 29, n. 1, p. 3-23, 2016.

LOPES, B. M. *et al.* Xanthan gum: properties, production conditions, quality and economic perspective. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 54, n. 3, p. 185-194, 2015.

LOVATTO, M. T. *et al.* Minimal processing of potato tubers with low commercial value. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 258-265, 2012.

LUCHESE, C. L. *et al.* Evaluation of the influence of different agro-industrial residues incorporation in cassava starch-based films. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, 2, 802-812, 2019.

MACHADO, C. M. *et al.* Effect of Broken Rice Flour Addition on Cassava Starch-Based Foams. **Starch-Stärke**, v. 70, n. 11-12, p. 1700191, 2018.

MACHADO, C. M.; BENELLI, P.; TESSARO, I. C. Study of interactions between cassava starch and peanut skin on biodegradable foams. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 147, p. 1343-1353, 2020.

MACLEAN, W. *et al.* **Food energy-Methods of analysis and conversion factors.** Food and Agriculture Organization of the United Nations Technical Workshop Report. 2003.

MALI, S. *et al.* Starch, sugarcane bagasse fibre, and polyvinyl alcohol effects on extruded foam properties: A mixture design approach. **Industrial Crops and Products**, v. 32, n. 3, p. 353-359, 2010.

MANIGLIA, B. C. **Elaboração de filmes biodegradáveis a partir do subproduto da extração do pigmento de Cúrcuma.** 2012. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

MARUYAMA, L. Y. *et al.* Textura instrumental de queijo petit-suisse potencialmente probiótico: influência de diferentes combinações de gomas. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 2, p. 386-393, 2006.

MASKE, N. S.; SATYANARAYAN, S. Effect of special fish feed prepared using potato peels on fresh water fish *labeo-rohita*. **I Control Pollution**, v. 29, n. 1, 2012.

MELLO, L.R.P.F.; MALI, S. Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. **Industrial Crops and Products**, 55, 187-193, 2014.

MENSITIERI, G. *et al.* Questões de processamento e prazo de validade de materiais e estruturas de embalagens de alimentos selecionados a partir de recursos renováveis. **Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 2-3, p. 72-80, 2011.

MERCADO, G. *et al.* Are Polymers Toxic? Case Study: Environmental Impact of a Biopolymer. **J. Journal of Environmental Science and EngineeringB**, 6, 121-126, 2017.

MIRANDA, V. R.; CARVALHO, A. J. F. Blendas compatíveis de amido termoplástico e polietileno de baixa densidade compatibilizadas com ácido cítrico. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 5, 2011.

MUHONDWA, J. P.; MARTIENSSEN, M.; BURKHARDT, M. Feasibility of Anaerobic Digestion of Potato peels for Biogas as Mitigation of Greenhouse gases Emission Potential. **International Journal of Environmental Research**, v. 9, n. 2, 2015.

NASCIMENTO, R. F. do; CANTERI, M. H. G. Effect of blanching on physicochemical characteristics of potato flour. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 461-465, 2018.

NELSON, M. L. Utilization and application of wet potato processing coproducts for finishing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. suppl_13, p. E133-E142, 2010.

NEPA-NÚCLEO, DE ESTUDOS E PESQUISAS; ALIMENTAÇÃO, E. M. Tabela brasileira de composição de alimentos. **NEPA-Unicamp, Campinas (SP)**, 105p, v. 20, 2011.

OKEKE, B. C.; FRANKENBERGER JR, W. T. Use of starch and potato peel waste for perchlorate bioreduction in water. **Science of the Total Environment**, v. 347, n. 1-3, p. 35-45, 2005.

PALANIRAJ, A.; JAYARAMAN, V. Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 1, p. 1-12, 2011.

PEELMAN, N. *et al.* Application of bioplastics for food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 32, n. 2, p. 128-141, 2013.

PENG, L.; ZHONGDONG, L.; KENNEDY, J., F. The study of starch nano-unit chains in the gelatinization process. **Carbohydrate Polymers**, [Birmingham], v. 68, p. 360-366, 2007.

PEREIRA, C. A. *et al.* Utilização de farinha obtida a partir de rejeito de batata na elaboração de biscoitos. **Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, v. 11, n. 01, 2009.

PETRI, D. F. S. Xanthan gum: A versatile biopolymer for biomedical and technological applications. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 132, n. 23, 2015.

PIÑEROS-HERNANDEZ, D. *et al.* Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. **Food hydrocolloids**, v. 63, p. 488-495, 2017.

PLASTICS EUROPE. **Plastics - the Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste** data. [S.l.]: Plastics Europe, 2019 14 p.

POLAT, S. *et al.* The effects of the addition of corn husk fibre, kaolin and beeswax on cross-linked corn starch foam. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 2, p. 267-276, 2013.

RAVINDRAN, R.; JAISWAL, A. K. Exploitation of food industry waste for high-value products. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 58-69, 2016.

RICHELLE, A. *et al.* Macroscopic modelling of bioethanol production from potato peel wastes in batch cultures supplemented with inorganic nitrogen. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 38, n. 9, p. 1819-1833, 2015.

ROGOLS, S.; SIROVATKA, D. M.; WIDMAIER, R. G. **Packaging and Structural Materials Comprising Potato Peel Waste**. U.S. Patent n. 6,440,204, 27 de agosto 2002.

ROMMI, K. *et al.* Potato peeling costreams as raw materials for biopolymer film preparation. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 5, 2016.

ROSALAM, S.; ENGLAND, R. Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris* sp., **Enzyme and Microbial Technology**, 39, p.197-207, 2006.

SALGADO, P. R. *et al.* Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 3, p. 435-443, 2008.

SALLES, L. A. **Mercado mundial**. Cultivar hortaliças e frutas Pelotas. 2001.

SANHAWONG, W.; BANHALEE, P.; BOONSANG, S.; KAEWPIROM, S. Effect of concentrated natural rubber latex on the properties and degradation behavior of cotton-fiber-reinforced cassava starch biofoam. **Industrial Crops and Products**, 108, 756-766, 2017.

SCHARF, R. *et al.* Valorisation of Potato (*Solanum tuberosum*) Peel Waste: Extraction of Fibre, Monosaccharides and Uronic Acids. **Waste and Biomass Valorization**, p. 1-6, 2018.

SCHOLS, H. A.; VORAGEN, A. G. J. Complex pectins: structure elucidation using enzymes. **Pectins and Pectinases**, v. 14, p. 3-19, 1996.

SHENG, Y., *et al.* C. Efeito da goma xantana no desempenho de espuma aquosa formadora de filme. **Journal of Dispersion Science and Technology**, 37 (11), 1664-1670, 2016.

SHEY, J. *et al.* Properties of baked starch foam with natural rubber latex. **Industrial Crops and Products**, v. 24, n. 1, p. 34-40, 2006.

SHOGREN, R.L.; LAWTON, J.W.; DOANE, W.M.; TIEFENBACHER, K.F. Structure and morphology of baked starch foams. **Polymer**, 39, 6649-6655. **1998**.

SILVA, K. M. S. **Reciclagem de poliestireno expandido: compósito com fibras de sisal para confecção de placas de circuito impresso**. TCC (Graduação) - Engenharia de Materiais, Universidade Estadual Paulista, 2013.

SINGH, N. *et al.* Protective effect of potato peel extract against carbon tetrachloride-induced liver injury in rats. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 26, n. 2, p. 241-246, 2008.

SINGH, N.; KAMATH, V.; RAJINI, P. S. Attenuation of hyperglycemia and associated biochemical parameters in STZ-induced diabetic rats by dietary supplementation of potato peel powder. **Clínica Chimica Acta**, v. 353, n. 1-2, p. 165-175, 2005.

SLAVUTSKY, A.M.; BERTUZZI, M.A. Water barrier properties of starch films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from sugarcane bagasse. **Carbohydr. Polymers**, 110, 53-61, 2014.

Sodium Benzoate (CAS #532-32-1) GreenScreen™ Assessment. Disponível em < https://www.healthandenvironment.org/uploads/docs/532-321_Sodium_benzoate_GS-100_v1.2_Dec_2012.pdf > Acesso em 10 de fevereiro de 2020.

SOLANO, A. C. V.; DE GANTE, C. R.. Development of biodegradable films based on blue corn flour with potential applications in food packaging. Effects of plasticizers on mechanical, thermal, and microstructural properties of flour films. **Journal of Cereal Science**, v. 60, n. 1, p. 60-66, 2014.

SOLOMONS, T. W. G., FRYHLE, C. B. **Química Orgânica**. Volume 2. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2012.

SOUSA, L. C. F. S. *et al.* Tecnologia de embalagens e conservação de alimentos quanto aos aspectos físico, químico e microbiológico. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 1, p. 19-28, 2012.

SOUZA, J. R. *et al.* **Estudo de nanocompósitos de pectina com nanopartículas de quitosana e carvacrol para aplicação em embalagens**. Dissertação (Mestrado) - Química. UFSCAR, 2017.

SOYKEABKAEW, N.; THANOMSILP, C.; SUWANTONG, O. A review: Starch-based composite foams. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 246-263, 2015.

STOFFEL, F.; BARRETO, L.P.; ZENI, M. Preparation of Cassava Starch-based Trays with Glycerol, Sorbitol and Poly (Vinyl Alcohol): Properties and Influence for Use as Food Packaging. **Journal of Food Science and Technology**, 4, 45-52, 2018.

TAMMINENI, N.; ÜNLÜ, G.; MIN, S. C. Development of antimicrobial potato peel waste-based edible films with oregano essential oil to inhibit *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 48, n. 1, p. 211-214, 2013.

TAWILA, M.; OMER, H.; GAD, S. M. Partial replacing of concentrate feed mixture by potato processing waste in sheep rations. **Cellulose**, v. 20, n. 2.50, p. 26.73, 2008.

TEIXEIRA, E. de M. *et al.* Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch. **Carbohydrate polymers**, v. 78, n. 3, p. 422-431, 2009.

TEIXEIRA, E. M. **Utilização de amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos. 2007.** Tese (Doutorado)- Química. Universidade de São Paulo, São Carlos.

TIWARI, U.; CUMMINS, E. Simulation of the factors affecting β -glucan levels during the cultivation of oats. **Journal of Cereal Science**, v. 50, n. 2, p. 175-183, 2009

TOMA, R. B. *et al.* Physical and chemical properties of potato peel as a source of dietary fiber in bread. **Journal of Food Science**, v. 44, n. 5, p. 1403-1407, 1979.

TORRES, A. V. *et al.* Espuma biodegradável assada, feita com amido de chayotextle misturado com farinha de banana e fibra de madeira. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 134, n. 48, p. 45565, 2017.

VENTURI, F. *et al.* Potato Peels as a Source of Novel Green Extracts Suitable as Antioxidant Additives for Fresh-Cut Fruits. **Applied Sciences**, v. 9, n. 12, p. 2431, 2019.

VERCELHEZE, A. ES *et al.* Properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1302-1310, 2012.

VITTI, M. C. D.; *et al.* Atividade respiratória e aspectos microbiológicos de cultivares de batatas minimamente processadas e armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 208-212, 2010.

WANG, R. M.; WANG, Y.; MA, G. P.; H.E, Y. F.; ZHAO, Y. Q. Efficiency of porous burnt-coke carrier on treatment of potato starch wastewater with an anaerobic-aerobic bioreactor. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 148, p. 35-40, 2009.a

WANG, W. *et al.* Changes in composition, structure, and properties of jute fibers after chemical treatments. **Fibers and Polymers**, v. 10, n. 6, p. 776-780, 2009.b

WEBER, C. J. **Biobased packaging materials for the food industry: status and perspectives, a European concerted action**. KVL, 2000.

WU, D. Recycle technology for potato peel waste processing: A review. **Procedia Environmental Sciences**, v. 31, p. 103-107, 2016.

YAMADA, S. *et al.* Enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation of by-products from potato processing plants. **Food Science and Technology Research**, v. 15, n. 6, p. 653-658, 2009.

ZANELA, J. *et al.* Oat Fiber as Reinforcement for Starch/Polyvinyl Alcohol Materials Produced by Injection Molding. **Starch-Stärke**, 70, 1700248, 2018.

ZHANG, Z. *et al.* A low cost and highly efficient adsorbent (activated carbon) prepared from waste potato residue. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 49, p. 206-211, 2015.

APÊNDICE A - PUBLICAÇÃO INTERNACIONAL

RODRIGUES, N. H. P. *et al.* Starch-Based Foam Packaging Developed from a By-Product of Potato Industrialization (*Solanum tuberosum* L.). **Applied Sciences**, v. 10, n. 7, p. 2235, 2020.



Article

Starch-Based Foam Packaging Developed from a By-Product of Potato Industrialization (*Solanum tuberosum* L.)

Nathalie Hamine Panzarini Rodrigues ^{1,*}, Jovani Taveira de Souza ¹,
Reinaldo Luan Rodrigues ², Maria Helene Giovanetti Canteri ³,
Sandra Mara Kaminski Tramontin ⁴ and Antonio Carlos de Francisco ¹

¹ Department of Production Engineering, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, R. Doutor Washington Subtil Chueire, 330, Jardim Carvalho, Ponta Grossa 84017-220, Paraná, Brazil; jovanisouza5@gmail.com (J.T.d.S.); acfrancisco@utfpr.edu.br (A.C.d.F.)

² Department of Science and Technology Teaching, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, R. Doutor Washington Subtil Chueire, 330, Jardim Carvalho, Ponta Grossa 84017-220, Paraná, Brazil; rldrodrigues@outlook.com.br

³ Department of Chemistry and Biology, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Linha Santa Bárbara, Francisco Beltrão 85601-970, Paraná, Brazil; canteri@utfpr.edu.br

⁴ Department of Mechanical Engineering, Destructive and Non-Destructive Testing Laboratory, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, R. Doutor Washington Subtil Chueire, 330, Jardim Carvalho, Ponta Grossa 84017-220, Paraná, Brazil; stramontin@utfpr.edu.br

* Correspondence: nhpanzarini@gmail.com; Tel.: +55-42-3235-7055

Received: 18 February 2020; Accepted: 18 March 2020; Published: 25 March 2020



Abstract: The use of petroleum-based packaging and its disposal in the environment poses several environmental problems, driving research into the development of biopolymers as substitutes for conventional polymers. Therefore, this study used the by-product of potato industrialization as the main raw material, xanthan gum as a plasticizer, and natural oat fiber as reinforcement to develop a biodegradable foam through thermo-pressing. The morphology, mechanical properties, and biodegradability of the final product were investigated. The water absorption and solubility index were highest in the sample with 20% plasticizer and 20% fiber. The water activity was not affected by variations in additives. The samples with the highest concentration of additives had the highest mechanical tensile strength, but there was a limit to these levels for foam resistance. The most accentuated visual effect was the yellow color. It is believed that hydrolysis was the main foam degradation mechanism, which took between 14 and 20 days for total decomposition. The combination of a by-product from potato industrialization with xanthan gum and natural oat fiber made it possible to produce a promising substitute for synthetic polymers, providing an environmentally friendly solution for both the use of agro-industrial by-products and reducing the volume of petroleum-based packaging waste.

Keywords: biopolymer; by-product; xanthan gum; oat fiber

1. Introduction

The use of petroleum-derived polymers has accelerated in recent years. The largest percentage of plastic is derived from fossil fuels, which exerts excessive pressure on non-renewable sources, and also degrades very slowly over periods between 100 and 450 years. This degradation involves its fragmentation into smaller particles, which causes impacts on water, air, and soil that directly affect the environment and health [1,2]. The authors [1] propose that this effect can be reduced by managing solid by-products.