

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TESE

**DESENVOLVIMENTO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS ANTIMICROBIANOS À
BASE DE CASCA DE BANANA (*Musa sp.*) COM POTENCIAL APLICAÇÃO
COMO EMBALAGEM DE ALIMENTOS**

ANA SÍLVIA BORONI DE OLIVEIRA

2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS ANTIMICROBIANOS À
BASE DE CASCA DE BANANA (*Musa sp.*) COM POTENCIAL APLICAÇÃO
COMO EMBALAGEM DE ALIMENTOS**

ANA SÍLVIA BORONI DE OLIVEIRA

Sob a Orientação da Professora
Nathália Ramos de Melo

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de concentração em Ciência de Embalagens.

Seropédica, RJ
Novembro, 2022

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O48d Oliveira, Ana Sílvia Boroni de, 1987-
Desenvolvimento de filmes biopoliméricos
antimicrobianos à base de casca de banana (Musa sp.)
com potencial aplicação como embalagem de alimentos /
Ana Sílvia Boroni de Oliveira. - Ponte Nova, 2022.
126 f.: il.

Orientadora: Nathália Ramos de Melo.
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro, Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, 2022.

1. Embalagem ativa. 2. Resíduos agroindustriais. 3.
Material de base biológica. 4. Filme antimicrobiano.
5. Casca de banana. I. Melo, Nathália Ramos de, 1975
, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos III. Título.



TERMO N° 1220/2022 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

N° do Protocolo: 23083.073314/2022-78

Seropédica-RJ, 29 de novembro de 2022.

ANA SÍLVIA BORONI DE OLIVEIRA

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.
TESE APROVADA EM 25/11/2022

NATHÁLIA RAMOS DE MELO (Dra.) UFF (orientadora)

JOSE LUCENA BARBOSA JUNIOR (Dr) UFRRJ

CARLOS EDUARDO DE SOUZA TEODORO (Dr) UFF

ANA PAULA MARTINAZZO (Dra) UFF

MARCOS VINÍCIUS HENDGES (Dr) IFMS

Documento não acessível publicamente

(Assinado digitalmente em 29/11/2022 21:43)

JOSE LUCENA BARBOSA JUNIOR
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)
Matricula: ###550#9

(Assinado digitalmente em 02/02/2023 09:53)

MARCOS VINÍCIUS HENDGES
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.010-##

(Assinado digitalmente em 02/12/2022 14:47)

ANA PAULA MARTINAZZO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.929-##

(Assinado digitalmente em 30/11/2022 20:30)

CARLOS EDUARDO DE SOUZA TEODORO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.717-##

(Assinado digitalmente em 03/12/2022 23:15)

NATHÁLIA RAMOS DE MELO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.796-##

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, Astézia Elizabeth e Júlio (*in memórian*),
por me educarem no amor e persistência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me fortalecido e sustentado em fé, amor e força para viver essa experiência.

Aos meus familiares, em especial minha mãe Beth, irmãs Marina e Leila, sobrinho João Pedro e afilhadas Estela e Aurora por todo amor, apoio e compreensão; Ao marido Tarcisio que me incentivou e dividiu comigo os mais difíceis momentos e as melhores alegrias desta etapa.

Ao meus amigos da vida que sempre me deram força para prosseguir; À amiga Suelen Alvarenga que tanto me apoiou; Às amigas de laboratório Joyce, Sheyla, Dayana e Agnes que me acompanharam ao longo dessa jornada e levo no coração.

À profª Nathália pela orientação e confiança; À todos os professores que participaram dessa jornada e contribuíram com toda a minha formação.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade, à CAPES pelo apoio financeiro e à Universidade Federal Fluminense por disponibilizar a infraestrutura. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todos os que acreditaram em mim e de alguma forma contribuíram para realização dessa etapa da minha vida.

Muito Obrigada!

RESUMO

OLIVEIRA, Ana Sílvia Boroni. **Desenvolvimento de filmes biopoliméricos antimicrobianos à base de casca de banana (*Musa sp.*) com potencial aplicação como embalagem de alimentos.** 2020. 112p Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

O descarte no meio ambiente de grande volume de embalagens plásticas de difícil degradação, utilizadas para embalar alimentos, bem como o descarte inadequado de resíduos agroindustriais têm recebido atenção em relação a poluição ambiental. Neste sentido, novos materiais, de base biológica, têm sido estudados e propostos na tentativa de minimizar estes efeitos. Os biopolímeros podem ser obtidos de fontes vegetais, sendo os coprodutos da indústria de alimentos potenciais matérias-primas para esta aplicação. Diante disso, o objetivo deste estudo foi desenvolver filmes como materiais de embalagem para aplicação em alimentos à base de coprodutos resultantes do processamento agroindustrial de banana Prata. Com isso, visa o fornecimento de soluções a problemas ambientais, tanto pela disponibilização de um novo material de embalagem como alternativa às matérias-primas fósseis, quanto pela valorização destes coprodutos e adequação de sua disposição frente ao ambiente. Para tanto foram utilizados os frutos de banana prata adquiridos em comércio local com grau padronizado de maturação e suas cascas foram preparadas de forma úmida e também secas em condições de temperaturas controladas. O desenvolvimento dos filmes procederam pelo método “casting”. Foram testadas formulações para a produção de filmes biopolimérico de embalagem à base de cascas úmidas e secas, tendo sido incorporado glicerol para melhorar a plastificação. Para conhecimento de suas características, os coprodutos foram averiguados quanto ao seu perfil de umidade, atividade de água, acidez, pH, além da atividade antimicrobiana. Os filmes devidamente formados foram caracterizados também quanto a sua atividade antimicrobiana, além da espessura e aspecto visual. Com isso, concluiu-se que o estudo foi de grande importância para disponibilizar novos filmes biopoliméricos naturalmente antimicrobianos como materiais de embalagem, provenientes de fonte renovável como alternativas a matérias-primas fósseis e à valorização de coprodutos agroindustriais. Ele também alcançou destacada relevância por poder fornecer soluções a problemas ambientais e à conservação de alimentos com minimização da adição de aditivos químicos em alimentos, apresentando assim viés social, sanitário e ambiental.

Palavras-chave: Base biológica. Embalagem ativa. Resíduos agroindustriais.

GENERAL ABSTRACT

OLIVEIRA, Ana Silvia Boroni. **Development of antimicrobial biopolymeric films based on banana peel (*Musa sp.*) with potential application as food packaging.** 2020. 112p. Thesis (Doctorate in Food Science and Technology). Institute of Technology, Department of Food Science and Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

Disposal into the environment of a large volume of plastic packaging that is difficult to degrade, used to package food, as well as the improper disposal of agro-industrial waste has received attention for causing environmental pollution. In this sense, new biologically-based materials have been studied and proposed in an attempt to minimize these effects. Biopolymers can be obtained from plant sources, and by-products from the food industry are potential raw materials for this application. Therefore, the objective of this study was to develop films as packaging materials for application in food based on by-products resulting from the agro-industrial processing of Prata bananas. With this, it aims to provide solutions to environmental problems, both by providing a new packaging material as an alternative to fossil raw materials, and by valuing these co-products and adapting their disposal to the environment. For this purpose, the banana silver fruits acquired in local commerce with a standardized degree of maturation were used and their peels were prepared in a wet and also dried way under controlled temperature conditions. The development of the films proceeded by the “casting” method. Formulations were tested for the production of biopolymeric packaging films based on wet and dry shells, with glycerol being incorporated to improve plasticization. In order to know their characteristics, the co-products were investigated regarding their moisture profile, water activity, acidity, pH, in addition to their antimicrobial activity. The properly formed films were characterized as to their antimicrobial activity, thickness and visual appearance. With this, it was concluded that the study was of great importance to provide new biopolymeric films naturally antimicrobial as packaging materials, from renewable sources as alternatives to fossil raw materials and the valorization of agro-industrial by-products. It also achieved outstanding relevance for being able to provide solutions to environmental problems and food conservation by minimizing the addition of chemical additives to food, thus presenting a social, health and environmental bias.

Keywords: Biological basis. Active packaging. Agro-industrial waste.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros biométricos básicos de banana (<i>Musa sp.</i>) da variedade Prata.....	23
Tabela 2. Resumo da Análise de Variância para as massas da matéria fresca do fruto inteiro (MI), da casca do fruto (MC) e da polpa do fruto (MP), diâmetro e comprimento do fruto da banana Prata.....	24
Tabela 3. Resumo da Análise de Variância para os parâmetros físico químicos avaliados da Polpa dos frutos de banana Prata em graus de maturação verde e maduro.....	24
Tabela 4. Características físico-químicas de Casca e Polpa de bananas (<i>Musa spp.</i>) da variedade Prata em diferentes graus de maturação	25
Tabela 1. Parâmetros físico-químicos das cascas de bananas secas nas diferentes condições e das farinhas obtidas das respectivas	39
Tabela 1. Filmes elaborados a partir das matérias-primas de casca de banana.....	62
Tabela 2. Parâmetros qualitativos subjetivos para avaliação dos filmes biopoliméricos.....	63
Tabela 3. Características subjetivas dos filmes de casca de banana.....	69
Tabela 1. Descrição das amostras analisadas quanto ao seu potencial de atividade antimicrobiana, com suas respectivas siglas para facilitar a discussão.....	65
Tabela 2. Resultados do potencial antimicrobiano das Matérias primas derivadas da casca de banana (massas e farinhas) e seus respectivos Filmes	69
Tabela 3. Tabela de Análise de Variância comparando a sensibilidade entre os microrganismos frente a cada tipo de amostra	72
Tabela 4. Tabela de Análise de Variância para as amostras de matérias-primas (massas e farinhas hidratadas)	76
Tabela 5. Tabela de Análise de Variância para os filmes elaborados com as matérias-primas (massas e farinhas hidratadas).....	78
Tabela 6. Tabela de Análise de Variância para as massas e seus respectivos filmes.....	79
Tabela 7. Tabela de Análise de Variância comparando a sensibilidade entre os microrganismos frente a cada tipo de amostra de farinhas hidratadas e seus respectivos filmes.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala de maturação de bananas de Von Loesecke. Fonte: PBMH & PIF, 2006.	20
Figura 2. Etapas de higienização e preparo da casca de banana: lavagem (a), sanitização (b) e fracionamento (c)	21
Figura 3. Estimativa em porcentagem da composição da casca e polpa da Banana Prata (a) e sua variação em massa quando em frutos de diferentes graus de maturação (b).	23
Figura 1. Escala de Maturação de Von Loesecke (PBMH & PIF, 2006).....	31
Figura 2. Representação do processo de secagem com as cascas úmidas (a) e já secas dispersas nas bandejas (b), bem como do secador de bandejas em funcionamento, com a tampa ainda aberta (c).	32
Figura 3. Imagens do moinho de facas utilizado para a trituração das cascas secas. Detalhes do equipamento aberto (a) e do conjunto de facas rodeado por parede peneirada (b), após a higienização, do equipamento fechado e preparado (c), e do mesmo em funcionamento com a moagem (d).	33
Figura 4. Conteúdo de umidade em base seca da casca de banana em função do tempo dos experimentos de secagem.....	35
Figura 5. Adimensional de umidade em função do tempo de secagem da casca de banana para as condições operacionais do planejamento experimental.....	35
Figura 6. Adimensional de umidade em função do tempo de secagem da casca de banana para as condições operacionais estabelecidas com os tratamentos sem (a) e com solução de metabissulfito (b).....	37
Figura 7. Cinética de secagem de cascas de banana em temperaturas de 50°C (a), 55°C (b) e 60°C (c)..	37
Figura 8. Taxa de secagem da casca de banana em função da condição de secagem para os diferentes tratamentos.	38
Figura 9. Taxa de secagem em razão da umidade das condições de temperaturas do ar variadas de 50°, 55°C e 60°C, velocidade de ar fixa e dos materiais tratados ou não com solução de metabissulfito de sódio.....	39
Figura 10. Cascas de banana fracionadas, preparadas com os tratamentos com (a) e sem (b) banho em solução de metabissulfito de sódio e distribuídas nas bandejas para secagem.	40
Figura 1. Representação da secagem com as cascas úmidas (a) e já secas (b) no secador de bandejas e a posterior trituração em moinho de facas (c)	48
Figura 2. Processo de obtenção da massa de casca de banana com o cozimento da casca (a), drenagem da umidade superficial adquirida (b) e trituração das cascas em massa (c)	48
Figura 3. Demonstração do processo de elaboração dos filmes com as etapas de elaboração do material em banho-maria (a), ajuste de pH (b), fracionamento em placas e processo de secagem dos filmes (c e d).	49
Figura 4. Demonstração das massas ((a) e (d)) com maceração insuficiente, e filmes derivados antes ((b) e (e)) e após ((c) e (f)) a secagem.....	52
Figura 5. Massa de casca de banana madura sem (a) e com (b) tratamento com metabissulfito de sódio e massa de casca de banana verde tratamento com metabissulfito de sódio.	53
Figura 6. Farinhas de casca de banana obtidas sem (a) e com (b) o tratamento em solução de metabissulfito de sódio.....	53
Figura 7. Material biopolimérico não formado (a) e filme formado com a utilização de farinha de casca de banana (b).....	54
Figura 8. Primeiros materiais poliméricos oriundos de casca de banana: a e b – derivados da massa, c e d – derivados da farinha.	55
Figura 9. Filmes desenvolvidos.	56
Figura 10. FMT – filme de massa com adição de tween (a) e FMAM – filme de massa com adição de amido (b).	57

Figura 1. Capela de fluxo laminar com materiais e meios de cultura estéreis para as análises (a). Materiais utilizados e massa de farinha reconstituída em moldes de colheres plásticas e sobreposta sobre a placa já inoculada (b).	66
Figura 2. Representação das etapas da avaliação da atividade antimicrobiana com a sobreposição filme em placa inoculada (a), incubação em B.O.D. (b), leitura e registro dos resultados numérico e descritivo (c e d) e registro fotográfico das placas com o resultado final.	67
Figura 3. Demonstração do seguimento do experimento após retirada da amostra circular das placas inoculadas com bactérias (a) e com fungo (b), após crescimento dos microrganismos inoculados e leitura dos resultados.	67
Figura 4. Placas inoculadas com <i>Staphylococcus aureus</i> (a) e <i>Escherichia coli</i> (b), sobrepostas com filtro de papel sem adição de nenhuma substância para representar o branco das análises.	68
Figura 5. Registro fotográfico das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana das matérias-primas - massas úmidas (a) e farinhas hidratadas (c) – e seus respectivos materiais de embalagem (b e c), frente à bactéria <i>S. aureus</i> ..	70
Figura 6. Imagens das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana das matérias-primas - massas úmidas (a) e farinhas hidratadas (b) maduras, e massa úmida verde (c) – e seus respectivos materiais de embalagem (d, e, f), frente à bactéria <i>E. coli</i> ..	71
Figura 7. Imagens das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana das matérias-primas - massas úmidas (a) e farinhas reidratadas (b) maduras e seus respectivos materiais de embalagem (c, d), frente à bactéria <i>L. monocytogenes</i>	71
Figura 8. Imagens das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana das matérias-primas - massas úmidas (a) e farinhas hidratadas (b) maduras, e massa úmida verde (c) – e seus respectivos materiais de embalagem (d, e, f), frente ao fungo <i>Penicillium sp.</i>	71
Figura 9. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana proporcionada por cada amostra derivada de casca de banana, com comparação estatística do potencial antimicrobiano de cada amostra sobre os microrganismos em estudo.....	74
Figura 10. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana pelas amostras, com comparação estatística da sensibilidade individual dos microrganismos frente às amostras de matérias-primas de casca de banana (massa e farinha hidratada).	77
Figura 11. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana pelas amostras, com comparação estatística da sensibilidade individual dos microrganismos frente às amostras de filmes derivados das matérias-primas de casca de banana.....	78
Figura 12. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana pelas amostras, com comparação estatística da sensibilidade individual dos microrganismos frente às amostras de massas de cascas de banana e seus filmes derivados.....	80
Figura 13. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana pelas amostras, com comparação estatística da sensibilidade individual dos microrganismos frente às amostras de farinhas hidratadas de cascas de banana e seus filmes derivados.	81
Figura 14. Imagens das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana, as quais mesmo não havendo formação de halo de inibição ao redor do material, o deslocamento do mesmo durante a manipulação e/ou incubação provocou inibição aparente no local inicial de sua disposição.	84
Figura 15. Imagens com placas de Petri representando avaliação do efeito microbiostático e/ou microbicida das amostra com e sem tratamento em solução de metabissulfito de sódio, após novo período de incubação, sob <i>S. aureus</i> (a), <i>E. coli</i> (b), <i>Penicillium</i> (c) e <i>Listéria</i> (d).....	86

Figura 16. Imagens dos resultados da avaliação antimicrobiana frente à *S. aureus* e *E.coli*, com promoção de efeitos qualitativos pontuais. Placas com os filmes de massas (a) e com as massas (b) de cascas de banana como amostra. 86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO (GERAL)	1
2. OBJETIVOS GERAIS	2
3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	3
CAPÍTULO I	4
O MERCADO DE EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS E SUSTENTABILIDADE	4
1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3 CONCLUSÕES	13
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
CAPÍTULO II	18
CARACTERIZAÇÃO DE <i>MUSA SP.</i> UTILIZADA COMO MATÉRIA- PRIMA PARA A ELABORAÇÃO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS	18
1 INTRODUÇÃO	19
2 MATERIAL E MÉTODOS	20
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4 CONCLUSÃO	26
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
CAPÍTULO III	29
ESTUDO DA SECAGEM DE CASCAS DE <i>MUSA SP.</i> VISANDO SUA DISPONIBILIZAÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A ELABORAÇÃO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS	29
1 INTRODUÇÃO	30
2 MATERIAL E MÉTODOS	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4 CONCLUSÃO	41
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
CAPÍTULO IV	44
DESENVOLVIMENTO DE MATÉRIAS PRIMAS E FILMES BIOPOLIMÉRICOS À BASE DE CASCA DE <i>MUSA SP.</i> PARA APLICAÇÃO COMO EMBALAGENS DE ALIMENTOS	44
1 INTRODUÇÃO	45
2 MATERIAL E MÉTODOS	47
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4 CONCLUSÃO	57
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
CAPÍTULO V	60
ESTUDO DO POTENCIAL ANTIMICROBIANO DE MATÉRIAS-PRIMAS E FILMES BIOPOLIMÉRICOS À BASE DE CASCA DE <i>MUSA SP.</i> PARA APLICAÇÃO COMO EMBALAGENS DE ALIMENTOS	60
1 INTRODUÇÃO	61
2 MATERIAL E MÉTODOS	64
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4 CONCLUSÃO	87

5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
4.	CONCLUSÕES GERAIS	90
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
	(GERAIS)	91
	ANEXO.....	126

1. INTRODUÇÃO

(GERAL)

A perecibilidade dos alimentos implica em uma grande perda econômica para o mercado. Os maiores volumes de perdas de alimentos acontecem durante a cadeia produtiva, antes de chegar aos consumidores. Neste sentido, investimentos em pesquisas e desenvolvimento de processos e embalagens são fundamentais para aumentar o período de preservação dos alimentos e sua acessibilidade aos consumidores, por prolongar seu tempo para transporte e comercialização.

O segmento de embalagens atende a diversos setores, como das indústrias de alimentos e do agronegócio, com o intuito de prolongar a conservação dos produtos, dentre outras funções básicas. A demanda por alimentos mais saudáveis e com características cada vez mais próximas às naturais, decorrente das mudanças de hábitos alimentares, impulsiona o surgimento de novas tecnologias de embalagens. O desenvolvimento de materiais ativos para embalagens primárias se destaca como uma das tecnologias inovadoras.

A tecnologia de embalagens ativas é promissora e têm sido reconhecida como emergente por ser utilizada para melhorar as características dos produtos alimentícios, reduzindo a adição direta de substâncias químicas. Ela pode se basear na migração controlada de aditivos da embalagem para o produto como forma de promover uma melhoria na sua conservação por meio, por exemplo, da redução da oxidação ou do crescimento microbiano. Esta tecnologia tem se destacado devido à preocupação com a forma de adição demasiada de aditivos e conservantes utilizada por indústrias alimentícias em seus produtos e o impacto de seu consumo excessivo e por tempo prolongado à saúde.

Com o avanço da produção e utilização de embalagens plásticas, provenientes de fontes fósseis, bem como a falta de programas de gestão adequada de resíduos pós-consumo, tem havido uma disposição deliberada desses materiais no ambiente, resultando em impactos ambientais e consequências para saúde humana. Para contornar este problema, o desenvolvimento de novos materiais, provenientes de base biológica, têm ganhado destaque.

Provenientes da industrialização de alimentos, os resíduos agrícolas, como as cascas de frutas e hortaliças têm sido reconhecidos como um fardo ecológico para a sociedade, isso porque a prática de descarte inadequado dos mesmos gera grandes prejuízos ambientais e para a sociedade. Esses resíduos são comumente materiais ricos em biomassa lignocelulósica, pectina e compostos nutricionais, o que tem gerado um estímulo cada vez maior de sua utilização e aproveitamento.

As cascas de frutas como da banana são fontes significativas de fibras capazes de formar gel, o que pode ser um indicativo da possibilidade de formação de um material de embalagem. Com isso, explorar os coprodutos de frutas, gerados pelo seu processamento nas agroindústrias, destinando-os para aplicação no desenvolvimento de materiais de embalagens

é uma boa alternativa para reduzir os problemas ambientais causados tanto pelo seu descarte inadequado, quanto pela substituição de materiais plástico derivados do petróleo.

Assim, o desenvolvimento de um material de embalagem biopolimérico produzido à partir de resíduos agroindustriais é promissor para a aplicação como embalagem de alimentos e possui características ímpares de sustentabilidade.

2. OBJETIVOS GERAIS

2.1. Objetivo

Desenvolver um filme biopolimérico antimicrobiano à base de coprodutos resultantes do processamento agroindustrial de bananas (*Musa* sp.), visando a aplicação em alimentos para fornecer melhorias de conservação sem a utilização de conservantes e o fornecimento de soluções a problemas ambientais, tanto pela disponibilização de um novo material de embalagem como alternativa às matérias-primas fósseis, quanto pela adequação de sua disposição frente ao ambiente.

2.2. Objetivos Específicos

Estudar a problematização ambiental do mercado de embalagens alimentícias e do descarte inadequado de resíduos agroindustriais para propor embalagens alimentícias com viés social, ambiental, nutricional e sanitário.

Caracterizar resíduos provenientes da industrialização de banana Prata para propor seu aproveitamento como subproduto;

Transformar resíduos agroindustriais de banana em matérias-primas base para a produção de filmes biopoliméricos de embalagem alimentícias;

Traçar os parâmetros físico-químico dos materiais obtidos de casca de banana como matérias-primas para o desenvolvimento dos filmes;

Realizar estudo de secagem das cascas de banana para a obtenção de farinhas como matérias primas secas para utilização no desenvolvimento e elaboração dos filmes;

Desenvolver e elaborar filmes biopoliméricos pelo método “casting”, utilizando coproduto do processamento de banana;

Avaliar o potencial antimicrobiano dos materiais e dos filmes de casca banana desenvolvidos.

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O desenvolvimento do trabalho foi realizado em etapas e toda parte experimental realizada no Laboratório Agroindustrial de Embalagem e Tecnologia do Departamento de Engenharia de Agronegócios (LAETec), da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense (UFF).

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico no qual foi possível reunir informações importantes sobre as embalagens em termos de mercado, aplicações na indústria de alimentos e sustentabilidade, evidenciando a importância, e nortear estudos para o desenvolvimento de embalagens mais sustentáveis ao meio ambiente.

Sequencialmente realizou-se o estudo das características biométricas da banana e da casca residual em processamento, estimando-se o volume desses resíduos gerados pela indústria com potencial de aproveitamento como coproduto para elaboração de filmes biopoliméricos com potencial aplicação em embalagens de alimentos.

Um estudo da secagem das cascas de banana foi efetuado, permitindo o entendimento do comportamento das cascas ao longo da secagem em diferentes condições e possibilitando a verificação da melhor condição a ser utilizada para a transformação deste coproduto em matéria prima seca.

O estudo seguiu-se então com o desenvolvimento de matérias primas secas e úmidas a partir da casca de banana, e com o desenvolvimento da metodologia para elaboração de filmes biopoliméricos utilizando-se dessas matérias-primas.

Por fim, procedeu-se o estudo da capacidade antimicrobiana das matérias-primas e dos filmes de casca de banana obtidos no decorrer do estudo, frente a bactérias e fungo recorrentes de contaminação em alimentos e possíveis promotores de doença alimentar, verificando sua efetividade em inibir os seus desenvolvimentos.

Frente às diversas etapas do estudo, o desenvolvimento do trabalho foi descrito em capítulos para uma maior clareza e discussão dos conteúdos e resultados.

CAPÍTULO I

ARTIGO PUBLICADO (VIDE ANEXO): A.S.B. DE OLIVEIRA AND N.R. DE MELO. MARKET AND SUSTAINABILITY OF FOOD PACKAGING: A REVIEW. B.CEPPA, CURITIBA, V. 36, N. 1, JAN./JUN. 2019.

O MERCADO DE EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS E SUSTENTABILIDADE

RESUMO

As embalagens de alimentos constituem ferramenta essencial da indústria alimentícia por proteger os produtos de interferências ambientais que podem ser prejudiciais ao produto e à saúde dos consumidores. Com isso o mercado mundial de embalagens é crescente e estimula o desenvolvimento de novas tecnologias para suprir a demanda industrial. No entanto, com o avanço da produção e utilização de materiais provenientes de fontes fósseis, bem como a falta de programas de gestão adequada de resíduos pós-consumo, tem havido uma deposição deliberada desses materiais no ambiente, resultando em impactos ecológicos e consequências sanitárias. Neste sentido, fontes renováveis têm ganhado destaque, sendo os materiais provenientes de base biológica uma das principais alternativas para aplicação em embalagens. Palavras-chave: Materiais de embalagens; Resíduos sólidos; Biopolímero; Bioplástico.

ABSTRACT

Food packaging is an essential tool for the food industry to protect products from environmental interference that can be harmful to the product and the health of consumers. As a result, the global packaging market is growing and stimulates the development of new technologies to meet industrial demand. However, with the advancement of production and use of materials from fossil sources, as well as the lack of adequate post-consumer waste management programs, there has been a deliberate disposal of these materials in the environment, resulting in ecological impacts and health consequences. In this sense, renewable sources have gained prominence, with bio-based materials being one of the main alternatives for application in packaging.

Keywords: Packaging materials; solid waste; Biopolymer; Bioplastic.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade do uso de embalagens para o armazenamento, transporte e comercialização dos produtos de maneira adequada existe desde o surgimento dos grandes processos tecnológicos. As embalagens de alimentos têm como objetivo principal proteger os produtos de fatores como luz, oxigênio e umidade, bem como intermediar a comunicação entre o consumidor e o produto quanto as suas características (REALINI e MARCOS, 2014).

Também são atribuídas as embalagens a função de atrair a atenção de consumidores e participar de estratégias de vendas do produto (KERRY et al., 2006). Assim, as embalagens podem ser utilizadas como ferramenta importante e decisiva de vantagem competitiva na indústria de alimentos (SOARES et al., 2009).

Grandes mercados de embalagens despontam ao redor do mundo, mostrando o seu crescimento tecnológico (PELLEGRINO, 2016). As estimativas indicam que as maiores taxas de crescimento para esse mercado devem ser observadas nos países em desenvolvimento, sendo que o segmento de alimentos e bebidas assumem posição importante na sua parcela de vendas (CLAIRE e SARANTÓPOULOS, 2012).

Com o avanço da produção e utilização de embalagens plásticas, provenientes de fontes fósseis, bem como a dificuldade de gestão adequada de resíduos pós-consumo, tem havido uma deposição deliberada desses materiais no ambiente, resultando em impactos ambientais e consequências para saúde humana.

Neste sentido, preocupações sobre as questões ambientais têm sido levantadas pelo uso de materiais não biodegradáveis e não renováveis aplicados em embalagens (KHALIL et al., 2016). Uma técnica útil capaz de quantificar o impacto de um produto e seu ciclo de vida é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que considera desde a extração de matérias-primas até a eliminação ou recuperação do material (LEWIS et al., 2010).

Um futuro mais sustentável pode ser alcançado por meio de produtos que causam um menor impacto ambiental (LJUNGBERG, 2007). Dessa forma, fontes renováveis têm ganhado destaque em substituição aos materiais de embalagens derivados de matérias-primas fósseis, sendo os materiais provenientes de base biológica uma das principais alternativas.

Com isso, o objetivo do trabalho foi abordar e discutir os conceitos e aplicações de embalagens, bem como sua posição no mercado mundial e os requisitos de sustentabilidade envolvidos em todo o seu ciclo de produção, destacando os biopolímeros como alternativa aos materiais provenientes de fontes fósseis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Embalagens para Alimentos

A embalagem é um instrumento de acesso da sociedade a bens de consumo de forma segura, prática e economicamente viável, não devendo ser vista como exclusividade da indústria para comercializar seus produtos. Seus requisitos técnicos e legais fazem com que proporcione a proteção do produto, a viabilidade logística, de distribuição, de venda e de

consumo, e que ao mesmo tempo atenda aos padrões sociais, culturais e econômicos do país (ABRE, 2011).

As embalagens alimentícias podem ser definidas como artigos em contato com alimentos, destinados a contê-los desde sua fabricação até sua entrega ao consumidor e protegê-los de agentes externos, de alterações e de contaminações, bem como de adulterações (IAL, 2008). De forma geral, elas são responsáveis por manter os benefícios do processamento de alimentos, aumentando sua validade comercial e possibilitando seu transporte e distribuição a longas distâncias sem comprometer suas características e segurança (MARSH e BUGUSU, 2007).

A manutenção da qualidade e segurança do produto é um efeito desejado obtido como consequência das funções atribuídas às embalagens de alimentos. Essas são tradicionalmente definidas como barreiras passivas, que devem conter e proteger o produto contra riscos mecânicos e ambientais, além de comunicar, identificando o conteúdo, e auxiliar na venda. Para isso é essencial que a embalagem seja capaz de controlar fatores como umidade, oxigênio e luz, além de servir de barreira aos micro-organismos (FELLOWS, 2006; JORGE, 2011).

Tecnologias de embalagem são importantes para proteger os alimentos contra efeitos microbianos, bioquímicos e físicos de influências ambientais. Isto envolve atraso na deterioração, aumento da validade comercial e manutenção da qualidade dos alimentos embalados (KARAKAYA e DUMAN, 2016).

Em sua característica passiva, um critério de segurança para produtos alimentícios embalados por materiais tradicionais está relacionado com as migrações embalagem/produto durante seu tempo de contato. A ênfase dada aos problemas advindos dessas interações relaciona-se à potencialidade tóxica dos migrantes e às alterações de características do alimento (IAL, 2008). Assim, os materiais e substâncias constituintes da embalagem tradicional devem possuir características próximas às inertes, com nenhuma ou mínima migração para o produto (DAINELLI et al., 2008; JORGE, 2011; ABREU et al., 2012).

A tecnologia de embalagens para alimentos está em constante evolução, em resposta aos desafios crescentes da sociedade moderna (KERRY, 2014). As necessidades e demandas dos consumidores por produtos com características naturais preservadas, frescos, saborosos, convenientes e com um prazo de validade prolongado, têm sido responsáveis por impulsionar as inovações no setor de embalagens de alimentos e bebidas (KRUIJF et al., 2002; EMAMIFAR, 2011; DOBRUCKA e CIERPISZEWSKI, 2014). Além disso, as funções das embalagens também têm progredido para incluir aspectos de marketing do produto, redução de material, segurança, adulteração, e problemas ambientais (HAN et al., 2014).

Com isso, a embalagem tornou-se estratégica para a competitividade dos negócios no que diz respeito à eficiência de envase, distribuição e venda, frente ao ambiente de mercado competitivo, e essencial para otimizar o aproveitamento dos alimentos e insumos demandados pela sociedade e para reduzir o desperdício global, frente ao crescimento populacional (PELLEGRINO, 2016).

3.2. O Mercado de Embalagens

A embalagem é considerada o reflexo da cultura e hábitos de uma sociedade e do seu estágio de desenvolvimento econômico, social e ambiental. Ao mesmo tempo é tida como o termómetro de uma economia, contribuindo para aferir o volume de atividade do setor

produtivo. Mundialmente ela movimenta mais de US\$ 500 bilhões, dentre 1% e 2,5% do PIB de cada país. Atualmente no Brasil, ela movimenta cerca de R\$ 47 bilhões e gera mais de 200 mil postos de empregos diretos e formais (PELLEGRINO, 2016).

Nas economias desenvolvidas, diversas são as tendências sociais e de mercado que têm impactado no sector de embalagem, como o aumento de famílias menos numerosas e a consequente procura por embalagens com formatos menores, bem como a exigência crescente de conveniência e facilidade de uso pelos consumidores (CAMPOS, 2013).

O volume global de unidades de embalagem foi 3,576 trilhões em 2015 e em 2018 este número deve chegar a 4.029 trilhões de unidades. Sendo os maiores volumes globais compostos pelas embalagens flexíveis, com 36% das unidades, papel e cartão (24%), e plásticos rígidos (20%). Os maiores mercados finais são alimentos (40%), os refrigerantes (26%) e tabaco (12%) (CLEARTHOUGHT, 2016).

Os alimentos compõem uma classe de produtos tipicamente consumidos por pelo menos 3 vezes ao dia, com isso suas embalagens são responsáveis, em volume, por quase dois terços do total de resíduos de embalagens produzidos. Além disso, as embalagens de alimentos representam cerca 50%, em peso, do total de embalagens comercializadas (MARSH e BUGUSU, 2007).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação, em 2012, as indústrias de alimentos e bebidas foram responsáveis pela produção de cerca de 9% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil e, além de criarem um número crescente de empregos, geraram um saldo comercial superior àquele criado por todo o restante da economia (ABIA, 2012). De acordo com Jorge (2013), isso acontece porque as mudanças dos hábitos alimentares, decorrentes do estilo de vida, têm levado ao aumento na oferta de alimentos industrializados. Associado a esta evolução, as exigências dos sistemas de distribuição têm favorecido o aparecimento de novas embalagens.

O crescimento do mercado global de embalagens é impulsionado por uma série de tendências gerais como a urbanização crescente e o rápido desenvolvimento nas economias emergentes, incluindo China, Índia, Brasil e alguns países da Europa Oriental. A melhoria das condições de vida e o aumento na renda pessoal nas regiões em desenvolvimento, estimula a ampliação do consumo de produtos nos mercados, resultando no crescimento das indústrias de embalagens (SARANTÓPOULOS e REGO, 2012; CAMPOS, 2013). Deste modo, o desenvolvimento econômico do Brasil, bem como a retratação do consumo e de produção de bens não duráveis, são apontados como responsáveis pelo crescimento da produção de embalagens (ABRE, 2015).

O mercado mundial de embalagens firmou em \$ 812 bilhões de dólares em 2014, um aumento de 2,8% em relação a 2013, de acordo com Smithers Pira, que prevê até 2020 um crescimento anual de 3,5% e vendas chegando a \$ 997 bilhões de dólares (SMITHERS PIRA; CLEARTHOUGHT, 2016).

O valor bruto da produção de embalagens na indústria brasileira, em 2014, aumentou aproximadamente 6,17% em relação a 2013. A maior participação nesse valor é representada pelos plásticos com 39,07% do total, seguido pelo setor de embalagens celulósicas, metálicas, vidro e madeira. A estimativa até 2016 é que a participação do Brasil no mercado mundial de produção de embalagens tenha aumentado de 3,7% para 4,0%, subindo para a posição de 5ª maior mercado de embalagens no ranking mundial (SARANTÓPOULOS e REGO, 2012; ABRE, 2015).

A embalagem desempenha um papel fundamental na indústria alimentícia devido às suas múltiplas funções. Sua importância, além de conter o produto, refere-se à conservação e manutenção da qualidade e segurança. Atribui-se a maior parcela de vendas mundial de

embalagens aos segmentos de Alimentos, com 51% do valor total de mercado, e Bebidas com 18% (REXAM, 2011; JORGE, 2013).

O segmento de embalagens é apontado por especialistas da indústria do plástico como promissor. As características do plástico são destacadas por ser uma matéria-prima mais versátil que outros materiais, sendo possível obter formatos com “designs” atraentes e funcionais, algo bastante procurado pelos clientes do setor (SANTANA, 2015).

Das inúmeras razões que justificam o maior emprego do plástico na confecção de embalagens de alimentos, uma das principais é o seu baixo custo em relação a outros materiais, especialmente na etapa logística. Além disso, eles conferem a proteção necessária aos alimentos, permitem sua visualização pelo consumidor e possibilitam impressões elaboradas (SANTOMAURO, 2015). No setor de bebidas, devido às suas propriedades de barreira e características de impermeabilidade aos gases, as garrafas de plástico não permitem seu escape antes do consumo, tornando-as próprias também para bebidas gaseificadas como refrigerantes (ABIPLAST, 2014).

Com isso o mercado de embalagens plásticas encontra-se em plena expansão. Dentre seus maiores usuários, destacam-se os mercados de biscoitos, refresco em pó, café e salgadinhos para embalagens flexíveis, e os mercados de refrigerantes, água mineral e óleo comestível para as rígidas (SARANTÓPOULOS e REGO, 2012).

A produção mundial de plásticos em 2010 chegou a 265 milhões de toneladas, confirmando a tendência de longo prazo do crescimento da produção de plásticos de quase 5% ao ano nos últimos 20 anos até 2011 (PLASTICS, 2011; REXAM, 2011). Já em 2013, com crescimento contínuo por mais de 50 anos, a produção global subiu para 299 milhões de toneladas, o que significa um aumento de 3,9% em relação a 2012 (PLASTICS, 2015).

Segundo Santomauro (2015), devido aos apelos adicionais de manuseio e praticidade, se o atual ritmo de expansão desses materiais sintéticos com aplicação em embalagens de alimentos se mantiver, é possível prever que a embalagem de alimento se tornará sinônimo de embalagem feita de plástico em multicamadas.

No entanto, o aumento da produção mundial de plásticos não biodegradáveis e a falta de programas de gestão adequada pós-consumo resultam no descarte inadequado e sua disposição no ambiente. Com isso, causam impactos ambientais, devido sua elevada resistência à degradação, podendo até mesmo afetar a saúde humana (BRITO et al., 2011; OLIVEIRA, 2012).

3.3. Sustentabilidade de Embalagens

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) aumenta com expansão populacional e desenvolvimento econômico, o que traz vários desafios. Com o avanço na produção e utilização de embalagens, estas compõem uma parte significativa dos RSU, o que tem causado aumento das preocupações ambientais (DAVIS e SONG, 2006).

Constituídos de materiais como vidro, metal, plástico e papel, os resíduos embalagens requerem cuidadoso planejamento, financiamento, recolhimento e transporte (MARSH e BUGUSU, 2007). A gestão inadequada e a deposição deliberada desses materiais no ambiente, especialmente os de origem fósseis, resultam em impactos ambientais e problemas sanitários. Neste sentido, há uma urgência cada vez maior para definir materiais “amigos do ambiente” e de tecnologia avançada para desenvolver embalagens sustentáveis (KHALIL et al., 2016).

Correlato a isto, a diminuição da disponibilidade de matérias-primas fósseis para os embalagens e a escassez dos recursos energéticos, com o passar dos anos, requer a busca por alternativas de materiais e métodos de produção, visando a sustentabilidade (LJUNGBERG,

2007). Assim, a tecnologia de embalagens deve equilibrar a proteção dos alimentos com outras questões, como os custos de energia e materiais, a maior consciência social e ambiental e os regulamentos estritos em matéria de poluentes e eliminação de resíduos sólidos urbanos (MARSH e BUGUSU, 2007).

Diversas organizações instituem definições para embalagens sustentáveis e estipulam indicadores e métricas para mensurar a sustentabilidade das embalagens (KAISA GRÖNMAN, 2013). De forma simplificada, pode-se definir um produto sustentável como aquele que causa o menor impacto possível sobre o meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida (LJUNGBERG, 2007). Assim, as embalagens devem ser projetadas, produzidas e comercializadas de forma que permitam sua reutilização ou recuperação como energia ou material, minimizando o impacto ambiental no caso de ser descartada (KAISA GRÖNMAN, 2013).

Os princípios da embalagem sustentável, segundo Khalil et al. (2016), são quatro: A funcionalidade dos materiais de embalagem, aos quais os materiais devem apoiar o desenvolvimento sustentável enquanto efetivamente protegem a qualidade dos produtos; A recuperação de materiais para minimizar a geração de resíduos de embalagens, que é visto como um desafio; Os materiais utilizados para a embalagem devem ser reutilizados continuamente com degradação mínima de material; Os materiais utilizados na embalagem devem estar limpos e seguros, não representando qualquer perigo para a saúde humana ou no ecossistema.

A Sustainable Packaging Coalition (SPC) nos EUA caracteriza as embalagens sustentáveis como aquelas que apresentam os seguintes critérios: é benéfica, segura e saudável para os indivíduos e as comunidades em todo o seu ciclo de vida; preenche os requisitos do mercado para o desempenho e custo; é originária, fabricada, transportado e reciclado usando energia renovável; otimiza o uso de matérias-primas renováveis ou reciclados; é fabricada utilizando tecnologias de produção limpas e melhores práticas; é feita de materiais favoráveis durante todo o ciclo de vida; está fisicamente projetado para otimizar materiais e energia; é efetivamente recuperada e utilizada em ciclos de circuito fechado biológicos e/ou industriais (GREEN BLUE, 2011).

A fim de padronizar os critérios, a Organização Internacional de Normalização trabalha na implementação de parâmetros internacionais para embalagens, que resguardam a redução na fonte, reutilização, reciclagem, recuperação de energia, recuperação de produtos químicos, a compostagem e biodegradação (ROOS, 2010a).

Neste sentido, reduzir o impacto da embalagem no meio ambiente não necessariamente corresponde sustentabilidade total. Uma análise completa deve ter por objetivo minimizar os impactos da cadeia produtiva como um todo.

Para a viabilização da otimização do sistema produto-embalagem, é necessário o entendimento da sua cadeia e identificação de seus principais impactos, o que pode ser feito utilizando os conceitos qualitativo ou quantitativo do ciclo de vida. O “Pensamento do Ciclo de Vida” representa o conceito qualitativo básico da avaliação de todo o ciclo de vida do sistema produtivo. Sua aplicação no desenvolvimento de produtos mais sustentáveis proporciona oportunidades de melhorias relacionadas ao desempenho ambiental do produto, desde a extração dos recursos naturais, passando pelo processamento, redução de emissões, otimização de embalagem e transporte, consumo, até a disposição final. Já a ACV tem por objetivo a avaliação quantitativa dos principais impactos ambientais de um sistema de produto. É uma técnica de avaliação do desempenho ambiental de determinado produto, tomando por base sua função e incluindo a identificação e a quantificação da energia e das matérias-primas utilizadas em cada etapa do seu ciclo produtivo (KARASKI et al., 2016).

Os impactos ambientais de uma embalagem são em grande parte determinados pelas transformações de materiais e geração de energia em todos os estágios do seu ciclo de vida. Estes abrangem também a forma de uso da embalagem e de seu descarte, por isso é importante considerar todos os estágios do seu ciclo de vida e como eles podem afetar o meio ambiente. Diferentes critérios ambientais podem ser considerados avaliando-se melhorias sob uma ampla variedade de impactos potenciais por meio da AVC, como: Redução de massa ou volume da embalagem; Melhoria da eficiência energética no processo de fabricação da embalagem ou definição de novos processos produtivos (e de reciclagem); Prolongamento da vida da embalagem e do produto; Escolha de matérias-primas de menor impacto ambiental, e que sejam compatíveis entre si em termos de reciclagem ou que tenham sua separação facilitada (ABRE, 2006).

Frente a tantos requisitos a serem cumpridos, a sustentabilidade completa dificilmente pode ser alcançada para produtos e embalagens, no entanto, a tentativa de conseguir maior sustentabilidade é necessária para preservar o planeta. Neste sentido, os estudos, investigação e divulgação de informação são muito importantes para o futuro, especialmente porque a demanda do mercado em desenvolver produtos sustentáveis tem crescido cada vez mais (LJUNGBERG, 2007).

3.4. Aspectos Ambientais na Produção de Embalagens

Produtos fabricados a partir de materiais poliméricos não biodegradáveis, provenientes de fontes fósseis, têm se tornado um problema devido ao crescente número de descartes sem fins apropriados, e ao longo tempo de degradação desses materiais no meio ambiente (BRITO et al., 2011).

O processo de desenvolvimento de embalagem envolve diversos aspectos que devem ser observados: técnicos, de produção e funcionalidade; estéticos; regulatórios, de legislação e certificações; mercadológicos e econômicos; e ambientais (ABRE, 2011). Dessa forma, os conceitos ambientais devem conciliar com as funções primordiais da embalagem, de acondicionar e proteger produtos, proporcionando a adequada distribuição, conservação e consumo destes (MARSH e BUGUSU, 2007; ABRE 2016a).

Os aspectos e impactos ambientais provocados na fabricação de embalagens, estão inerentes a elaboração das matérias-primas e insumos, transporte, energia de produção, geração de refugos, entre outros. O processo de integração desses aspectos no projeto e desenvolvimento das embalagens é contínuo e flexível, promovendo criatividade e maximizando inovações e oportunidades para a melhoria ambiental das mesmas (ABRE, 2006).

Atualmente a maioria dos materiais utilizados em embalagens para produtos alimentares, bebidas, produtos médicos e farmacêuticos, dentre outras, não são degradáveis ou renováveis, o que levanta preocupações com relação à poluição ambiental, especialmente devido ao seu descarte inapropriado e longo tempo de decomposição (BRITO et al., 2011; KHALIL et al., 2016).

Concomitante a isto, com os aumentos dos preços dos combustíveis fósseis e da consciência social, mudanças no uso de polímeros remetem a uma era de biosustentabilidade a qual os bioplásticos estão reemergindo como um substrato fundamental na indústria de embalagens (SMITHER PIRA, 2013). Em paralelo, as tendências atuais de inovação e regulamentos ambientais pressionam as extremidades da cadeia de fornecimento de embalagens, exigindo grandes investimentos por fabricantes (CLEAR THOUGHT, 2016).

Com isso, o mercado de embalagens sustentáveis apresenta um elevado crescimento, sendo este apontado como mais rápido que outros seguimentos da indústria de embalagens

(ROOS 2010b). O objetivo é incorporar materiais funcionais e inovadores em embalagens que promovam a saúde econômica e ambiental. A sustentabilidade em embalagem é muitas vezes considerada como uma ferramenta de marketing para promover e distinguir um novo material de embalagem, no entanto, este é um tema de conceito muito mais amplo (KHALIL et al., 2016).

Consequentemente, a demanda para explorar materiais sustentáveis e ecológicos, com superiores propriedades físicas, mecânicas e de barreira está aumentando. Neste sentido, numerosos estudos têm sido realizados sobre a utilização de materiais de base biológica na busca do desenvolvimento de materiais de embalagem sustentáveis (KHALIL et al., 2016).

3.5. Os Polímeros e Biopolímeros como Materiais de Embalagem

Os materiais de embalagem podem ser constituídos por polímeros, que são macromoléculas com unidades químicas (*meros*) ligadas por covalências, repetidas ao longo da cadeia, cujo número denomina o grau de polimerização da cadeia polimérica. Dentre estes, o plástico é um material que, embora sólido no estado final, em algum estágio seu processamento pode tornar-se fluido e moldável, por ação isolada ou conjunta de calor e pressão (MANO e MENDES, 2004).

O termo “plástico” é usado para designar materiais à base de polímeros orgânicos de alto peso molecular, sintéticos ou naturais, que podem ser moldados de diversas formas pelo auxílio de calor e pressão (SARANTÓPOULOS et al., 2002; JORGE, 2013). Os materiais plásticos utilizados em embalagem são diversificados quanto a estrutura química e apresentam propriedades variáveis em função do processamento, dos aditivos incorporados e da combinação com outros polímeros (JORGE, 2013).

Segundo Hopewell et al. (2009), cerca de 4 % da produção mundial de petróleo e gás, recurso não renovável, é utilizada na produção de polímeros plásticos, sendo mais 3-4% utilizados para fornecer energia em sua fabricação.

Em substituição a essas matérias-primas, fontes renováveis têm ganhado destaque por possuírem um ciclo de vida mais curto (BRITO et al., 2011), sendo os biopolímeros uma das principais alternativas a esses materiais derivados do petróleo (PINHO, 2012).

Os biopolímeros são polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como vegetais, ou produzidos por microrganismos (ABNT NBR 15448-1, 2008). Atualmente, as principais fontes de biomassa para utilização na produção de plásticos de base biológica provêm de cereais (milho), cana-de-açúcar, batata ou óleo de mamona, porém é esperado que outros recursos, como a celulose e resíduos de culturas, tenham uma maior importância no futuro (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2015).

Assim, bioplásticos se definem como uma família de materiais diversos que, em geral, são parcial ou totalmente baseados em recursos naturais (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2015). Estes têm recebido uma atenção especial por serem alternativa para a redução da dependência do petróleo e possuírem potencial de redução aos impactos ambientais provenientes do setor de embalagem (SARANTÓPOULOS e REGO, 2012).

O primeiro polímero termoplástico artificial de base celulósica foi desenvolvido na década de 1860, ainda que não utilizado para a produção comercial, e muitas invenções relacionadas com polímeros de base biológica foram feitas na década de 1930 e 1940. No entanto, nas últimas duas décadas tem havido um renascimento dos polímeros plásticos de base biológica (SHEN et al., 2009).

De acordo com Mensitieri et al. (2011), os materiais poliméricos derivados de recursos renováveis são classificados de acordo com o método de produção ou a sua fonte em: Polímeros diretamente extraídos ou removidos da biomassa, como proteínas e polissacarídeos; Polímeros produzidos por síntese química clássica a partir de monômeros de base biológica renováveis, como o ácido polilático (PLA); e Polímeros produzidos por micro-organismos ou bactérias geneticamente modificadas, como poli-hidroxicanoatos e celulose bacteriana.

O fato de provir de fonte renovável, todavia, não necessariamente resulta ao biopolímero ser biodegradável ou compostável, já que esta característica se relaciona com a estrutura química dos materiais e o tipo de ligação química. Assim, polímeros sintéticos naturalmente à base de carbono, como amido, celulose e lignina, podem ser biodegradáveis e compostáveis ou privar-se dessa propriedade devido a uma modificação química, como a polimerização (SIRACUSA et al., 2008).

Com relação às aplicações em embalagem de alimentos, algumas atribuições são apresentadas quando estes polímeros são processados com tecnologias tradicionais e a performance das propriedades funcionais e estruturais mostra-se inferior (MENSITIERI et al., 2011). Com isso, segundo Peelman et al., (2013), mesmo com potencial para a indústria de embalagem, a avaliação e verificação específica de suas propriedades funcionais são essenciais antes de sua aplicação como uma alternativa para materiais de embalagem tradicional.

Contudo, os plásticos de base biológica representam um campo emergente, muito dinâmico, com um positivo potencial de desenvolvimento para o futuro (SHEN et al., 2009). Conforme European Bioplastics (2015), o mercado atual de bioplásticos é caracterizado por seu elevado crescimento, cerca de 20% a 100% ao ano, e por sua diversificação. Entretanto, estes representam atualmente cerca de apenas 1% das 300 milhões de toneladas de plásticos produzidos no mundo anualmente.

A capacidade de produção global de bioplásticos atingiu 400.000 toneladas em 2009 e uma grandeza de US \$ 4 bilhões em 2012. A previsão é de crescimento contínuo, chegando a 3,5 milhões de toneladas em 2020 e representando uma taxa de crescimento anual de 21,8%. Porém, para que os bioplásticos se tornem predominantes no mercado, ainda são necessárias melhorias nos processos de fabricação e redução de custos (BARNETT, 2011; SMITHER RAPRA, 2014).

Segundo Carus et al. (2013), os atuais produtores de polímeros de base biológica estimam que a capacidade de produção poderá chegar a 12 milhões de toneladas até 2020. Com uma produção total esperada de 400 milhões de toneladas em 2020, é presumido um aumento da percentagem de base biológica de 1,5% em 2011 para 3% em 2020, indicando um crescimento de produção de base biológica mais rápido que a produção global.

Ainda assim, o mercado dos biopolímeros é incipiente no Brasil, sendo o baixo nível de conscientização para sua utilização e a diferença de custo e desempenho comparado aos das resinas convencionais, algumas das dificuldades a serem superadas (BRITO et al., 2011).

No entanto, devido ao seu melhor acesso à matéria-prima e um quadro político favorável, é esperado uma maior parcela de investimento para este polímero pela América do Sul e Ásia. Com isso, entre 2011 e 2020, as quotas de participação desses dois continentes deverão aumentar cerca de 5% e 3% respectivamente, enquanto as quotas da Europa e da

América do Norte deverão sofrer redução de 6% e 2%, respectivamente (CARUS et al., 2013).

A preocupação, todavia, é que a competitividade dos bioplásticos seja impactada pelo aumento de preços dos produtos agrícolas ou que as culturas para produção de bioplásticos gerem aumento de preços e impactos no suprimento de alimentos (BARNETT, 2011). Isso se deve em virtude dos recursos biológicos serem utilizados principalmente para alimentação, produção de biocombustíveis, como bioetanol, e materiais (madeira e materiais de construção). Assim, não haveria biomassa, produzida de forma sustentável, disponível o suficiente para cobrir todas essas necessidades cada vez maiores da população mundial (SHEN et al., 2009).

Em consideração a isso, entretanto, diversos estudos têm surgido no intuito de desenvolver biomateriais a partir de resíduos agroindustriais, como promissores materiais para aplicação em embalagens de alimentos. Assim, vários elos do mercado serão beneficiados, abrangendo empresas e consumidores, além de atender às necessidades emergenciais relacionadas ao meio-ambiente.

3 CONCLUSÕES

A indústria alimentícia é responsável por grande parcela do consumo de embalagens, que em sua maioria são produzidas com matérias-primas fósseis. O volume de produção e consumo de embalagens possui amplo espectro no mercado mundial, com índices crescentes de vendas e grande giro de capital. Neste sentido, torna-se importante vincular os esforços de sustentabilidade com o ganho econômico do mercado, investindo em estudos sobre a avaliação dos impactos ambientais das embalagens comercializadas e em projetos e pesquisas que resultem em materiais biopoliméricos com caráter mais sustentável.

O estudo literário dos fatores envolvidos na produção, mercado e sustentabilidade dos materiais de embalagens torna-se importante para nortear estudos futuros que impliquem em melhorias no caráter sanitário e ecológico das embalagens direcionadas às indústrias de alimentos.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIA (Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação). 2012. Sustentabilidade na indústria da alimentação: uma visão de futuro para a Rio+20. **Confederação Nacional da Indústria**. p.1-40. Brasília: CNI.

ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico). 2014. **Perfil, 2014: Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico**. p. 1-62. São Paulo-SP.

ABRE (Associação Brasileira de Embalagem). January 2006. **Adequação à Indústria de Embalagem da ABNT ISO/TR 14.062/2004: Gestão Ambiental – Integração de Aspectos Ambientais no Projeto e Desenvolvimento do Produto**. p.1-21. São Paulo-SP.

ABRE (Associação Brasileira de Embalagem). August 2011. **Diretrizes de Sustentabilidade para a Cadeia Produtiva de Embalagens e Bens de Consumo**. 3 ed. Retrieved on August 22, 2016 from website: www.abre.org.br.

ABRE (Associação Brasileira de Embalagem). 2015. **Estudo macroeconômico da embalagem ABRE/ FGV**. Retrieved on June 10, 2016 from website: <http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/>.

ABREU, D.A.P., CRUZ, J.M., LOSADA, P.P. 2012. Active and Intelligent Packaging for the Food Industry. **Food Reviews International** 28:146–187.

BARNETT, I. June 2011. **The Global Outlook for Biodegradable Packaging**. **Business Insights Ltd.** Retrieved from website: http://www.sbdi.co.kr/cart/data/info/Business_Insights_The_Global_Outlook_for_Biodegradable_Packaging_Sample.pdf.

BRITO, G.F., AGRAWAL, P., M. ARAÚJO, E., MÉLO, T.J.A. 2011. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos** 6(2): 127-139.

CAMPOS, C.S. 2013. Mercado mundial da embalagem vale 797 mil milhões de euros. **Revipack: Revista técnica de embalagem** (edição digital) 221: 18.

CARUS, M., BALTUS, W., CARREZ, D., KAEB, H., RAVENSTIJN, J., ZEPNIK, S. 2013. Market study and database on Bio-based Polymers in the World Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020. **Nova Institute for ecology and innovation**. Retrieved on June 21, 2015 from website: <http://bio-based.eu/markets/>.

CLAIRE, I.G.L. and Sarantópoulos, R.A.R. 2012. **Brasil pack trends 2020**. 1nd ed. p.1-231. Campinas : ITAL.

CLEARTHOUGHT. 2016. Packaging - The drive towards greater innovation and client preference for global players is leading to rapid consolidation of the sector. **Industrials Insights from Clearwater International**. Retrieved on June 23, 2016 from website: <http://clearwaterinternational.com/pt-pt/library/packaging-clearthought-2016/>.

DAINELLI, D., GONTARD, N., SPYROPOULOS, D., BEUKEN, E.Z.D., TOBBACK, P. 2008. Active and inteligente food packaging: legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology** 19: 103-112.

DAVIS, G., SONG, J.H. 2006. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. **Industrial Crops and Products** 23: 147–161.

DOBRUCKA, R., CIERPISZEWSKI, R. 2014. Active and Intelligent Packaging Food – Research and Development – A Review. **Polish Journal off Food and Nutrition Sciences** 64(1): 7-15.

EMAMIFAR, A. 2011. Applications of Antimicrobial Polymer Nanocomposites in Food Packaging. In Hashim, A. (Ed). **Advances in Nanocomposite Technology**, p.299-318. InTech.

EUROPEAN BIOPLASTICS. January 2015. **Frequently asked questions on bioplastics**. Retrieved on January 20, 2016 from website: www.european-bioplastics.org.

FELLOWS, P.J. 2006. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2nd ed. Porto Alegre: Editora Artmed.

GREENBLUE. August 2011. Definition of Sustainable Packaging. **Sustainable Packaging Coalition**. Version 2.0. p.1-10.

GRÖNMAN, K., SOUKKA, R., JÄRVI-KÄÄRIÄINEN, T., KATAJAJUURI, J.M., KUISMA, M., KOIVUPURO, H.K., OLLILA, M., PITKÄNEN, M., MIETTINEN, O., SILVENIUS, F., THUN, R., WESSMAN, H., LINNANEN, L. 2012. Framework for Sustainable Food Packaging Design. **Packaging Technology and Science**. Wiley Online Library pts.1971.

HAN, C., WANG, J., LI, Y., LU, F., CUI, Y. 2014. Antimicrobial-coated polypropylene films with polyvinyl alcohol in packaging of fresh beef. **Meat Science** 96: 901-907.

HOPEWELL, J., DVORAK, R., KOSIOR, E. 2009. Plastics recycling: challenges and opportunities. **Philosophical Transactions of Royal Society B** 364: 2115-2126.

IAL (Instituto Adolfo Lutz). 2008. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**.

JORGE, N. 2013. Embalagens para alimentos. São Paulo: **Cultura Acadêmica**, Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação.

KARAKAYA, E., DUMAN, M. 2016. Effect of the packaging on the quality of *Salmo trutta macrostigma* during chilled storage. **International Food Research Journal** 23(5): 1911-1917.

KARASKI, T.U., RIBEIRO, F.M., PEREIRA, B.R., ARTEAGA, L.P.S. 2016. **Embalagem e Sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular**. ABRE, CETESB, CETEA. 1nded. p.1-52. São Paulo: CETESB, 2016.

KERRY J.P., O'GRADY M.N., HOGAN, S.A. 2006. Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. **Meat Science** 74: 113-130.

KERRY, J.P. 2014. New packaging technologies, materials and formats for fast-moving consumer products. In Han, J.H. (Ed). **Innovations in food packaging**. 2nd ed. p. 549–584. San Diego, USA: Academic Press.

KHALIL, H.P.S.A., DAVOUDPOUR, Y., SAURABH, C.K, HOSSAIN, M.S., ADNAN, A.S., DUNGANI, R., PARIDAH, M.T., SARKER, M.Z.I., FAZITA, M.R.N., SYAKIR, M.I., HAAFIZ, M.K.M. 2016. A review on nanocellulosic fibres as new material for sustainable packaging: Process and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 64: 823–836.

KRUIJFY, N., BEESTY, M.V., RIJKY, R., SIPILÄINEN-MALM, T., LOSADA, P.P., MEULENAER, B.D. 2002. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. **Food Additives and Contaminants** 19: 144-162.

LEWIS, H., VERGHESE, K., FITZPATRICK, L. 2010. Evaluating the sustainability impacts of packaging: the plastic carry bag dilemma. **Packaging Technology and Science** 23: 145–160.

LJUNGBERG, L.Y. 2007. Materials selection and design for development of sustainable products. **Materials and Design** 28: 466–479.

MANO, E.B., MENDES, L.C. 2004. **Introdução a polímeros**. 2nd ed. São Paulo: Edgard Blucher.

MARSH, K., BUGUSU, B. 2007. Food Packaging – Roles, Materials, and Environmental Issues. **Journal of Food Science** 72(3): 39-55.

MENSITIERI, G., DI MAIO, E., BUONOCORE, G.G., NEDI, I., OLIVIERO, M., SANSONE, L., LANNACE, S. 2011. Processing and shelf life issues of selected food packaging materials and structures from renewable resources. **Trends in Food Science & Technology** 22: 72-80.

OLIVEIRA, M.C.B.R. 2012. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil**. Rio de Janeiro, Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Msc thesis.

PEELMAN, N., RAGAERT, P., MEULENAER, B., ADONS, D., PEETERS, R., CARDON, L., IMPE, F.V., DEVLIEGHER, F. 2013. Application of bioplastics for food packaging. **Trends in Food Science & Technology** 32: 128-141.

PELLEGRINO, L. 2016. **Apresentação do setor de embalagens**. ABRE (Associação Brasileira de Embalagem). Retrieved on August 22, 2016 from website: <http://www.abre.org.br/setor/apresentacaodosetor/aembalagem/>.

PINHO, E. 2012. Biopolímeros: “plásticos” de grãos e tubérculos. **A Lavoura**. nº690: 22-23.

PLASTICS EUROPE. September 2011. **Plastics - the Facts 2011: An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2010**. Version 3.0, p.1-32. Brussels - Belgium.

PLASTICS EUROPE. January 2015. **Plastics – the Facts 2014/2015: An analysis of European plastics production, demand and waste data**. p.1-34. Brussels - Belgium.

REALINI, C.E., MARCOS, B. 2014. Active and Intelligent packaging systems for a modern society. **Meat Science** 98: 404-419.

REXAM. 2011. **Consumer packaging report 2011/12: packaging unwrapped**. London: rexam, p.1-45. Retrieved on November 10, 2016 from website: <https://www.yumpu.com/en/document/view/45469668/rexam-consumer-packaging-report-2011-12-packaging-unwrapped>.

ROOS, G. January 2010a. **Global Sustainable Packaging Market to Double to \$170B by 2014,”** Environmental Leader. Retrieved on September 02, 2016 from website: <http://www.environmentalleader.com/2010/01/05/pike-research-finds-global-sustainable-packaging-market-to-double-by-2014/>.

ROOS, G. August 2010b. **Global Sustainable Packaging Market to Reach Nearly \$143B by 2015**. Environmental Leader. Retrieved on September 02, 2016 from website: <https://www.environmentalleader.com/2010/08/global-sustainable-packaging-market-to-reach-nearly-142b-by-2015/>.

SANTANNA, J.P. 2015. Perspectiva 2015 – Plástico: Plástico avança nas embalagens. **Plástico Moderno**, São Paulo. Retrieved on June 06, 2016 from website: <http://www.plastico.com.br/perspectivas-2015-plasticos-plastico-avanca-nas-embalagens/>.

SANTOMAURO, A.C. 2014. Embalagem: Multicamadas conquistam alimentos com vantagem estética e alta proteção. **Revista Plástico Moderno**. n.481: 32-38.

SARANTÓPOULOS, C.G.L., OLIVEIRA, L.M., PADULA, M., COLTRO, L., ALVES, R.M.V., GARCIA, E.E.C. 2002. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL.

SARANTÓPOULOS, C.I.G.L., REGO, R.A. 2012. **Brasil pack trends 2020**. 1nd ed. p.1-231. Campinas: ITAL.

SHEN, L., HAUFE, J., PATEL, M.K. 2009. **Product overview and market projection of emerging bio-based plastics**. PRO-BIP 2009. Utrecht, The Netherlands.

SIRACUSA, V., ROCCULI, P., ROMANI, S., ROSA, M.R. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology** 19: 634-643.

SMITHERS PIRA. December 2013. **The Future of Bioplastics for Packaging to 2023** p.1-125. Retrieved on September 30, 2016 from website: <http://www.smitherspira.com/industry-market-reports/packaging/rigid-packaging/bioplastics-in-packaging>.

SMITHERS PIRA. December 2015. **The Future of Global Packaging to 2020** p.1-125. Retrieved on August 25, 2016 from website: <http://www.smitherspira.com/industry-market-reports/packaging/the-future-of-global-packaging-markets-to-2020>.

SMITHERS RAPRA. September 2014. **Four key trend driving the global Market for plastic films**. Retrieved on June 20, 2016 from website: <http://www.smithersrapra.com/resources/2014/september/plastic-films-global-market-trends>.

SOARES, F.F.N., SILVA, A.W., PIRES, S.C.A., CAMILLOTO, P.G., SILVA, S.P. 2009. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Revista Ceres** 56(4): 370-378.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO DE BANANA (*Musa sp.*) UTILIZADA COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A ELABORAÇÃO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS

RESUMO

No setor de fruticultura o Brasil ocupa posição de destaque mundial. A produção e transformação agroindustrial da banana possui grande importância social e econômica para o agronegócio mundial e brasileiro. Neste cenário, o volume de resíduos agroindustriais gerados torna-se uma preocupação quando sua disposição no meio é inadequada e pode trazer prejuízos ambientais. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar as características biométricas e físico-químicas dos frutos de banana da variedade Prata (*Musa sp.*) e disponibilizar dados para o aproveitamento de seu resíduo. Para tanto os frutos foram avaliados quanto às suas características biométricas de comprimento, diâmetro e massa, e quanto às suas características físico-químicas de umidade, atividade de água, acidez, pH, sólidos solúveis e ratio. Pôde-se observar que, de forma geral, cerca de 41% do peso total da banana tem constituição em casca, o que significa, considerando-se e cruzando-se os dados de produção do fruto e seus derivados descritos na literatura, que cerca de 69,5 a 83,4 toneladas de casca deste fruto são descartadas anualmente pelas agroindústrias. Os parâmetros biométricos apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os diferentes estádios de maturação do fruto. Com a exceção da atividade de água, todos os outros parâmetros físico-químicos avaliados apresentaram alguma variação significativa ($p \leq 0,05$) entre o tipo de amostra (Casca e Polpa) e/ou entre os graus de maturação das mesmas. Com isso, pôde-se concluir que a agroindústria de banana é responsável pela geração de grande volume de resíduos. O estádio de maturação interferiu nas características biométricas e físico-químicas das bananas. Foi possível a disponibilização e o confronto de dados sobre estes resíduos agroindustriais, que oficializam informações e suprem uma carência bibliográfica para o embasamento de outros estudos que visem o aproveitamento destes como matéria prima para novos produtos e diminuição dos impactos ambientais provenientes do seu descarte inadequado.

Palavras-chave: Banana; Casca de banana; Resíduos agroindustriais; Aproveitamento de resíduos

ABSTRACT

In the fruit growing sector, Brazil occupies a prominent position in the world. The production and agroindustrial transformation of the banana has great social and economic importance for the agribusiness world and Brazilian. In this scenario, the volume of agro-industrial waste generated becomes a concern when its disposal in the environment is inadequate and can cause environmental damage. Therefore, the objective of this work was to evaluate the biometric and physico-chemical characteristics of the banana fruits of the Prata variety and to provide data for the use of their residue. The fruits were evaluated for their biometric characteristics of length, diameter and mass, and their physicochemical characteristics of moisture, water activity, acidity, pH, soluble solids and ratio. It can be observed that, in general, about 41% of the total weight of the banana is constitution in shell, which means, considering and crossing the data of production of the fruit and its derivatives described in the literature, that surrounds from 69.5 to 83.4 tons of bark of this fruit are discarded annually by agroindustries. The biometric parameters showed a significant difference ($p \leq 0.05$) between the different maturation stages of the fruit. With the exception of water activity, all other physicochemical parameters evaluated showed some significant variation ($p \leq 0.05$) between the type of sample (Bark and Pulp) and / or between the degree of maturation of the samples. With this, it was concluded that the banana agroindustry is responsible for the generation of large amounts of waste. The maturation stage interferes with the biometric and physicochemical characteristics of bananas. It was possible to make available and compare data on these agroindustrial wastes, which officialize information and provide a lack of bibliography for the basis of other studies aimed at the use of these as raw material for new products and reduction of environmental impacts resulting from their inappropriate disposal.

Key words: Banana; Banana peel; Agroindustrial waste; Waste utilization

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura é um dos setores de destaque do agronegócio brasileiro. Com ampla diversidade de espécies, a atividade gera grande quantidade de emprego e renda dentro do agronegócio nacional (KIST et al., 2018). O País é o terceiro maior produtor mundial de frutas, ficando atrás da China e Índia (SEBRAE, 2015; SEAB/DERAL, 2017).

Neste cenário, a banana se destaca como a fruta mais consumida e a segunda mais produzida no Brasil. Em 2017 o país teve uma produção aproximada de 7,2 milhões de toneladas de banana, com uma área plantada próxima de 487 mil hectares (IBGE, 2017). Dentre as variedades de banana disponíveis no mercado brasileiro, as mais importantes são Cavendish (grupo que inclui Nanica, Nanicão e Grande Naine), Prata, Maçã e Ouro. Além delas, também encontradas com frequência a Prata-Anã, Pacovan, Branca e da Terra (SEBRAE, 2008).

Devido à facilidade de transformação do fruto em produtos de maior valor agregado, além do consumo “in natura”, a banana também possui demanda voltada para o processamento industrial (SEBRAE, 2008). No Brasil, o seu principal derivado produzido é o purê (55%), seguido de bananada, banana passa, flocos e chips, com 20%, 13%, 10% e 2% do total dos produtos, respectivamente (SEBRAE, 2017).

Paralelamente ao processamento, as agroindústrias como a de banana contribuem para a geração de grandes quantidades de resíduos orgânicos, normalmente compostos de cascas, dentre outros (NASCIMENTO FILHO e FRANCO, 2015). Neste sentido, a busca por alternativas economicamente viáveis e o desenvolvimento da consciência ambiental têm impulsionado o campo de pesquisas relacionadas ao aproveitamento de resíduos agropecuários e agroindustriais (FERREIRA et al., 2015).

As cascas de banana, apesar de muitas das vezes serem descartadas no ambiente de forma inadequada, são uma potencial fonte de fibras dietéticas e pectinas de elevada qualidade, além de possuírem outras características nutricionais (EMAGA et al., 2008). Com isso, poderiam ser empregados como alternativas de matérias-primas para elaboração de diversos produtos, como alimentícios, para a alimentação de animais, como substrato para produção de mudas, fabricação de materiais, dentre outros (FERREIRA et al., 2015; OLIVEIRA NETO et al., 2018).

Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar as características biométricas e físico-químicas dos frutos de banana da variedade Prata (*Musa sp.*) para estimar o volume e a massa de casca que são dispostos como resíduos agroindustriais e disponibilizar dados para o aproveitamento deste resíduo, com conseqüente redução de problemas ambientais causados pelo seu descarte inadequado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos foram selecionados observando-se o grau de maturação por meio da coloração da casca e adquiridos no comércio local da cidade Volta Redonda – RJ. Foram utilizados frutos de banana Prata (*Musa sp.*) em estágio 6 e 3 de maturação, considerados maduro e verde respectivamente, segundo a escala de maturação de Von Loesecke, representada na Figura 1 (PBMH & PIF, 2006).



Figura 1. Escala de maturação de bananas de Von Loesecke. Fonte: PBMH & PIF, 2006.

Os frutos inteiros foram submetidos à higienização com lavagem em água potável corrente, seguida de sanitização em solução de hipoclorito de sódio à uma concentração de

150 ppm de cloro livre por 15 minutos, como mostra a Figura 2. Por fim, foram enxaguados para retirada do excesso de cloro livre, com posterior repouso em papel toalha para drenagem da umidade superficial adquirida.



Figura 2. Etapas de higienização e preparo da casca de banana: lavagem (a), sanitização (b) e fracionamento (c)

Os frutos foram avaliados quanto ao seu rendimento, utilizando-se das suas características biométricas, e quanto às suas características físico-químicas de umidade, atividade de água, acidez, pH e sólidos solúveis. Para tanto, um total de 48 frutos de banana foram utilizados em três repetições para amostragem.

2.1. Avaliação de Rendimento/ Caracterização Biométrica

A avaliação de rendimento dos frutos foi realizada com o intuito de estimar a massa de casca produzida por unidade ou quilo dos frutos processados.

Para tanto foram tomadas medidas de altura e diâmetro com o auxílio de paquímetro digital em pelo menos três pontos distintos nos frutos. Também foram tomadas medidas individuais da massa dos frutos inteiros e da casca e polpa procedentes do descasque de cada um, utilizando uma balança semi-analítica.

2.3. Determinação de Umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado de acordo com o método descrito na AOAC (1995), que consiste na secagem em estufa à pressão atmosférica a 105 ± 1 °C de 2 g da amostra até a constatação do alcance do peso constante. A umidade foi expressa em base úmida (%), segundo o cálculo da Equação 1.

$$U(\%bu) = \frac{m_{inicial} - m_{final}}{m_{inicial}} \times 100$$

Equação 1

Em que: U = umidade; bu = base úmida; m = massa da amostra.

2.4. Atividade de Água

A determinação da atividade de água (Aa), relação entre pressão parcial de vapor de água no alimento (Pv) e a pressão de vapor de água da água pura (P0) na mesma temperatura, foi realizada por meio do instrumento medidor de atividade de água (Etec, São Paulo),

utilizando-se uma quantidade de amostra suficiente para cobrir o fundo do recipiente plástico sem ultrapassar a metade da altura do mesmo (Equação 2).

$$Aa = P_v/P_0$$

Equação 2

Em que: P_v = pressão parcial de vapor de água no alimento; P_0 = pressão de vapor de água da água pura.

2.5. Determinação da Acidez

A acidez titulável foi determinada por titulação com solução padronizada de NaOH a 0,1N, conforme IAL (2008). As amostras particuladas de casca dos frutos foram pesadas em torno de 2,5 g em Erlenmeyer de 250 ml, adicionadas de 150 mL de água destilada e homogeneizadas para o procedimento de titulação em presença de solução indicadora fenolftaleína. Os resultados foram expressos em % de ácido málico, conforme a Equação 3.

$$AT = (\%) \frac{V \times N \times E}{10 \times M}$$

Equação 3

Em que: V = volume de NaOH gasto na titulação (mL); N = normalidade do NaOH (0,01N); M = massa da amostra (g); E = equivalente grama do ácido.

2.6. Determinação do pH

A determinação do pH foi realizada nas amostras, particuladas e homogeneizadas, por leitura direta em potenciômetro digital devidamente calibrado (AOAC, 1995).

2.7. Determinação do Teor de Sólidos Solúveis Totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais das amostras foi determinado por um refratômetro de bancada (AOAC, 1995), no qual a leitura foi feita a partir de uma pequena quantidade de polpa do fruto. Os valores obtidos nas leituras foram expressos em °Brix.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados biométricos obtidos dos frutos e cascas de banana nos diferentes graus de maturação seguem apresentados nas Tabelas 1 e 2 e na Figura 3 (a e b).

Tabela 1. Parâmetros biométricos básicos de banana (*Musa* sp.) da variedade Prata

Banana	Massa (g)	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)
Madura	119,53 b	35,09 b	133,15 b
Verde	178,74 a	38,66 a	142,46 a

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna, diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

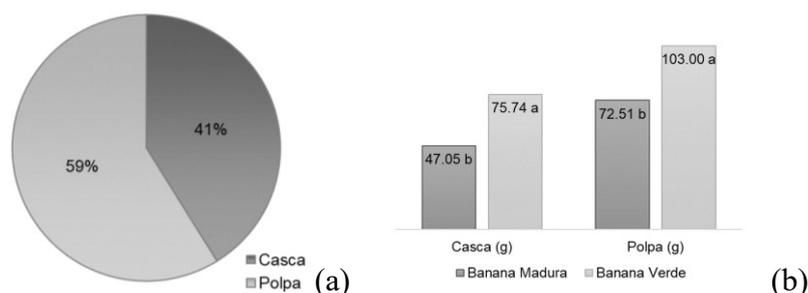


Figura 3. Estimativa em porcentagem da composição da casca e polpa da Banana Prata (a) e sua variação em massa quando em frutos de diferentes graus de maturação (b). Médias seguidas por letras diferentes no mesmo bloco, diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pôde-se observar que, de forma geral, cerca de 41% do peso total da banana Prata possui sua constituição em casca, enquanto a polpa tem maior predominância de sua constituição em massa (59%) (Figura 3a).

Segundo Folegatti e Matsuura (2004), cerca de 2,5% a 3% da produção de banana é destinada ao processamento, dando origem aos diversos produtos, os quais aproximadamente 33% são consumidos no mercado interno. Tal informação, em conjunto com os dados obtidos neste estudo e com as informações disponibilizadas de produção do fruto em 2017 pelo IBGE, possibilita estimar que cerca de 69,5 a 83,4 toneladas de casca deste fruto são descartadas anualmente pelas agroindústrias, o que confirma o grande volume de resíduos proveniente do processamento do mesmo.

Quanto ao grau de maturação dos frutos analisados, observou-se que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre aqueles com o grau de maturação verde e maduro para todos os parâmetros biométricos avaliados (Tabela 2).

Foi possível observar que, de forma geral, os frutos inteiros em grau de maturação verde apresentaram a massa total cerca de 33,13% maior que a do fruto maduro (Figura 3a). A constituição em massa da casca e da polpa da banana verde mostrou-se 60,98% e 42,02%, respectivamente, maior que as da banana madura, o que pode ser atribuído à conversão de sua constituição química ao longo do seu amadurecimento (Figura 3b).

Conforme Chitarra e Chitarra (2005), o processo de amadurecimento implica na ocorrência de mudanças complexas no fruto, que resulta em modificações em sua constituição química. Assim, uma das consequências do amadurecimento é a redução de tamanho e massa dos frutos, que está especialmente associada à perda de água pela sua respiração e transpiração.

Tabela 2. Resumo da Análise de Variância para as massas da matéria fresca do fruto inteiro (MI), da casca do fruto (MC) e da polpa do fruto (MP), diâmetro e comprimento do fruto da banana Prata

FV	GL	Quadrado Médio				
		MI	MC	MP	Diâmetro	Comprimento
Banana	1	14024,48062*	3291,89062*	3717,95062*	51,12250*	346,89062*
Erro	14	232,890982	38,222768	150,666339	2,857679	74,154196
Total	15					
	CV (%)	10,23	10,07	13,99	4,58	6,25
	Média Geral	149,13	61,39	87,75	36,87	137,80

*Significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$); ns – Não significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$).

Outro fenômeno observado no estudo e que pode ser atribuído a essas modificações decorrentes do processo de maturação foi a variação dos parâmetros de diâmetro e comprimento dos frutos. Verificou-se que a banana madura apresentou as características de diâmetro (36,5 mm) e comprimento (136,6 mm) médios cerca de 7,89% e 7,54%, respectivamente, menores que os da fruta verde (Tabela 1).

Os resultados dos parâmetros físico-químicos da casca e da polpa dos frutos de banana nos dois estádios de maturação avaliados encontram-se descritos na Tabela 3 e Tabela 4.

Observou-se, de acordo com a ANOVA, que com a exceção da atividade de água, todos os outros parâmetros físico-químicos avaliados apresentaram alguma variação significativa ($p \leq 0,05$) entre o tipo de amostra (Casca e Polpa) e/ou entre os graus de maturação das mesmas (Tabela 3 e Tabela 4).

Tabela 3. Resumo da Análise de Variância para os parâmetros físico químicos avaliados da Polpa dos frutos de banana Prata em graus de maturação verde e maduro

FV	GL	Quadrado Médio		
		Acidez	pH	SST(°Brix)
Banana	3	0,618447*	3,557915 *	930,631508*
Erro	17	0,000340	0,019938	0,263235
Total	20			
	CV (%)	4,12	2,95	6,42
	Média Geral	0,4480952	4,780476	7,9952381

FV	GL	Quadrado Médio		
		Ratio	Aa	Umidade
Banana	3	1462,171337*	0,000298 ^{ns}	0,001905*
Erro	17	0,775217	0,000117	0,000039
Total	20			
	CV (%)		1,09	0,70
	Média Geral		0,9910952	0,9009524

*Significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$); ns – Não significativo pelo teste F ($P \leq 0,05$).

SST – Sólidos solúveis totais; Aa – Atividade de água.

Tabela 4. Características físico-químicas de Casca e Polpa de bananas (*Musa spp.*) da variedade Prata em diferentes graus de maturação

Amostra	Acidez (g/100g)	pH	SST(°Brix)	Ratio	Aa	Umidade (%)
Casca Verde	0,13 d	5,70 a	-	-	0,9963 a	92 a
Casca Madura	0,27 c	5,00 b	-	-	0,9970 a	89 b
Polpa Verde	0,76 b	4,25 c	3,73 b	4,9 b	0,9860 a	92 a
Polpa Madura	0,80 a	3,91 d	26,12 a	32,8 a	0,9825 a	89 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

De acordo com Neris et al. (2018), as características físico-químicas de frutas climatéricas são alteradas conforme o grau de maturação, evidenciado pelo aumento da taxa respiratória e produção de etileno, o que caracteriza sua alta perecibilidade.

Assim, como esperado em decorrência do processo de amadurecimento, foi possível observar que tanto a polpa quanto a casca da banana apresentaram diferenças significativas para os parâmetros físico-químicos de acidez titulável, pH e umidade em base úmida (%) entre os frutos verde e maduro, indicando que estes foram influenciados pelo estágio de maturação, ao nível de 5% de confiança (Tabela 4).

O teor de ácidos na casca do fruto, expresso em ácido málico, variou de 0.13 a 0.27% e mostrou-se significativamente menor que em sua polpa (0.76 – 0.80%), independente do grau de maturação avaliado. Essa diferença também foi reportada por Chitarra e Chitarra (2005), que mencionam uma abundância maior de ácidos na casca após o estágio que correspondente ao ponto de colheita do fruto. Os autores também afirmam que os frutos de banana alcançam um aumento significativo na concentração de ácido málico com o decorrer de seu amadurecimento, o que estabelece coerência com os dados observado neste estudo.

Foi possível observar que a polpa dos frutos maduros exibiu os teores de acidez total titulável (0.80%), e de sólidos solúveis totais (26.12 °Brix), significativamente superiores aos verdes (0.76% e 3.73 °Brix, respectivamente). Por consequência, a relação SST/acidez representada pelo ratio, também foi significativamente maior para as bananas maduras (Tabela 4).

O teor de sólidos solúveis (°Brix) representa a quantidade solubilizada na amostra de todos os sólidos, incluindo os ácidos orgânicos, pigmentos, proteínas, carboidratos (açúcares, pectinas etc.), minerais, entre outros componentes (OLIVEIRA NETO et al., 2018). De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), dentre os componentes químicos que sofrem transformações com a maturação, estão os carboidratos, pigmentos e os ácidos orgânicos, sendo que na banana, ao contrário da maioria das frutas, este último possui um aumento significativo. Dessa forma, a variação do valor em °Brix está associado às demais as modificações químicas durante o amadurecimento.

O pH da polpa, no entanto, apresentou-se significativamente menor nos frutos maduros (3.91) do que nos verdes (4.25), o que é coerente com a proporcionalidade inversa à característica de acidez observada. O decréscimo do pH ao longo do amadurecimento das bananas é esperado, segundo Nascimento Júnior et al. (2008), devido ao acúmulo de açúcar e de constituintes ácidos durante o amadurecimento dos frutos. Os valores obtidos pelos autores em estudo das características físico-químicas de bananas, demonstraram que o pH aumenta

com o decorrer de seu amadurecimento, atingindo um máximo quando a casca está totalmente amarela, com posterior decréscimo e estabilidade após 10º dia de colheita.

A umidade dos frutos, avaliada em base úmida e retratada em porcentagem, apresentou-se acima de 89% para todas as amostras, característica de frutos “in natura”, e significativamente maior para os maduros, tanto na polpa, quanto na casca. Já as partes do fruto com mesmo grau de maturação não diferiram significativamente para este parâmetro.

De acordo com Fellows (2006), o conhecimento isolado do teor de umidade de um produto, no entanto, é insuficiente para prever sua estabilidade. Isso porque a disponibilidade de água para a atividade microbológica, enzimática ou química é quantificado pela atividade de água (Aa). Diante disso, a avaliação de tal parâmetro possibilitou a confirmação da alta instabilidade das amostras frente à sua deterioração. Em concordância com a alta umidade, a atividade de água (Aa) de todas as amostras foi superior a 0.98 e, neste caso, não diferiu significativamente entre nenhuma das amostras.

Dessa forma, frente aos dados de quantificação e caracterização dos frutos de banana obtidos neste estudo, foi possível constatar que o investimento na criação de estratégias para o aproveitamento da casca de banana evidencia-se como alternativa para uma destinação mais sustentável a este resíduo.

Neste sentido, diversas linhas de pesquisa vêm sendo desenvolvidas a fim de dar uma destinação adequada a este resíduo, utilizando-o para a alimentação animal e transformando-o em matéria prima para produtos alimentícios, como farinhas, doces e biscoitos, dentre outras (SOUZA et al., 2016; REBELLO et al., 2014; OLIVEIRA NETO, et al., 2018; RIBEIRO e FINZER, 2010). Contudo, destinar as cascas de banana para a produção de biopolímeros de embalagens para alimentos torna-se uma alternativa ainda mais interessante por associar essa necessidade de disposição sustentável à de criação de novos materiais, com matérias primas alternativas aos derivados do petróleo e sem competir com a produção orgânica voltada para a alimentação.

4 CONCLUSÃO

A agroindústria de banana é responsável pela geração em média mais de 70 toneladas de cascas como resíduos orgânicos provenientes do processamento dos frutos verdes e maduros. Os frutos verdes e seus resíduos destacaram-se com suas características de massa, diâmetro, altura e pH maiores, bem como acidez menores que os maduros, o que reflete no volume de resíduos gerados e susceptibilidade dos mesmos.

O estudo permitiu a disponibilização e o confronto de dados sobre estes resíduos agroindustriais, que oficializam informações e suprem uma carência bibliográfica para o embasamento de outros estudos que visem o aproveitamento destes como matéria prima para novos produtos e diminuição dos impactos ambientais provenientes do seu descarte inadequado.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**, Washington, 1995.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 785p.
- EMAGA, T.H.; ROBERT, C.; RONKART, S.N.; WATHELET, B.; PAQUOT, M. Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. **Bioresource Technology**, v.99, p.4346-4354, 2008.
- FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 203p., 2006.
- FERREIRA, M. C.; COSTA, S. M. L.; PASIN, L. A. A. Uso de resíduos da agroindústria de bananas na composição de substratos para produção de mudas de pau pereira. **Nativa**, Sinop, v. 03, n. 02, p. 120-124, abr./jun. 2015.
- FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. Cap. XIII: Processamento. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. [Ed.]. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. p. 232-244.
- IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, p.1020. 2008.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA)**. Rio de Janeiro v.30, n.1, p.1-81, janeiro, 2017.
- NASCIMENTO JUNIOR, B. B.; OZORIO, L. P.; REZENDE, C. M.; SOARES, A. G.; FONSECA, M. J. O. Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicão ao longo do amadurecimento: características físico-químicas e compostos voláteis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 28(3): 649-658, jul.-set. 2008.
- KIST, B. B.; CARVALHO, C.; TREICHEL, M.; SANTOS, C. E. **Anuário brasileiro da fruticultura**. Santa Cruz do Sul : Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. 88 p.
- NASCIMENTO FILHO, W. B; FRANCO, C. R. Avaliação do Potencial dos Resíduos Produzidos Através do Processamento Agroindustrial no Brasil. *Revista Virtual de Química*, 2015, 7 (6), 1968-1987. Data de publicação na Web: 3 de julho de 2015.
- NERIS, T. S.; SILVA, S. S.; LOSS, R. A.; CARVALHO, J. W. P.; GUEDES, S. F. Avaliação físico-química da casca da banana (*Musa spp.*) in natura. **Ciência e Sustentabilidade - CeS | Juazeiro do Norte**. v. 4, n.1, p. 5-21, jan/jun 2018 | ISSN 2447-4606.
- OLIVEIRA NETO, J. O.; OLIVEIRA, E. N. A.; FEITOSA, B. F.; GERMANO, A. M. L. O.; FEITOSA, R. M. Aproveitamento da casca de banana na elaboração de doce tipo mariola. *Científica, Jaboticabal*, v.46, n.3, p.199-206, 2018.
- PBMH & PIF - Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura & Produção Integrada de Frutas. **Normas de Classificação de Banana**. São Paulo: CEAGESP, 2006. (Documentos, 29).

REBELLO, L. P. G.; RAMOS; A. M. R.; PERTUZATTI, P. B.; BARCIA, M. T.; CASTILLO-MUÑOZ, N.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Flour of banana (Musa AAA) peel as a source of antioxidant phenolic compounds. **Food Research International**. 55 (2014) 397–403.

RIBEIRO, R. D.; FINZER, J. R. D. Desenvolvimento de biscoito tipo cookie com aproveitamento de farinha de sabugo de milho e casca de banana. **FAZU em Revista**. Uberaba, n.7, p. 120- 124, 2010.

SEAB/DERAL - Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/ Departamento de Economia Rural. **Análise da conjuntura agropecuária, safra 2016/17: fruticultura**. p.1-9, março, 2017.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Estudos de mercado SEBRAE/ESPM: Banana** - Relatório Completo. 2008. 87 p.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Mercado de fruticultura: Panorama do setor no Brasil. Boletim de Inteligência. Outubro, 2015. Acesso em: 04/03/19. Disponível em: <[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/\\$File/5791.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/$File/5791.pdf)>.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Produção de banana na Bahia. Boletim Baiano de Inteligência Competitiva. p.1-4, maio, 2017. Acesso em: 15/01/2018. Disponível em: <<http://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/BA/Artigos/2BIC/2BIC%20-%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20bananas%20na%20Bahia.pdf>>.

SOUZA, C. F.; ROCHA JUNIOR, V. R.; REIS, S. T.; ANTUNES, C. R.; RIGUEIRA, J. P. S.; SALES, E. C. J.; SOARES, C. ; SOUZA, G. R. Banana Pell in diets for lactating crossbred cows. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, Salvador, v.17, n.1, p.86-100 jan./mar., 2016.

CAPÍTULO III

ESTUDO DA SECAGEM DE CASCAS DE BANANA (*Musa sp.*) VISANDO SUA DISPONIBILIZAÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A ELABORAÇÃO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS

RESUMO

O presente estudo objetivou realizar a secagem de cascas de banana com o estudo da cinética do processo e avaliação das propriedades físico-químicas dos produtos obtidos para obtenção de farinhas como matéria-prima para a elaboração de materiais de embalagens. Para tanto foram utilizadas cascas de banana Prata madura. O experimento foi realizado utilizando secador de bandejas com três variações de temperatura em 50, 55 e 60 °C e aplicando-se 2 tipos de tratamentos nas cascas de banana, um com banho das cascas em solução de metabissulfito de sódio e outro com banho em água pura (sem metabissulfito). Amostras foram coletadas periodicamente para avaliação de umidade e construção da cinética de secagem. Após os processos foram realizadas análises físico-químicas de umidade, atividade de água, pH, acidez e coloração para caracterização dos produtos obtidos. As farinhas obtidas apresentaram uma umidade (6,1% - 10,0%) maior que as cascas secas (4,3% - 6,5%) das quais originaram, bem como atividade de água $\geq 0,40$. Além disso, as farinhas apresentaram pH levemente ácido e acidez titulável total entre 22,8 – 30,3%. Apesar do tratamento com solução de metabissulfito ter demonstrado um efeito aparente inicial, este efeito não foi mantido ao longo dos processos e os produtos obtidos apresentaram a coloração escurecida. Com isso, concluiu-se que todos os processos utilizados para a secagem das cascas de banana foram satisfatórios para a obtenção de farinhas aplicáveis à elaboração de materiais de embalagem, apesar do tratamento com metabissulfito não ter demonstrado o efeito esperado na manutenção da cor original das cascas, com destaque para aqueles que houve a utilização da temperatura de 60 °C.

Palavras-Chave: Cinética de secagem; Farinha de cascas; Banana.

ABSTRACT

The present study aimed to carry out a research on banana peels with the study of the kinetics of the process and evaluation of the physical-chemical properties of the products obtained for the comparison of materials as raw material for the elaboration of packaging materials. For this purpose, ripe Prata banana peels were used. This was carried out using a tray dryer with three temperature variations at 50, 55 and 60 °C and applying 2 treatments of

water in banana waterfalls, a bath with a bath of the waterfalls in pure experimentation metabisulfite solutions and another with a bath in banana peels (without metabisulfite). Samples were collected periodically for moisture assessment and construction of drying kinetics. The processes performed were presented, from chemical products acquired from activity, pH, measurement and characterization of water. Flours of which are dried - 10.0% (6.1%) are greater than water sources ≥ 40 . In addition, the flours have a slightly acidic pH and titratable acid² between 2.8 – 30.3%. Although the metabisulfite treatment solution demonstrated an apparent initial effect, this effect was not maintained throughout the processes and the products showed a measurement and results. With this, it was concluded that all the processes used for drying the bananas were proposed for the maintenance of the packaging materials, although expected in the maintenance of the original peel packaging, with emphasis on the temperature of 60 °C.

Keywords: Drying kinetics; Shell flour; Banana.

1 INTRODUÇÃO

As indústrias alimentícias têm se preocupado cada vez mais com os resíduos gerados e seu respectivo aproveitamento, melhorando os investimentos em programas de reaproveitamento dos restos orgânicos (NERIS et al., 2018).

A casca de banana, gerada em grande escala pelas agroindústrias e descartada como resíduo, é um coproduto promissor para utilização industrial por ser uma matéria-prima alternativa de baixo custo, renovável e sustentável para o meio ambiente. Seu aproveitamento se dá especialmente de forma seca e pode ocorrer em diversos tipos de aplicação, produtos e processos (VU et al., 2016; AGOSTINHO et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2021).

A secagem é um dos processos de conservação mais utilizados pela indústria de alimentos, ela permite a obtenção de produtos pela redução do conteúdo de umidade por processos relativamente simples e de baixo custo (SILVA et al., 2015; GONÇALVES et al., 2016). Esse teor de umidade em um alimento pode ser caracterizado como água livre, água absorvida ou água de hidratação ou ligada. Com isso, a capacidade de remoção da água de um alimento relaciona-se principalmente com a forma em que suas moléculas se encontram ligadas aos sítios superficiais do mesmo (PARK et al., 2014; SILVA et al., 2017).

Tal tecnologia implica na remoção do teor de água livre do material resultando diretamente na sua estabilidade bioquímica e microbiológica e aumentando consideravelmente sua vida de prateleira, em grande parte sem a necessidade de associação com outras técnicas de conservação, especialmente às relacionadas à cadeia do frio. Além disso, vantagens como redução de peso do produto e maior facilidade de armazenamento e transporte com conseqüente redução de custo para a manutenção do produto até sua utilização ou consumo (JAY, 2005; CELESTINO, 2010).

Para os processos de secagem e desidratação de produtos de origem orgânica diversos tipos de secadores podem ser utilizados, dentre eles destacam-se o secador de bandejas como o sendo mais tradicional, os secadores de leito de fluidizado e de leito de jorro, o micro-ondas, liofilizadores, spray dryer, dentre outros (LIMA et al., 2016).

Durante o processo de secagem, a rapidez com que um material perde umidade é conhecida como cinética de secagem e depende das suas propriedades específicas, da temperatura, velocidade do ar de secagem e umidade relativa do ar (CELESTINO, 2010; SILVA et al., 2015).

De acordo com Vu et al. (2016), os parâmetros gerais utilizados na secagem condicionam a potencialidade de utilização do produto obtido. No entanto, informações sobre essas condições para a preparação de cascas de banana como material de partida são precárias na literatura, fazendo-se necessários estudos para determinação das mesmas.

Com isso, este estudo teve por objetivo realizar a secagem de cascas de banana com o estudo da cinética do processo e avaliação das propriedades físico-químicas dos produtos obtidos para obtenção de farinhas como matéria-prima para a elaboração de materiais de embalagens.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção e Tratamento das matérias-primas

Foram utilizados frutos de banana Prata (*Musa* sp.) em estádios de maturação 6, segundo a escala de maturação de Von Loesecke (Figura 1), considerados maduros (PBMH & PIF, 2006).

Os frutos foram obtidos no comércio local da cidade Volta Redonda – RJ, selecionados, lavados, higienizados com solução de hipoclorito de sódio conforme descrito no Capítulo II e submetidos ao descascamento manual e as cascas foram cortadas em aproximadamente 2 cm² com o auxílio de faca de aço inox.

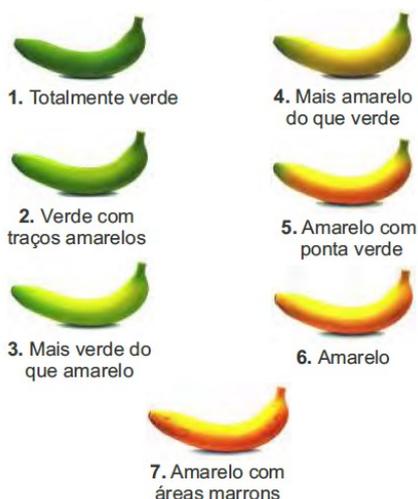


Figura 1. Escala de Maturação de Von Loesecke (PBMH & PIF, 2006)

As cascas foram separadas em dois grupos aos quais foram aplicados tratamentos diferentes antes de serem submetidas à secagem, que consistiram em:

- 1) Tratamento com banho de imersão em solução de metabissulfito de sódio a 1% (m/v) por 15 minutos, logo após o descasque;
- 2) Tratamento com banho em água destilada, sem adição de aditivos químicos.

Após receberem os tratamentos, foi realizado o escoamento das soluções e as cascas fracionadas foram sobrepostas e envoltas por papel toalha, onde permaneceram por aproximadamente 30 minutos, para a eliminação do excesso de água superficial adquirida, antes de iniciar o processo de secagem. É importante ressaltar que os processos foram realizados de forma a se evitar que as cascas de banana submetidas aos tratamentos não se misturassem.

1.2. Processo de Secagem e Estudo da Fluidodinâmica

Testes preliminares de secagem foram realizados com o objetivo de conhecer o comportamento do material (casca de banana fracionada) no equipamento ao longo do período de secagem, para definir as melhores condições e fazer ajustes na metodologia.

Os processos de secagem das cascas de banana foram realizados em secador de bandejas contendo três bandejas em aço inox, uniformemente perfuradas para facilitar a circulação de ar aquecido entre as partículas amostrais. Tais processos ocorreram de forma individual para cada tratamento (com banho e sem banho em solução de metabissulfito de sódio), para que não houvesse mistura ou contaminação entre as amostras (Figura 2). Os parâmetros de secagem utilizados, determinados por meio da aplicação de testes preliminares, foram de temperaturas variáveis em 50 °C, 55 °C e 60 °C, por um tempo de 12 horas, em circulação de ar com velocidade fixa.

Anteriormente ao processo, o equipamento foi ajustado e estabilizado previamente com o aquecimento à temperatura correspondente e circulação de ar em velocidade fixa por cerca de 30 minutos, atingindo a temperatura desejada. Após, o sistema de ar foi desligado para fazer o carregamento do material e então dar início ao processo.



Figura 2. Representação do processo de secagem com as cascas úmidas (a) e já secas dispersas nas bandejas (b), bem como do secador de bandejas em funcionamento, com a tampa ainda aberta (c).

Durante a secagem, o tratamento 2 foi tomado como tratamento piloto por não haver substância química na água de imersão das cascas. Este foi realizado com coletas periódicas de amostra para a análise da umidade e construção da cinética de secagem ao longo do tempo de processo em intervalos de tempo de 15 em 15 minutos durante os primeiros 180 minutos e de 30 em 30 minutos até o final do processo, com 720 minutos correspondendo a 12 horas. Já o tratamento 1 foi exposto à secagem com a coleta de amostra de forma mais simplificada, a cada 60 minutos até atingir o tempo total de processo.

Para garantir que a secagem ocorresse de forma homogênea em todo material, as cascas foram revolvidas periodicamente com a ajuda de espátula de aço inoxidável e um rodízio das bandejas foi realizado nos intervalos de coleta de amostra.

Após o processo de secagem, as cascas foram trituradas em moinho de facas (Solab[®]), devidamente higienizado, para a sua transformação em farinhas (Figura 3). A partir de então, foram obtidos 6 tipos de farinhas como matérias-primas secas (Farinhas de casca tratada em metabissulfito de sódio e secas a 50 °C, 55 °C e 60 °C; Farinhas de casca não tratada em metabissulfito de sódio e secas a 50 °C, 55 °C e 60 °C), as quais foram armazenadas individualmente em sacos plásticos com fechamento hermético tipo zip e mantidas em dessecador sob temperatura ambiente.

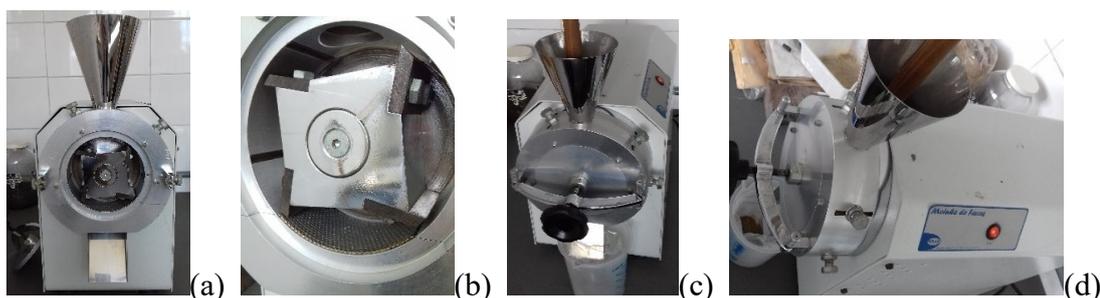


Figura 3. Imagens do Moinho de facas utilizado para a trituração das cascas secas. Detalhes do equipamento aberto (a), do conjunto de facas rodeado por parede peneirada (b) após a higienização, do equipamento fechado e preparado (c), e do mesmo em funcionamento com a moagem (d).

1.3. Caracterização Físico-química das Farinhas Obtidas

As amostras secas obtidas, chamadas de farinhas, foram caracterizadas por meio das análises físico-químicas de umidade, atividade de água, acidez, pH e coloração, de acordo com as metodologias estabelecidas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

1.3.1. Análise de umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado pelo método da AOAC (1995), que consiste na secagem em estufa à pressão atmosférica a 105 ± 1 °C de 2 g da amostra até a constatação do alcance do peso constante. As umidades expressas em base úmida (% Xbu) e em base seca (Xbs) foram então determinadas pela Equação 1 e Equação 2, respectivamente:

$$U(\%Xbu) = \frac{m_{inicial} - m_{final}}{m_{inicial}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

$$U(Xbs) = \frac{U(bu)}{1 - U(bu)} \quad \text{Equação 2}$$

1.3.2. Atividade de água

A determinação da atividade de água (Aa), relação entre pressão parcial de vapor de água no alimento (Pv) e a pressão de vapor de água da água pura (P0) na mesma temperatura,

foi realizada por meio do instrumento medidor de atividade de água (Etec, São Paulo), utilizando-se uma quantidade de amostra suficiente para cobrir o fundo do recipiente plástico sem ultrapassar a metade da altura do mesmo (Equação 3).

$$A_a = P_v/P_0 \quad \text{Equação 3}$$

Em que: P_v = pressão parcial de vapor de água no alimento; P_0 = pressão de vapor de água da água pura.

1.3.3. Determinação da acidez e de pH

A acidez titulável foi determinada por titulação com solução padronizada de NaOH a 0,1N, conforme IAL (2008). As amostras particuladas de casca dos frutos foram pesadas em torno de 2,5 g em Erlenmeyer de 250 ml, adicionadas de 150 mL de água destilada e homogeneizadas para o procedimento de titulação em presença de solução indicadora fenolftaleína. Os resultados foram expressos em % de ácido málico, conforme a Equação 4.

$$AT = \frac{V \cdot N \cdot E}{10 \cdot M} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: V = volume de NaOH gasto na titulação (mL); N = normalidade do NaOH (0,01N); M = massa da amostra (g); E = equivalente grama do ácido.

Já a determinação do pH foi realizada nas amostras, particuladas e homogeneizadas, por leitura direta em potenciômetro digital devidamente calibrado (AOAC, 1995).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pôde-se observar que apesar de se estabelecer condições constantes de secagem, o controle de alguns fatores desfavoráveis à uniformidade dos produtos foram necessários. Isso porque mesmo havendo a distribuição das partículas de casca, algumas ficaram sobrepostas ou muito próximas a outras. Além disso, ao longo do processo, parte delas se aderiam com facilidade ao fundo da bandeja de metal, especialmente aquelas cuja face interna da casca encontrava-se virada para baixo. Fenômeno este que, possivelmente ocorreu devido à maior condutividade térmica do aço inox da bandeja em relação à do ar.

Com isso, o revolvimento periódico das amostras, bem como o rodízio intermitente das bandejas, oportunizou a secagem de todo material por igual e a obtenção de um material seco mais homogêneo e uniforme quanto à umidade.

A partir dos dados de umidade dos materiais obtidos ao longo dos processos, foram traçadas curvas de secagem do conteúdo de umidade do material em função do tempo e curvas das taxas de secagem em função do conteúdo de umidade do material, utilizando-se das medidas de umidade em base seca obtidas para amostras retiradas periodicamente durante a secagem. Dessa forma, foi possível compreender a cinética de secagem do material que, segundo Silva et al. (2015), trata-se da rapidez da perda de umidade do mesmo e depende das propriedades de sua matriz, bem como das variáveis de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar de secagem.

As curvas de secagem da casca de banana da variedade Prata encontram-se representadas graficamente na Figura 4 e Figura 5, onde segue ilustrado o decréscimo da umidade em base seca do material ao longo do tempo para cada temperatura estabelecida de secagem, sob velocidade fixa do ar.

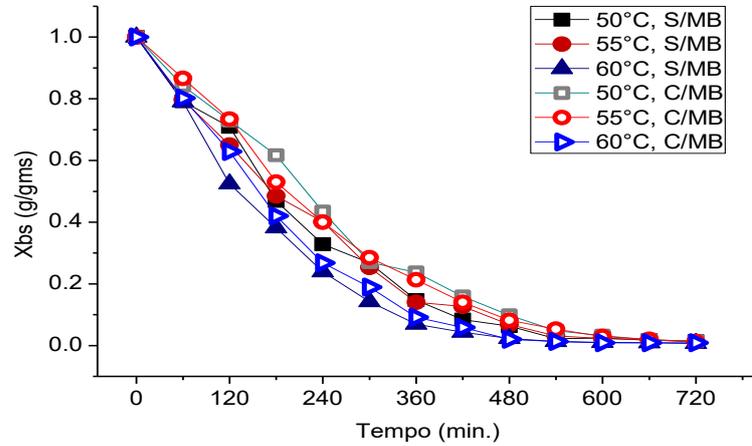


Figura 4. Conteúdo de umidade em base seca da casca de banana em função do tempo dos experimentos de secagem. S/MB – sem tratamento em metabisulfito; C/MB – com tratamento em metabisulfito.

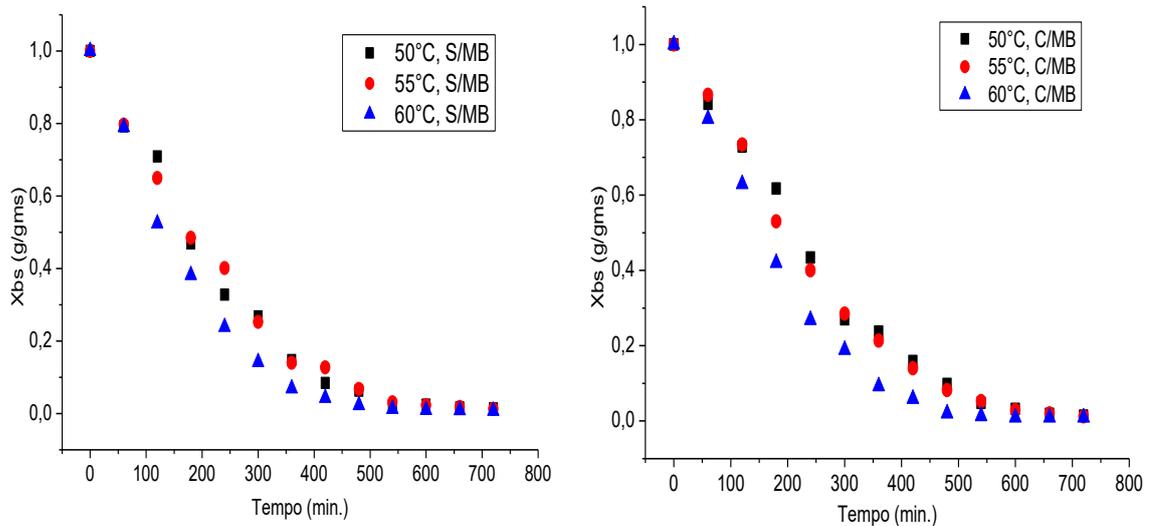


Figura 5. Adimensionalidade de umidade em função do tempo de secagem da casca de banana para as condições operacionais do planejamento experimental. S/MB – sem tratamento em metabisulfito; C/MB – com tratamento em metabisulfito.

Desconsiderando variações ambientais, segundo Silva et al. (2016) a capacidade de remoção da água de um alimento relaciona-se especialmente com a forma de ligação entre suas moléculas aos sítios superficiais do mesmo, como por forças de Van der Waals e pontes de hidrogênio, sendo estas as mais recorrentes. Assim, o processo de desidratação por secagem caracteriza-se pela remoção da água livre, que está presente nos espaços intergranulares e porosos do alimento, por estar fracamente ligada ao substrato.

De acordo com as curvas de secagem das condições operacionais demonstradas nos gráficos, pôde-se observar que a cinética de secagem foi discretamente influenciada pela temperatura atribuída à mesma, dessa forma, a elevação da temperatura reduziu o tempo de secagem (Figura 4). Comportamento similar a este também foram verificados e reportados na literatura por outros autores. Gonçalves et al. (2016), constatou que a alta temperatura resulta em rápida evaporação da água presente no sólido, ao estudar a secagem de casca e polpa de banana verde. Berto et al. (2015) afirmaram que o alcance de altas taxas de secagem ocorre quando há elevação da temperatura do ar, devido a um aumento no coeficiente de difusão da umidade. Os autores, ao estudarem a secagem de cascas das bananas de variedades Nanica e Prata, em temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C e velocidade de ar constante, verificaram forte influência da temperatura na cinética de secagem, com uma redução significativa de tempo de processo ao utilizar tal condição mais elevada.

Segundo os resultados, também foi possível observar que o tempo total estipulado de 720 minutos para secagem foi suficiente para alcançar a umidade de equilíbrio, excedendo-se em todas as condições estudadas (Figura 4). Tal equilíbrio foi alcançado em menor tempo, com 480 minutos de processo, quando aplicada a maior temperatura de processo ($T = 60\text{ °C}$) e em maior tempo, com 660 minutos, quando aplicada a temperatura inferior dentre os processos ($T = 50\text{ °C}$).

Com isso, é importante destacar que, se considerarmos a resposta de tempo de secagem frente à temperatura como variável do processo, a secagem a 60 °C se destaca por impactar em um processo até 3 horas mais rápido que os demais. Isso implica, de forma geral, em diversas vantagens industriais além da maior velocidade de processo, já citada, como menor depreciação do equipamento e maior volume de fluxo diário de processamento pelo mesmo equipamento de secagem.

No entanto, de acordo com Vu et al. (2016), os impactos que as condições de secagem causam no produto obtido podem ser diversos e devem ser considerados primordialmente essenciais para a determinação do processo ideal. Segundo Vuong et al. (2015), perdas de compostos bioativos e da capacidade antioxidante ocorrem de forma significativa em decorrência da utilização de condições inadequadas de secagem. Dessa forma, considerar o estudo da secagem atrelado às propriedades físicas, químicas e físico-químicas finais do material obtido para avaliar tais impactos é essencial considerar.

As umidades de equilíbrio em medida de base seca foram de 0,014 para as cascas com ambos os tratamentos secas a 50 °C. Para as secas a 55 °C, foram de 0,013 e 0,014 para as cascas tratadas sem e com metabissulfito de sódio, respectivamente e de 0,007 e 0,009 para tais tratamentos sob temperatura de 60 °C.

A representação gráfica das cinéticas de secagem das amostras para as condições operacionais estabelecidas com e sem tratamentos em solução de metabissulfito segue representada pela Figura 6.

Observou-se que houve uma acentuação da curva de secagem quando promovidas maiores temperaturas, o que aponta uma perda de umidade mais rápida frente à aplicação da temperatura de 60 °C. As curvas de secagem obtidas para as secagens sob mesmas temperaturas, independente do tratamento apresentaram-se similares, exibindo curvas de secagem muito próximas. Isso indica que o tratamento da matéria-prima, referente a aplicação ou não de metabissulfito de sódio, não interferiu na cinética de secagem e que o

metabissulfito de sódio utilizado em solução para banhar a casca não exerceu influência na transferência de massa e na capacidade em perder umidade da mesma (Figura 6).

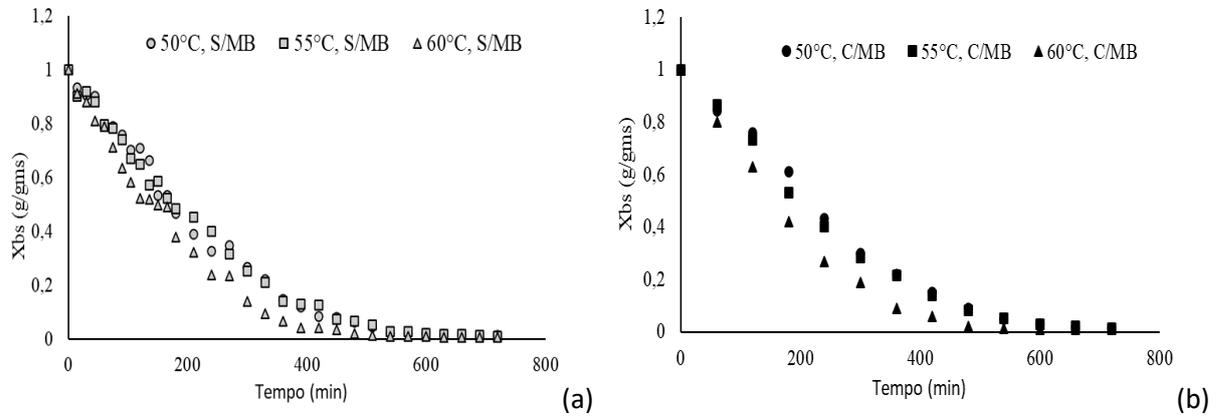


Figura 6. Adimensional de umidade em função do tempo de secagem da casca de banana para as condições operacionais estabelecidas com os tratamentos sem (a) e com solução de metabissulfito (b). S/MB – sem tratamento em metabissulfito; C/MB – com tratamento em metabissulfito.

A representação gráfica das cinéticas de secagem em repetições dos processos de secagem nas diferentes temperaturas segue representada pela Figura 7.

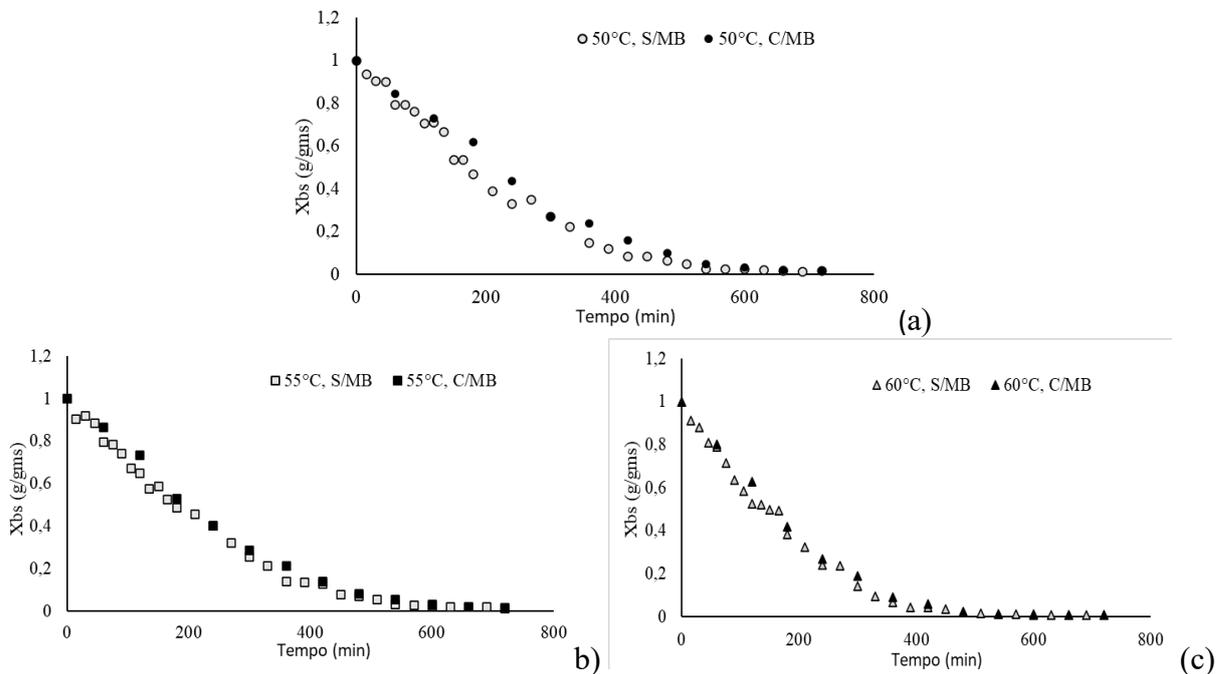


Figura 7. Cinética de secagem de cascas de banana em temperaturas de 50 °C (a), 55 °C (b) e 60 °C (c). S/MB – sem tratamento em metabissulfito; C/MB – com tratamento em metabissulfito.

Pôde-se observar que as repetições das condições de secagem estudadas apresentam resultados semelhantes de decréscimo de umidade em relação ao tempo durante o processo (Figura 7), demonstrando a reprodutibilidade e confiabilidade dos resultados de secagem.

Foi possível verificar que durante o processo de coleta das amostras ao longo da secagem para a construção da cinética houve uma variação de temperatura do secador, decaindo decorrente à sua abertura. Tal variação alcançou até 10 °C em aproximadamente entre 5 e 10 minutos, correspondentes à abertura do equipamento, a coleta da amostra e o restabelecimento da temperatura de processo. Devido à realização de muitas coletas, esta interferência pode ter influenciado tanto no comportamento de secagem, o que não foi perceptível no gráfico, quanto no alcance da umidade de equilíbrio das cascas secas.

As taxas de secagem, ou velocidades com a qual há diminuição no teor de água do material, em função da umidade adimensional as condições de secagem do planejamento experimental seguem representadas na Figura 8.

Foi possível observar, em relação às taxas de secagem, que para os experimentos realizados com temperatura de 55 °C e 60 °C houve um pequeno período de indução, que ocorreu quando a velocidade inicial de secagem foi mais alta, devido ao elevado conteúdo de água livre. Para os experimentos realizados à 50 °C, no entanto, esse período de indução foi tardio, o que indica que nesta temperatura a amostra demorou um tempo maior para se aquecer e atingir uma velocidade mais elevada de secagem. Em seguida, pôde-se observar um período decrescente de secagem, no qual a velocidade de secagem diminuiu gradativamente com a redução da umidade do produto.

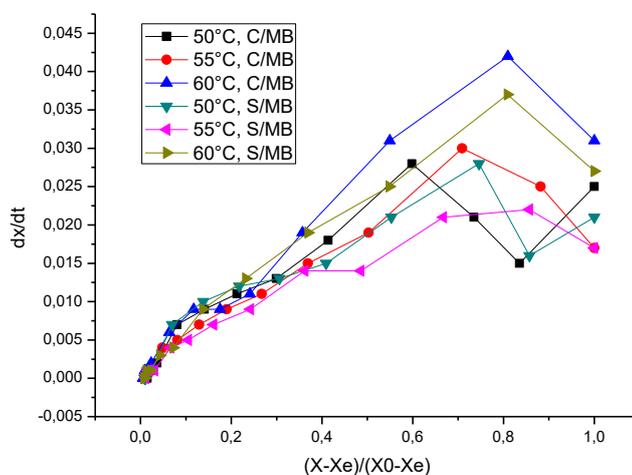


Figura 8. Taxa de secagem da casca de banana em função da condição de secagem para os diferentes tratamentos. C/MB: com metabissulfito; S/MB: sem metabissulfito.

Ao avaliar as curvas das taxas de secagem fixando-se cada uma das temperaturas (Figura 9) foi possível observar que as mesmas apresentaram um padrão de comportamento similar independente do tratamento, apesar das amostras com o tratamento sem MB demonstrarem menor pico de velocidade de secagem em comparação ao outro tratamento em cada uma das temperaturas utilizadas.

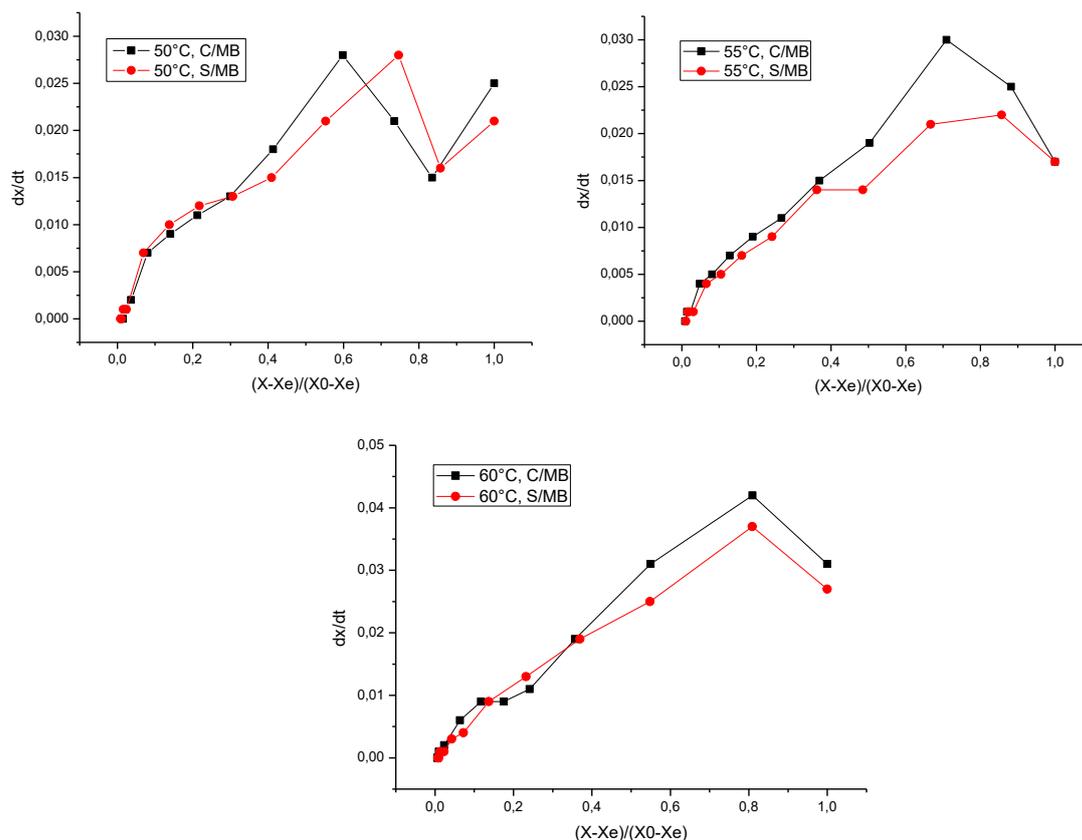


Figura 9. Taxa de secagem em razão da umidade das condições de temperaturas do ar variadas de 50 °C, 55 °C e 60 °C, velocidade de ar fixa e dos materiais tratados ou não com solução de metabissulfito de sódio. S/MB – sem tratamento em metabissulfito; C/MB – com tratamento em metabissulfito.

Os parâmetros físico-químicos dos materiais obtidos por meio das diferentes condições de secagem seguem representadas na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos das cascas de bananas secas nas diferentes condições e das farinhas obtidas das respectivas

Condições de secagem	Umidade adimensional (X/X0bs)	Umidade (%Xbu)		Aa		Acidez		pH
		Casca seca	Farinha	Casca seca	Farinha	Farinha	Farinha	
50°C, C/MB	0,014	6.2%	8.6%	0.385	0.401	29.7	5.4	
50°C, S/MB	0,014	6.2%	10.0%	0.380	0.401	22.8	5.9	
55°C, C/MB	0,014	6.5%	6.3%	0.359	0.319	30.3	5.5	
55°C, S/MB	0,013	6.1%	6.1%	0.340	0.303	27.2	5.9	
60°C, C/MB	0,009	4.8%	8.3%	0.338	0.369	27.9	5.4	
60°C, S/MB	0,007	4.3%	7.6%	0.386	0.329	25.6	5.7	

C/MB: com metabissulfito; S/MB: sem metabissulfito.

Pôde-se observar que a umidade em base úmida das farinhas de cascas de banana, foram maiores que a umidade atribuída às próprias cascas secas correspondentes. Isso pode ser explicado devido as cascas secas possuírem umidade muito baixa e com a superfície de contato relativamente grande, especialmente durante e após a transformação em farinha, o que pode ter facilitado a absorção de umidade frente a umidade relativa do ar em um ambiente não controlado (Tabela 1).

De acordo com os padrões instituídos pela RDC nº 263 da ANVISA (BRASIL, 2005), a umidade máxima estabelecida para farinhas é de 15,0 % (g /100 g). Portanto, de acordo com os dados expostos na Tabela 1, independente das condições de preparo das cascas e/ou das condições utilizadas nos processos de secagem todas as farinhas de cascas de banana obtidas se enquadram em conformidade com os padrões legais vigentes.

Por serem fatores determinantes para a estabilidade, a baixa umidade encontrada nas cascas e farinhas e a baixa atividade de água (Aa) juntamente com a concentração de ácidos no produto seco, são responsáveis por um maior período de conservação, permitindo sua durabilidade durante um período consideravelmente mais extenso, quando comparado ao fresco.

Com relação ao aspecto visual de coloração, observou-se que desde o momento do descascamento as cascas sofreram um gradativo escurecimento (Figura 10 b), o que pode ser atribuído a um processo conhecido como escurecimento enzimático decorrente ao conteúdo de enzimas polifenoloxidasas (PPO) presentes nesse material vegetal.



Figura 10. Cascas de banana fracionadas, preparadas com os tratamentos com (a) e sem (b) banho em solução de metabissulfito de sódio e distribuídas nas bandejas para secagem.

O escurecimento enzimático em tecidos vegetais é um processo químico que resulta na formação de pigmentos marrons, pela atividade da PPO (NADAFZADEH et al., 2017). Esta enzima, também conhecida como fenolase, catecolase, creolase e tirosinase, atua como oxidase de função mista sobre compostos fenólicos, por meio de dois tipos de reações na presença de oxigênio: hidroxilação de monofenóis para o-difenóis e oxidação de o-difenóis em compostos escuros, as o-quinonas (ESKIN e SHAHIDI, 2015).

Este fenômeno é propiciado pela danificação do tecido vegetal com o rompimento de plastídios e vacúolos, estruturas celulares que compartimentam respectivamente a PPO e os substratos fenólicos que participam da reação de oxidação resultando em compostos de coloração amarronzada (FENNEMA, 2010).

A modificação da coloração do tecido vegetal observada na casca de banana durante os processos térmicos de secagem também pode ser decorrente de outras reações conhecidas como Maillard e a caramelização, que levam ao que é conhecido como escurecimento não enzimático.

No sentido evitar a disseminação dessas reações e comprometimento da coloração original da matéria-prima, o tratamento realizado em que há imersão das cascas em solução com metabissulfito de sódio se destacou frente ao outro, como mostra a Figura 10 (a e b), por retardar tais processos químicos e preservar a cor inicialmente à secagem. Tal efeito pode ser atribuído à capacidade antioxidante da substância.

O metabissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) é amplamente utilizado na indústria de alimentos devido a sua capacidade de inibição do escurecimento enzimático e não enzimático, de atuar como agente branqueador, antioxidante, conservante e redutor (FAVERO; RIBEIRO; AQUINO, 2011). Os sulfitos são agentes redutores que podem reagir com as o-quinonas reduzindo-as a o-difenóis ou complexar com produtos da reação enzimática, além de prevenir o escurecimento não enzimático devido sua alta reatividade com os componentes intermediários dessas reações (OLIVEIRA et al., 2008; LIM e WONG, 2018).

No entanto, apesar de inicialmente retardar as reações de escurecimento, ao longo do processo de secagem as amostras de ambos os tratamentos tiveram um escurecimento expressivo. Assim, pôde-se constatar que mesmo o tratamento com a solução de metabissulfito de sódio não foi totalmente eficaz para preservar a coloração do tecido vegetal, quando exposto às condições de temperatura e tempo das secagens.

4 CONCLUSÃO

Os processos de secagem à 50, 55 e 60 °C em velocidade constante do ar de 0,5 m/s e com revolvimento periódico das cascas de banana foram uniformes e eficazes para a obtenção de farinhas a serem utilizadas para a elaboração de materiais de embalagem.

Nas condições estudadas, a secagem com temperatura de 60 °C e sem aplicação de solução de metabissulfito de sódio na casca destacou-se-se como a mais indicada para o processo, visto que nesta temperatura o tempo de secagem foi consideravelmente menor (3 horas). Além disso, o tratamento utilizando metabissulfito não demonstrou a eficácia esperada para controlar o escurecimento das cascas e preservar sua coloração até o final do processo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, M. B.; HERDY, V. S.; KISS, K. E. C.; QUINÁGLIA, G. A. Adsorção de Agrotóxico Organofosforado por meio de Farinha de Casca de Banana Prata (Musa AAB): Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.9, n.3 – 2021.

BERTO, P. O. R.; DALCOLLE, J. C.; FERREIRA, L. A.; CANCIAM, C. A.; PEREIRA, N. C.; VIEIRA, M. F. **Estudo da cinética de secagem das cascas de bananas das variedades nanica e prata**. XI Congresso brasileiro de engenharia química em Iniciação Científica. Unicamp. Campinas, jul. 2015.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 263 de 22 setembro de 2005. **Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinha e farelo**. In: Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2005.

BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 12, de 02 de janeiro de 2001. **Regulamento Técnico sobre os Padrões Microbiológicos para Alimentos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 jan. 2001. Seção 1.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021, 51p.

ESKIN, N. A. M.; SHAHIDI, F. **Bioquímica de alimentos**. 3.ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

FAVERO, D. M.; RIBEIRO, C. S. G.; AQUINO, A. D. Sulfitos: importância na indústria alimentícia e seus possíveis malefícios à população. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 18, n. 1, p. 11-20, 2011.

GONÇALVES, J. Q.; SILVA, M. A. P.; PLÁCIDO, G. R.; CALIARI, M.; SILVA, R. M.; MOURA, L. C.; SOUZA, D. G. Secagem da casca e polpa da banana verde (*musa acuminata*): propriedades físicas e funcionais da farinha. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.09, n.03, p.62 - 72, set/dez. 2016

IAL - Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 4ªed., p.1020, 2008.

JAY, JAMES M. **Microbiologia de alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

LIM, W. Y.; WONG, C.W. Inhibitory effect of chemical and natural anti-browning agents on polyphenol oxidase from ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Journal Food Science and Technology**. 2018 Aug; 55(8): 3001–3007.

LIMA, A. G. B.; SILVA, J. V.; PEREIRA, E. M. A.; SANTOS, I. B.; LIMA, W. M. P. B. Drying of bioproducts: Quality and energy aspects. **Drying and Energy Technologies**, vol. 63, pp. 1-18. Springer, Switzerland, 2016.

NADAFZADEH, M.; MEHDIZADEH, S. A.; SOLTANIKAZEMI, M. Development of computer vision system to predict peroxidase and polyphenol oxidase enzymes to evaluate the process of banana peel browning using genetic programming modeling. **Scientia Horticulturae**. 231 (2018) 201–209.

NERIS, T. S.; SILVA, S. S.; LOSS, R. A.; CARVALHO, J. W. P.; GUEDES, S. F. Avaliação físico-química da casca da banana (*Musa spp.*) in natura e desidratada em diferentes estádios de maturação. **Ciência e Sustentabilidade – CeS**, Juazeiro do Norte, v. 4, n.1, p. 5-21, jan/jun 2018.

OLIVEIRA, T. M.; SOARES, N. F. F.; PAULA, C. D.; VIANA, G. A. Uso de embalagem ativa na inibição do escurecimento enzimático de maçãs. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n.1, p. 117-128, 2008.

SILVA, E. S.; OLIVEIRA, J.; MACHADO, A. V.; COSTA, R. O. Secagem de Grãos e Frutas: Revisão Bibliográfica. Grain drying and Fruits: Literature Review. **Revista Brasileira de Agrotecnologia** (Garanhuns – PE - Brasil) v.5,n.1,p. 19-23, Jan-Dez, 2015.

SILVA, C. O.; TASSI, E. M. M.; PASCOAL, G. B. **Ciência dos Alimentos: Princípios de Bromatologia**. Editora Rubio, 2017.

VU, H. T.; SCARLETT, C. J.; VUONG, Q. V. Effects of drying conditions on physicochemical and antioxidant properties of banana (*Musa cavendish*) peels. *Drying Technology*, 35(9), 1141–1151, 2016.

Vuong, Q. V.; Zammit, N.; Munro, B. R.; Murchie, S.; Bowyer, M. C.; Scarlett, C. J. Effect of Drying Conditions on Physicochemical and Antioxidant Properties of *Vitex agnus-castus* Leaves. ***Journal of Food Processing and Preservation***, 2015, 39, 2562-2571.

CAPÍTULO IV

DESENVOLVIMENTO DE MATÉRIAS PRIMAS E FILMES BIOPOLIMÉRICOS À BASE DE CASCA DE BANANA (*Musa sp.*) PARA APLICAÇÃO COMO EMBALAGENS DE ALIMENTOS

RESUMO

A modificação de hábitos de consumo da população tem demandado maior volume de consumo de embalagens adequadas à conservação de alimentos. Tal comportamento faz com que os plásticos sintéticos se apresentem como uma ameaça ambiental por serem obtidos de fontes não renováveis, bem como devido ao seu descarte inadequado e à sua dificuldade de degradação no ambiente. Neste sentido, novos materiais para embalagens, de base biológica, têm sido estudados e propostos na tentativa de minimizar estes efeitos e a utilização de resíduos agroindustriais para tal pode se apresentar como fonte biológica de matéria-prima. Com isso, este trabalho teve por objetivo desenvolver metodologias para a obtenção de matérias-primas e filmes biopoliméricos à base de casca de banana para aplicação como embalagens de alimentos. Para tanto, foram utilizadas cascas de bananas da variedade Prata (*Musa sp.*), as quais foram submetidas a processos diferentes para obtenção das chamadas matérias-primas seca (farinha) e úmida (massa) para utilização no desenvolvimento dos filmes biopoliméricos. Após consolidadas as metodologias desenvolvimento, foram realizadas análises subjetivas de cor, pegajosidade, homogeneidade, desprendimento, aroma, rugosidade, fragilidade e maleabilidade nos filmes obtidos para a descrição de suas características. Por fim, pôde-se concluir que a casca de banana foi um coproduto promissor para o desenvolvimento de matérias-primas de diferentes características físicas para a elaboração de filmes biopoliméricos para aplicação em embalagens de alimentos, consolidando-se em modelos sustentáveis de materiais de base biológica. A utilização de metabissulfito de sódio foi eficaz e atribuiu melhores características de aparência à matéria-prima úmida de casca de banana e aos filmes correspondentes. Os filmes elaborados apresentaram homogeneidade quanto as características gerais de cor, textura e distribuição de partículas e mostraram-se promissores para a utilização em embalagens de alimentos. A continuação dos estudos deve ser ressaltada no intuito de aprimorar as características dos filmes e sua aplicabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Bioplásticos; Materiais de base biológica; Resíduos agroindustriais; Casca de banana.

ABSTRACT

The change in consumption habits of the population has demanded a greater volume of consumption of packaging suitable for food preservation. Such behavior makes synthetic plastics present themselves as an environmental threat because they are obtained from non-renewable sources, as well as due to their inadequate disposal and their difficulty of degradation in the environment. In this sense, new biologically-based packaging materials have been studied and proposed in an attempt to minimize these effects and the use of agro-industrial residues for this purpose can be presented as a biological source of raw material. Thus, this work aimed to develop methodologies for obtaining raw materials and biopolymeric films based on banana peel for application as food packaging. For this purpose, banana peels of the Prata variety (*Musa* sp.) were used, which were subjected to different processes to obtain the so-called dry (flour) and wet (dough) raw materials for use in the development of biopolymeric films. After consolidating the development methodologies, subjective analyzes of color, stickiness, homogeneity, detachment, aroma, roughness, fragility and malleability were carried out in the films obtained for the description of their characteristics. Finally, it could be concluded that the banana peel was a promising co-product for the development of raw materials with different physical characteristics for the elaboration of biopolymeric films for application in food packaging, consolidating itself in sustainable models of base materials biological. The use of sodium metabisulphite was effective and attributed better appearance characteristics to the wet banana peel raw material and the corresponding films. The developed films showed homogeneity in terms of general characteristics of color, texture and particle distribution and showed to be promising for use in food packaging. The continuation of studies should be emphasized in order to improve the characteristics of the films and their applicability.

KEYWORDS: Bioplastics; Bio-based materials; Agro-industrial waste; Banana peel.

1 INTRODUÇÃO

A modificação do comportamento de consumo, característica do desenvolvimento econômico e da centralização populacional em áreas urbanas, impulsiona a indústria de alimentos a produzir soluções de abastecimento em larga escala. Os gêneros alimentícios, por demandarem sistemas de embalagem adequados para sua conservação nas fases de manipulação e distribuição, fazem com que as indústrias de alimentos e de embalagens se encontrem em constante expansão e atuem de forma concomitante (ALBACH, RAZERA e ALVES, 2016).

O aumento do uso de filmes sintéticos para embalagens, no entanto, levou a sérios problemas ecológicos no planeta devido à sua falta de biodegradabilidade (THARANATHAN, 2003). Assim, o acúmulo de resíduos plásticos se tornou uma grande preocupação em termos ambientais, já que os plásticos convencionais não apenas levam décadas para se decomporem, como também produzem toxinas durante sua degradação. Com isso, produzir plásticos a partir de materiais que possam ser prontamente eliminados de forma mais ecológica, tornou-se uma necessidade (GAONKAR, PALASKAR e NAVANDAR, 2017).

Os impactos ambientais provenientes dos polímeros derivados de petróleo não degradáveis fazem com que os polímeros de base biológica sejam considerados como alternativa aos mesmos (AHMADZADEH e KHANEGHAH, 2020). No entanto, a alta disponibilidade e o baixo custo dos plásticos derivados petroquímicos, bem como o elevado custo de produção dos plásticos de base biológica, fizeram com que estes fossem ignorados por bastante tempo (GAONKAR, PALASKAR e NAVANDAR, 2017).

Apesar disso, a utilização de recursos naturais, renováveis e alternativos que sejam benéficos no desenvolvimento de novos materiais é uma tendência global recente (GAONKAR, PALASKAR e NAVANDAR, 2017). A conscientização contínua da população em relação à poluição ambiental promovida pelos plásticos levou a uma mudança de paradigma no uso de materiais biodegradáveis, especialmente a partir de matérias-primas para agricultura renovável e resíduos da indústria de processamento de alimentos (THARANATHAN, 2003).

Neste sentido, a tendência atual de embalagens sustentáveis de alimentos, que aumenta o interesse pelas biodegradáveis, está baseada no uso de materiais renováveis, redução da demanda por combustíveis fósseis e redução de resíduos, dentre outros. Além disso, certamente a aceitação de embalagens biodegradáveis no mercado atual expandirá com o aprimoramento de propriedade, funcionalidade e as opções de menor custo (MAJHI, TYAGI e MISHRA, 2019).

De acordo com estudo realizado por Kohmann et al. (2016) o investimento em embalagem sustentável para alimentos, seja essa biodegradável, reciclável ou que possui logística reversa, é capaz de aumentar a intenção de compra dos consumidores, desde que o aumento de custo não seja maior que 10% do preço original do produto.

Dentre os substitutos do plástico tradicional, o bioplástico é uma das principais alternativas. Os bioplásticos podem ser definidos como materiais que são baseados em recursos naturais ou biomassa. Sua eventual biodegradabilidade se destaca como uma de suas principais vantagens, fazendo-se de atrativo para as indústrias e o setor de embalagens (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2015; GAONKAR, PALASKAR e NAVANDAR, 2017).

À vista disso, muitos estudos têm buscado o desenvolvimento de polímeros de base biológica, já que projetar bioplásticos sustentáveis feitos de polímeros de base biológica ou biodegradável abre oportunidades para superar o esgotamento de recursos e a poluição plástica (RAMESHKUMAR et al., 2020). No entanto, a competitividade pelos produtos agrícolas entre a produção desses bioplásticos e sua destinação à alimentação, também se torna uma preocupação neste cenário (BARNETT, 2011). Em consideração a isso, estudos têm surgido no intuito de desenvolver biomateriais a partir de resíduos agroindustriais como promissores materiais para aplicação em embalagens de alimentos, o que pode ser útil também para solucionar seus problemas de descarte (OLIVEIRA e MELO, 2019).

Segundo Pedrosa (2013), o setor agroindustrial contribui sistematicamente para a geração de grandes quantidades de resíduos que, quando manejados inadequadamente, também podem se tornar fontes de problemas ambientais por contaminar solo, ar e corpos hídricos.

Apesar do seu potencial poluente, os resíduos agroindustriais possuem valor econômico agregado e podem ser tratados e aproveitados no próprio setor agroindustrial, por isso não devem ser considerados como lixo (PEDROSA et al., 2013). Em estudo, Gondim et al. (2005) verificaram que as cascas de frutas como banana, abacaxi e maracujá, dentre outras,

apresentam teores nutricionais maiores que os das suas respectivas partes comestíveis, o que as tornam subprodutos que devem ser valorizados para sua transformação. Segundo os autores, as cascas de banana possuem uma composição em carboidrato, proteína e lipídeos de 4,91%, 1,69% e 0,99% respectivamente, além de serem ricos em micronutrientes.

Com isso, estes subprodutos podem ser considerados promissores para uso como matéria-prima na elaboração de bioplásticos (GAONKAR, PALASKAR e NAVANDAR, 2017), já que a elaboração de filmes de base biológica ocorre usualmente a partir de polímeros naturais de alto peso molecular, como proteínas, polissacarídeos e lipídios, ou sua combinação (PASCALL e LIN, 2013).

Para se atingir um desenvolvimento sustentável é, portanto, necessário promover a escolha de materiais mais sustentáveis e a exploração racional de recursos, além de propiciar formas de aproveitamento dos resíduos resultantes das mais diversas atividades industriais, de forma a aumentar seu valor, resultando na transformação de resíduos em subprodutos industriais e conseqüentemente, em novas matérias-primas (VALENTE, 2015).

Assim, a combinação dessas instâncias, além de atender às necessidades emergenciais relacionadas ao meio ambiente pode alcançar e beneficiar vários elos do mercado, abrangendo empresas e consumidores (OLIVEIRA e MELO, 2019).

Diante disto, objetivou-se com esta pesquisa, desenvolver metodologias para a obtenção de matérias-primas e filmes biopoliméricos à base de casca de banana para aplicação como embalagens de alimentos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Diversas propostas de metodologia foram estudadas com aplicação de testes preliminares ao desenvolvimento das matérias-primas derivadas das cascas e dos filmes biopoliméricos. A descrição da metodologia retratada a seguir específica e é proveniente do resultado conclusivo do desenvolvimento dos processos, matérias-primas derivadas das cascas e dos filmes biopoliméricos findados. Desse modo, alguns de seus procedimentos serão discutidos no decorrer do trabalho.

2.1. Obtenção de Matérias-primas para a Elaboração de Filmes Biopoliméricos

Os frutos foram obtidos no comércio local da cidade Volta Redonda – RJ. Foram utilizados frutos de banana Prata (*Musa* sp.) maduros, em estágio 6 de maturação segundo a escala de maturação de Von Loesecke, e ocasionalmente em estágio 3 de maturação, considerados verdes (PBMH e PIF, 2006).

As cascas foram submetidas a dois tipos de processamento para a obtenção do que chamamos de Matérias-primas que serviram de base para a elaboração dos filmes. O primeiro foi a secagem, com a obtenção de farinhas e o segundo foi o tratamento térmico úmido, para a obtenção de massas.

Com o intuito de preservar melhores características às matérias-primas derivadas da casca de banana e aos filmes elaborados, foram utilizados dois tratamentos das cascas antes de submetê-las a cada tipo de processo, que consistiram em um banho de imersão das cascas em

solução de metabissulfito (0.05%) ou em um banho em água potável pura, logo após o descasque.

2.2. Obtenção das Farinhas como Matérias-Primas Secas

Os processos de secagem das cascas de banana foram realizados em secador de bandejas com circulação fixa de ar e ocorreu de forma individual para cada tratamento (com banho e sem banho em solução de metabissulfito) (Figura 1 a e b).

Para tanto, foram utilizadas as temperaturas de 55 °C por 12 horas e velocidade do ar fixa. As cascas secas foram trituradas e transformadas em farinhas, como demonstrado na Figura 1c. Com isso, foram obtidos 2 tipos de matérias-primas secas, as quais foram armazenadas individualmente em sacos plásticos com fechamento hermético tipo zip e mantidas em dessecador sob temperatura ambiente.



Figura 1. Representação da secagem com as cascas úmidas (a) e já secas (b) no secador de bandejas e a posterior trituração em moinho de facas (c)

2.3. Obtenção das Massas como Matérias-Primas Úmidas

Para a obtenção das matérias-primas úmidas, chamadas de “Massas da casca”, procedeu-se um tratamento térmico em temperatura de 90 °C por 30 minutos em banho-maria (Figura 2a), com posterior imersão em água potável fria contendo ou não metabissulfito à 0.05% por 15 minutos, constituindo assim os tratamentos das cascas maduras com e sem metabissulfito. Por fim, as cascas foram dispostas sobre papel toalha para a eliminação da umidade superficial adquirida (Figura 2b).

Após este procedimento, as cascas foram fracionadas em cubos de aproximadamente 2 cm, para posterior trituração em liquidificador até a obtenção das massas de textura lisa e homogênea (Figura 2c).

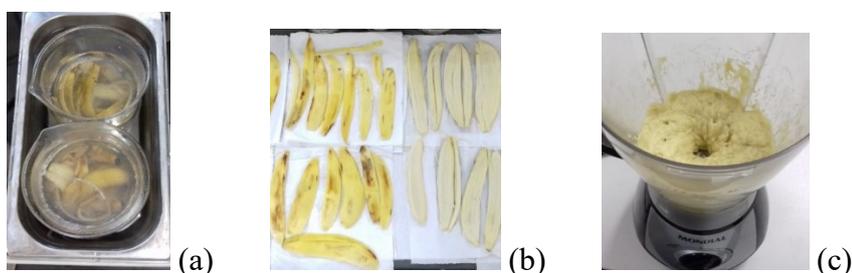


Figura 2. Processo de obtenção da massa de casca de banana com o cozimento da casca (a), drenagem da umidade superficial adquirida (b) e trituração das cascas em massa (c).

A matéria-prima úmida (massa) também foi eventualmente obtida de cascas verdes, que foram submetidas ao mesmo tratamento que as cascas maduras sem o banho em solução com metabissulfito.

Com isso, foram obtidos 3 tipos diferentes massas, que foram acondicionadas em potes de vidro de 500 g identificados e mantidas sob refrigeração até sua utilização.

2.4. Elaboração dos Filmes Biopoliméricos de Embalagem

A metodologia de desenvolvimento dos filmes biopoliméricos foi alcançada após diversos testes, nos quais pôde-se constatar quais eram as melhores técnicas e condições para o alcance da formação de materiais com características de filmes, partindo de matérias-primas estruturalmente diferentes: secas e úmidas. O método “casting” foi utilizado como parâmetro inicial.

Para o desenvolvimento dos filmes utilizando-se as massas úmidas de casca como matérias-primas, as mesmas foram pesadas em béquer, adicionadas de 40% (p/p) de água destilada pré-aquecida e submetidas a aquecimento de 70 °C por 30 minutos em banho-maria. Após este período, foi incorporado na mistura cerca 12% (p/v) de solução de ácido clorídrico (HCl) a 0,1M, homogeneizado e mantido em aquecimento por mais 30 minutos. Em sequência, também foram adicionados e homogeneizados 12% (p/v) de solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1M, mantendo-se o aquecimento por mais 30 minutos. Por fim, houve a incorporação de 8% de glicerol com manutenção do aquecimento por mais 20 minutos. Após este processo, o tratamento térmico foi interrompido resfriando os materiais preparados em banho-maria frio por 30 minutos (Figura 3 a).

Os materiais, já resfriados até a temperatura ambiente, foram submetidos ao ajuste de pH em 5.00 ± 0.01 , muito bem homogeneizados e fracionados em placas de Petri de vidro com aproximadamente 9 cm de diâmetro, para posterior secagem em estufa com circulação de ar à temperatura de 75 °C por 11 horas (Figura 3 b, c e d).

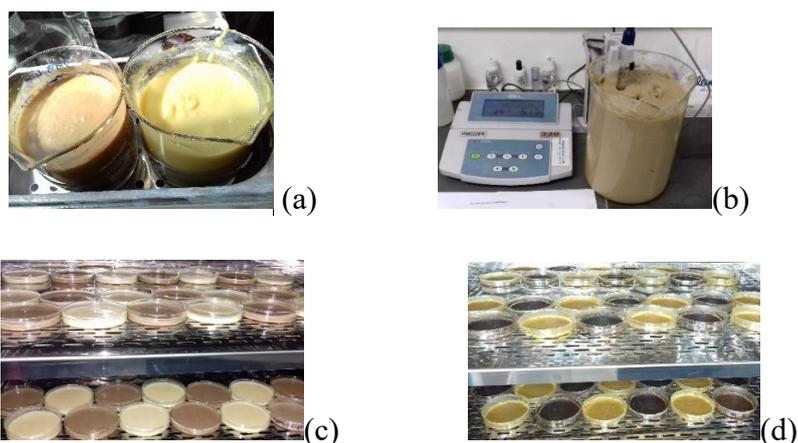


Figura 3. Demonstração do processo de elaboração dos filmes com as etapas de elaboração do material em banho-maria (a), ajuste de pH (b), fracionamento em placas e processo de secagem dos filmes (c e d).

No intuito de melhorar as características dos filmes de massa, foram elaborados materiais biopoliméricos com adição de Tween 80 ou amido de milho, à partir da massa sem o banho com solução de metabissulfito, seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente.

Para o desenvolvimento dos filmes utilizando as matérias-primas secas, inicialmente foram realizadas a pesagem e reidratação das farinhas com água destilada pré-aquecida em proporção de 3:10 (p/v), homogeneização com o auxílio de um aparelho mixer e aquecimento em banho-maria a 70 °C por 30 minutos. Após a obtenção de uma massa reidratada, seguiu-se o sequenciamento de etapas similar ao descrito para a obtenção do filme a partir da massa de casca como matéria-prima, utilizando-se o aparelho mixer para o processo de homogeneização durante as etapas, finalizando a obtenção do filme após a secagem em estufa com circulação de ar à temperatura de 75 °C por 11 horas.

Posteriormente à secagem e obtenção dos filmes, os mesmos foram destacados das placas de vidro, embalados, identificados e armazenados em dessecador. Assim, foram elaborados seis tipos de filmes biopoliméricos, como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Filmes elaborados a partir das matérias-primas de casca de banana

Filmes	Tipo de material	Antioxidante	Aditivo
FMCM	Massa	Metabissulfito de sódio	-
FMSM	Massa	-	-
FFCM	Farinha	Metabissulfito de sódio	-
FFSM	Farinha	-	-
FMAM	Massa	-	Amido de milho
FMT	Massa	-	Tween
FMV	Massa	-	-

FMCM – Filme de massa com metabissulfito de sódio; FMSM – filme de massa sem metabissulfito de sódio; FFCM – filme de farinha com metabissulfito de sódio; FFSM – filme de farinha sem metabissulfito de sódio; FMAM – filme de massa com adição de amido; FMT – filme de massa com adição de tween 80; FMV – filme de massa de banana verde sem metabissulfito.

2.5. Análise dos Resultados

Os filmes foram avaliados qualitativamente por meio de análises subjetivas visuais e táteis de brilho, coloração, uniformidade de cor, homogeneidade de textura, fibrosidade, maleabilidade e pegajosidade conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros qualitativos subjetivos para avaliação dos filmes biopoliméricos

Parâmetros subjetivos	Escala				
	1	2	3	4	5
Cor	Amarelo claro	Amarelo escuro	Marrom claro	Marrom escuro	Preto
Pegajosidade	Não pegajoso	Pouco pegajoso	Moderadamente pegajoso	Muito Pegajoso	Extremamente pegajoso
Homogeneidade de textura	Sem uniformidade	Pouco uniforme	Moderadamente uniforme	Uniforme com partes fibrosas	Textura Uniforme
Desprendimento da forma	Não desprendeu	Extrema dificuldade	Moderada difícil	Pequena dificuldade	Desprendimento total
Aroma	Caramelizado suave	Caramelizado moderado	Caramelizado intenso	Caramelizado Carbonizado	Caramelizado pungente
Rugosidade superficial	Liso	Pouco rugoso/ áspero	Moderadamente Rugoso	Muito rugoso	Extremamente rugoso
Fragilidade	Íntegro e firme	Levemente Frágil	Moderadamente Frágil	Quebradiço	Farelo - Não formou filme
Maleabilidade	Rígido	Pouco maleável	Moderadamente maleável	Muito maleável	Extremamente maleável

Quadro desenvolvido pelo autor

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o alcance da metodologia geral descrita neste trabalho, diversas propostas foram estudadas com aplicação de ensaios. Tais testes, preliminares ao desenvolvimento das matérias-primas e dos filmes, foram fundamentais para a obtenção de tal metodologia concisa que pudesse ser empregada para a obtenção dos materiais biopoliméricos, partindo de matérias-primas estruturalmente diferentes: secas e úmidas.

3.1. Matérias-Primas Secas e Úmidas

Ao longo do processo de desenvolvimento da metodologia e formulações, pôde-se observar que as condições de cocção e maceração das cascas de banana foram fundamentais para as características finais de textura e homogeneidade das farinhas e das massas obtidas como matéria-prima. Conseqüentemente, as características gerais dos filmes elaborados também foram afetadas pelas mesmas.

Para a obtenção da massa úmida de casca de banana, observou-se que a maceração realizada manualmente ou em multiprocessador foi insuficiente para que houvesse um rompimento satisfatório das fibras das cascas, o que acarretou em massas e filmes de texturas completamente heterogêneas (Figura 4).

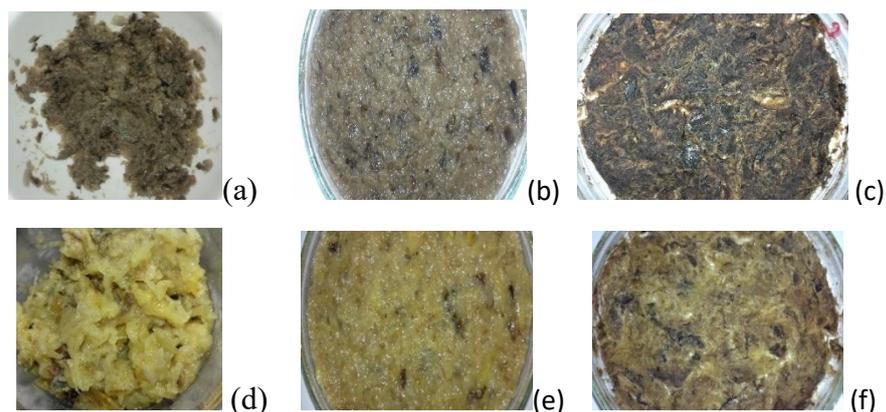


Figura 4. Demonstração das massas ((a) e (d)) com maceração insuficiente, e filmes derivados antes ((b) e (e)) e após ((c) e (f)) a secagem.

Assim, a fim de obter melhores características gerais das massas e dos filmes, foi incluído então o tratamento térmico em banho-maria da casca e sua maceração foi aperfeiçoada.

Outro quesito importante observado diz respeito à coloração aparente das matérias-primas secas e úmidas das cascas de banana, que apresentaram características bem distintas entre si. Após o descascamento da banana, bem como após o corte e manipulação das cascas, percebeu-se um rápido e natural escurecimento dessas, o que originou em produtos de coloração marrom escura (Figura 4).

O escurecimento de tecidos vegetais, quando rompidos, é um processo químico oriundo de reações catalisadas por enzimas conhecidas como polifenol oxidases (PPOs), que podem ser encontradas em praticamente em todos os tecidos vegetais, com concentrações especialmente altas em frutas como banana (NADAFZADEH et al., 2017; ARAÚJO, 2019).

O mecanismo de ação da PPO baseia-se em sua capacidade de oxidar compostos fenólicos. Na banana, o principal substrato fenólico para o escurecimento é a 3,4-diidroxifeniletilamina, também conhecido como dopamina (ARAÚJO, 2019; KOBLITZ, 2019).

Assim, quando o tecido vegetal é danificado, ocorre a ruptura de seus plastídios e vacúolo, compartimentos onde armazenam-se respectivamente a PPO e os compostos fenólicos, levando-os ao contato. O sítio ativo da PPO contém dois átomos de cobre e a enzima catalisa dois tipos de reações na presença de oxigênio molecular: a hidroxilação de monofenóis para o-difenóis (atividade monofenolase ou cresolase EC 1.14.18.1) e a oxidação de o-difenóis em o-quinonas (atividade da difenolase ou catecolase EC 1.10.3.2). Esta reação é geralmente seguida por polimerização não enzimática das quinonas que dão origem à formação de melaninas, pigmentos de alta massa molecular e cor escura (SANTOS, 2009; JIANG et al., 2016; ARAÚJO, 2019).

Para que o escurecimento enzimático ocorra, no entanto, é necessário a presença de simultânea de enzima, substrato e oxigênio. Com isso, o mesmo pode ser prevenido por meio da inativação térmica da enzima, exclusão de ao menos um dos substratos, redução do pH abaixo do ótimo (~6,0), ou pela adição de substâncias redutoras (ARAÚJO, 2019).

Segundo Jiang et al. (2016), a aplicação de compostos redutores é o método de controle mais eficaz para o escurecimento enzimático causado pela PPO. Substâncias

reduzidoras, como ácido ascórbico, bissulfitos e tióis têm efeito inativador da PPO, bem como capacidade de reduzir benzoquinonas a o-di-hidroxifenóis, sendo consumidas no processo. (JIANG et al., 2016; ARAÚJO, 2019).

Neste sentido, visando a melhoria da coloração das massas e farinhas para o alcance de características visuais mais satisfatórias, fez-se necessário a utilização de agentes redutores, em especial o metabissulfito de sódio durante o desenvolvimento das matérias-primas.

Após todos os ajustes e consolidação da metodologia, pôde-se observar que as massas, independente do tratamento de obtenção quanto ao banho com solução de antioxidante, apresentaram características de textura e homogeneidade similar, com consistência pastosa, sem fiapos de fibras ou pedaços de casca aparentes (Figura 5).

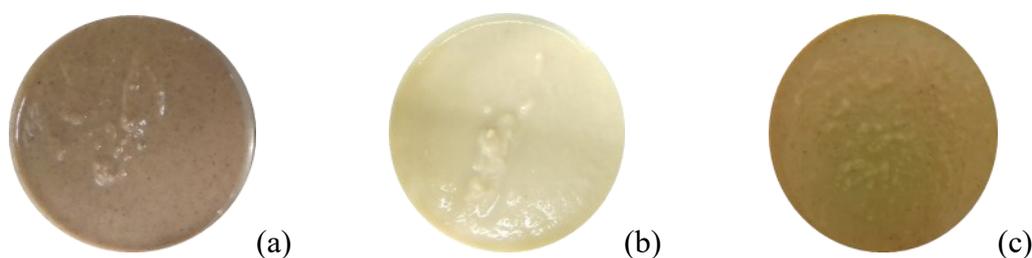


Figura 5. Massa de casca de banana madura sem (a) e com (b) tratamento com metabissulfito de sódio e massa de casca de banana verde tratamento sem metabissulfito de sódio.

Quanto à coloração aparente das massas úmidas, houve grande variação de acordo com o tratamento a que foram submetidas as cascas. Nos produtos resultantes da metodologia consolidada, foi observada a preservação da coloração amarela clara para aquela cujas cascas foram submetidas ao banho com metabissulfito de sódio e uma coloração amarronzada para a que não passou pelo mesmo procedimento (Figura 5).

Observou-se também que todas as farinhas obtidas como matérias-primas secas, independente do tratamento que passaram durante seu processamento (com ou sem banho em antioxidante), apresentaram-se escuras e com coloração variando muito pouco em tonalidade de marrom. Sendo que nas farinhas obtidas com tratamento das cascas em banho com metabissulfito observou-se uma coloração ligeiramente mais clara em comparação às que não foram banhadas com a mesma, de difícil percepção em registro de imagem (Figura 6).

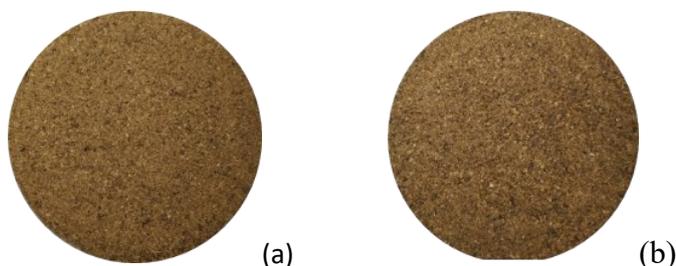


Figura 6. Farinhas de casca de banana obtidas sem (a) e com (b) o tratamento em solução de metabissulfito de sódio.

O sulfito, além de ser um agente redutor, pode interagir com a quinona, formando sulfoquinona ou inibir a enzima irreversivelmente. Com isso, os agentes redutores mais

difundidos usados no controle enzimático do escurecimento são os agentes sulfitantes (ARAÚJO, 2019; JIANG et al., 2016).

Apesar da utilização em testes dos demais antioxidantes supracitados, os ácidos usados em solução para banhar as cascas neste processo demonstraram os resultados mais insatisfatórios tanto para a obtenção da matéria-prima seca quanto da úmida e, logo que se iniciou o tratamento térmico correspondente, houve a consolidação do escurecimento das mesmas. Com isso, após os testes tais tratamentos foram descartados do experimento.

O teor de umidade das matérias-primas obtidas refletiu diretamente no seu tempo e condição de armazenamento, como já era esperado. As farinhas apresentaram-se com uma melhor estabilidade e puderam ser armazenadas em temperatura ambiente (25 °C) por um tempo superior a 150 dias sem que houvesse alterações visuais perceptíveis. Já as massas, devido à sua alta umidade, necessitaram de refrigeração durante o armazenamento, que foi possível por um período bastante inferior ao das farinhas.

De acordo com Damodaran (2019), o conteúdo de água de um alimento está relacionado à sua perecibilidade, porém, mais importante que isso é a intensidade com que a água se associa ao mesmo, indicada pelo parâmetro de “atividade de água” (Aa), já que reações enzimáticas e microbiológicas dependem do conteúdo de água livre ou disponível para ocorrerem. Assim, quanto menor a Aa, menor são as alterações sofridas pelo material biológico, conseqüentemente, maior é sua estabilidade e tempo de armazenamento, justificando assim o ocorrido com as farinhas e massas.

3.2. Obtenção dos Filmes

Pôde-se verificar que o método casting foi eficiente no processo de obtenção dos filmes partindo de ambos os tipos de matérias-primas obtidas: farinha seca e massa úmida.

“Casting” é uma das técnicas mais utilizadas na elaboração de filmes, na qual a solução filmogênica é disposta sobre uma placa de superfície lisa até que o material se solidifique formando o filme. Apesar de possuir desvantagens, como dificuldade de incorporação de matrizes de naturezas diferentes e de retirada do filme da placa ou superfície usada, a técnica de casting tem sido bastante utilizada em pesquisas com filmes e biofilmes devido à sua praticidade, tempo de preparo, facilidade de processo, dentre outras (MALI et al., 2010; COSTA et al., 2016).

Os parâmetros de hidratação foram fundamentais para a obtenção do material polimérico à base da farinha. O filme somente pôde ser obtido com a inclusão de vigorosa agitação periódica, que permitiu uma perfeita hidratação dos grânulos da farinha e dispersão polimérica dos mesmos para formar o material polimérico (Figura 7).



Figura 7. Material biopolimérico não formado (a) e filme formado com a utilização de farinha de casca de banana (b).

Os primeiros materiais obtidos não se formaram da forma como era desejado e os resultados foram materiais frágeis, quebradiços, de difícil desprendimento da placa de vidro, sem homogeneidade de cor e textura ao longo de sua extensão, com muitos pedaços fibrosos e muitos pontos desconectados, formando falhas ou buracos no mesmo (Figura 8).

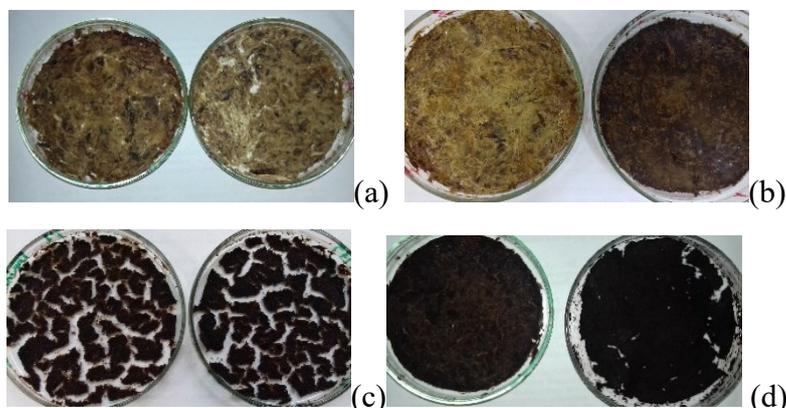


Figura 8. Primeiros materiais poliméricos oriundos de casca de banana: a e b – derivados da massa, c e d – derivados da farinha.

Após a adoção das melhorias propostas para a obtenção da massa e para reidratação da farinha, como descrito, foi possível a obtenção dos filmes com características distintas de acordo com os tratamentos que receberam.

Neste contexto, as análises qualitativas subjetivas (Tabela 2) apresentaram-se de grande importância para o processo de desenvolvimento e adequação da metodologia de elaboração, de forma que os filmes biopoliméricos elaborados nos processos finais demonstraram melhores características subjetivas de textura, coloração, acabamento e homogeneidade (Tabela 3).

Verificou-se, de acordo com a Tabela 3 que os filmes derivados do mesmo tipo de matéria-prima, independente do tratamento que receberam quanto ao banho com solução de antioxidante, apresentaram-se com aspectos similares entre si, à exceção do parâmetro de coloração e de desprendimento da placa.

Tabela 3. Características subjetivas dos filmes de casca de banana

Filme	FMCM	FMSM	FFCM	FFSM	FMAM	FMT	FMV
Cor	1	3	4/5	5	3	3	2/3
Pegajosidade	2	2	2	2	1	2	2
Homogeneidade	5	5	5	5	5	5	5
Desprendimento	4	4	3	3	2	2	4
Aroma	1	2	4/5	4/5	3	2	1
Rugosidade superficial	2	2	3	3	3	2	2
Fragilidade	2	2	3	3	1	2	2
Maleabilidade	4	4	2	2	1	4	2

FMCM – Filme de massa com metabissulfito de sódio; FMSM – filme de massa sem metabissulfito de sódio; FFCM – filme de farinha com metabissulfito de sódio; FFSM – filme de farinha sem metabissulfito de sódio; FMAM – filme de massa com adição de amido; FMT – filme de massa com adição de tween 80; FMV – filme de massa de banana verde sem metabissulfito.

Observou-se que todos os filmes obtidos apresentaram aroma característico de banana, que teve sua intensidade e viés diferenciado de acordo com a matéria-prima utilizada para a sua obtenção. Os filmes obtidos da farinha da casca tiveram a predominância do aroma de farinha com leve pungência. Já os filmes derivados da massa apresentaram-se com aroma de banana caramelizado suave e caramelizado moderado, respectivamente (Tabela 3).

A coloração de todos os filmes foram condizentes com a de suas respectivas matérias-primas, porém com um brando escurecimento após a secagem do material polimérico.

Percebeu-se assim que o FMCM foi o que manteve a coloração mais próxima à da casca da banana, já os FFCM e FFSM foram os que apresentaram maior distorção dessa característica, assumindo-se extremamente escurecidos com cor próxima ao preto (Tabela 3 e Figura 9).

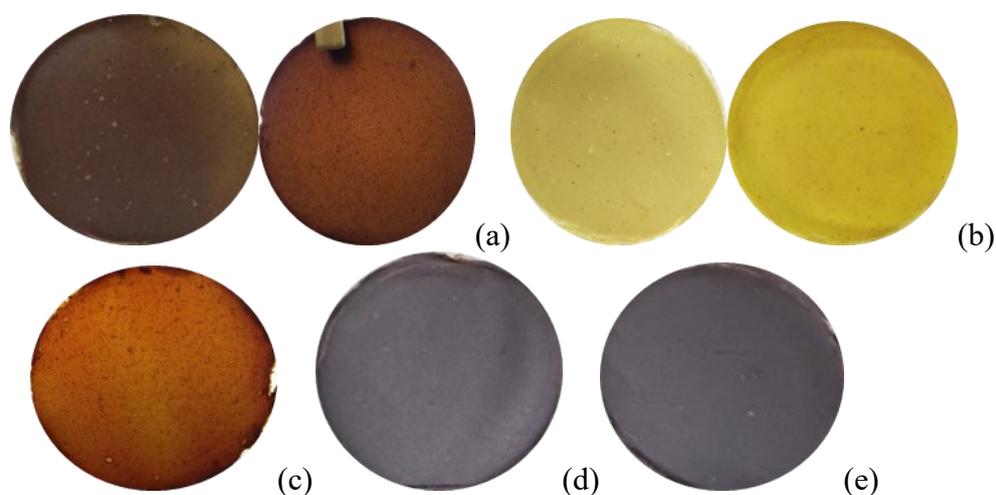


Figura 9. Filmes desenvolvidos: FMSM – filme de massa sem metabissulfito de sódio (a); FMCM – filme de massa com metabissulfito de sódio (b); FMV – filme de massa de banana verde sem metabissulfito (c); FFSM – filme de farinha sem metabissulfito de sódio (d); FFCM – filme de farinha com metabissulfito de sódio (e).

Os filmes de massa de casca de banana madura FMCM e FMSM, com exceção à sua coloração, apresentaram-se com aparência uniforme, sem presença de fragmentos de casca, pouco pegajoso, de fácil desprendimento da placa, aroma caramelo suave (FMCM) ou moderado (FMSM), textura lisa na parte inferior e ligeiramente rugosa na superior, íntegro e firme, e com boa maleabilidade (Tabela 3 e Figura 9). O FMV apresentou características gerais similares ao FMCM, porém com a coloração marrom clara (Figura 9 e Tabela 3).

Assim como os filmes de massa, os derivados da farinha (FFCM e FFSM), também se apresentaram com aparência uniforme, com textura lisa na parte inferior e moderadamente rugosa na parte superior, íntegro, porém moderadamente frágil e com menor maleabilidade e extensibilidade, além de também mostrar-se pouco pegajoso e de fácil destaque da placa (Tabela 3 e Figura 9).

A adição de amido no FMAM, fez com que este filme se mostrasse com textura homogênea, não pegajoso, íntegro e firme, porém pouco maleável e com extrema dificuldade de desprendimento da placa, como mostra a Figura 9b, o que inviabilizou sua produção.

Na tentativa de melhorar a dispersão do plastificante glicerol em toda a amplitude do filme, foram realizados experimentos utilizando o emulsificante Tween 80 com a obtenção do FMT. O filme resultante dessa adição apresentou características similares às do FMSM, porém, assim como o FMAM, teve dificuldade extrema de desprendimento da placa, o que também fez com que sua produção fosse inviabilizada (Figura 10 e Tabela 3).

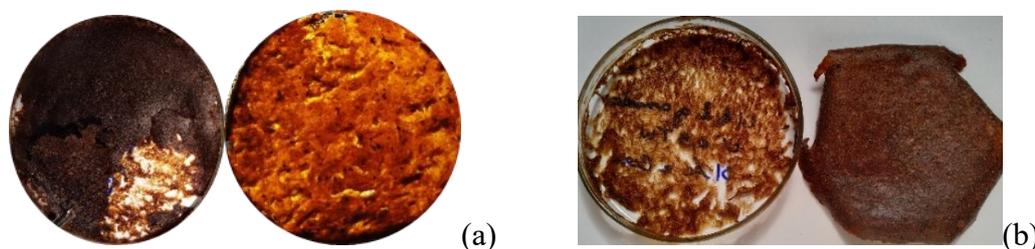


Figura 10. FMT – filme de massa com adição de tween (a) e FMAM – filme de massa com adição de amido (b).

Apesar do FFCM e FFSM terem exibido aspectos subjetivos inferiores aos FMCM e FMSM, a utilização da casca de banana seca para o desenvolvimento de filme polimérico apresenta inúmeras vantagens e, por isso, deve ser melhorado.

Os valores atribuídos a cada uma das propriedades analisadas permitiram a comparação dos filmes elaborados com os diferentes tipos de matéria-prima da casca e a obtenção de formulação final para sequenciar os estudos científicos sobre os mesmos. Assim, ao final foi possível a obtenção de 4 tipos de filmes, com características distintas: filmes de massa úmida com e sem o tratamento com o metabissulfito de sódio e filmes de farinha com e sem metabissulfito de sódio.

4 CONCLUSÃO

A casca de banana foi um coproduto promissor para o desenvolvimento de matérias-primas de diferentes características físicas para a elaboração de filmes biopoliméricos para aplicação de embalagens.

A utilização de metabissulfito de sódio foi eficaz para no controle do escurecimento enzimático da casca, atribuindo melhores características de aparência à matéria-prima úmida de casca de banana ao filme correspondente. A fragmentação e hidratação das matérias-primas impactou diretamente na formação e homogeneidade dos filmes.

O desenvolvimento das metodologias possibilitou um modelo sustentável de obtenção de matérias-primas e de materiais biopoliméricos, propondo a redução de custos com matérias-primas e redução do impacto ambiental gerado pelos plásticos de base petroquímica e pelos resíduos agroindustriais.

Os filmes elaborados apresentaram homogeneidade quanto as características gerais de cor, textura e distribuição de partículas e mostraram-se promissores para a utilização em embalagens de alimentos. A continuação dos estudos deve ser ressaltada no intuito de aprimorar as características dos filmes e sua aplicabilidade.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMADZADEH, S., & KHANEGHAH, A. M. Role of Green Polymers in Food Packaging. Reference Module in Materials. **Science and Materials Engineering**. V. 2, Pages 305-319, 2020.
- ALBACH, D. M.; RAZERA, D. L.; ALVES, J. L. Design para a sustentabilidade e a relação histórica das embalagens com questões ambientais. Edição 03- 2016.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**, Editora UFV, Viçosa, MG, 2019, 666 p.
- BARNETT, I. The Global Outlook for Biodegradable Packaging. **Business Insights Ltd**, 2011.
- BATISTA, J.A.; TANADA-PALMU, P.S.; GROSSO, C.R.F. Efeito da adição de ácidos graxos em filmes a base de pectina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.4, p.781-788, 2005.
- COSTA, E. K. C.; CONCEIÇÃO, I. S. R.; SILVA, R. J.; DRUZIAN, J. I. Estudo prospectivo relativo a depósitos de patentes relacionadas à produção de filmes elaborados pela técnica de casting. **Cad. Prospec.**, Salvador, v.9, n. 3, p. 280-286, jul./set. 2016.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.
- EUROPEAN BIOPLASTICS. **Frequently asked questions on bioplastics**. FAQ, jan. 2015. Disponível em: http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2014/01/EuBP_FAQ_bioplastics_2014.pdf. Acesso em: 21/06/2015.
- GAONKAR, M. R.; PALASKAR, P.; NAVANDAR, R. Production of bioplastic from banana peels. **Proceedings of 146th The IER International Conference**, Hong Kong, 27th-28th December 2017.
- GONDIM, J. A. M.; MOURA, M. F. V.; DANTAS, A. S.; MEDEIROS, R. L. S.; SANTOS, K. M. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 25(4): 825-827, out.-dez. 2005.
- JIANG, Y.; DUAN, X.; QU, H.; ZHENG, S. Browning: Enzymatic Browning. **Encyclopedia of Food and Health**, 508–514, 2016.
- KOBLITZ, M. G. B. **Bioquímica de alimentos: teoria e aplicações práticas**. Editora Guanabara Koogan, 2019. 312 p.
- KOHMANN, L.M.; MEDEIROS, J.F.; VIDOR, G.; RIBEIRO, J.L.D. Percepção e elasticidade de preço para embalagens sustentáveis de alimentos. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, v.9, n.4, p.875-888, out./dez.2016.
- MAJHI, S.; TYAGI, A.; MISHRA, A. Bio-Polymeric Packaging Material for Packaging of Raw Food. **Reference Module in Materials Science and Materials**. 2019.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-156, jan./mar. 2010.

NADAFZADEH, M.; MEHDIZADEH, A. S.; SOLTANIKAZEMI, M. Development of computer vision system to predict peroxidase and polyphenol oxidase enzymes to evaluate the process of banana peel browning using genetic programming modeling. **Scientia Horticulturae**, 231, 201–209, 2018.

OLIVEIRA, A. S. B.; MELO, N. R. Market and sustainability of food packaging: a review. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 36, n. 1, jan./jun. 2019.

PASCALL, M.A.; LIN, S.J. The Application of Edible Polymeric Films and Coatings in the Food Industry. **Journal Food Processing & Technology**. v.4, n.2, 2013.

PBMH e PIF - Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura & Produção Integrada de Frutas. **Normas de Classificação de Banana**. São Paulo: CEAGESP, 2006. (Documentos, 29).

PEDROSA, T.D; FARIAS, C.A.S.; PEREIRA, FARIAS, E.T.R. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Revista Nativa**. Sinop, v. 01, n. 01, p. 44-48, out./dez. 2013.

RAMESHKUMAR, S.; SHAIJU, P.; O'CONNOR, K. E.; BABU P, R. Bio-based and biodegradable polymers - State-of-the-art, Challenges and Emerging Trends. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**. Volume 21, February 2020, Pages 75-81.

SANTOS, I. R. C. **Escurecimento enzimático em frutos: polifenoloxidase de atemóia (*Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L.)**. Dissertação (pós-graduação em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara – FCFAR/UNESP. Araraquara – SP. 2009.

THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in Food Science & Technology** 14 (2003) 71–78.

VALENTE, J. M. L. D. **Subprodutos Alimentares: Novas Alternativas e Possíveis Aplicações Farmacêuticas**. Projeto de pós-graduação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Faculdade de Ciências da Saúde - Universidade Fernando Pessoa. Porto, 2015.

CAPÍTULO V

ESTUDO DO POTENCIAL ANTIMICROBIANO DE MATÉRIAS-PRIMAS E FILMES BIOPOLIMÉRICOS À BASE DE CASCA DE BANANA (*Musa sp.*) PARA APLICAÇÃO COMO EMBALAGENS DE ALIMENTOS

RESUMO

Diante da necessidade da manutenção da qualidade e segurança dos alimentos, bem como a importância em atender o interesse social em evitar o desperdício de alimentos, reduzir o uso de plásticos derivados de fontes não renováveis e, ao mesmo tempo, promover a reutilização de resíduos originados durante a produção de alimentos, esforços científicos têm sido realizados com um âmbito abrangente, que engloba a aplicação, toxicidade e desenvolvimento de materiais de embalagens para alimento. Neste contexto, objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar o potencial antimicrobiano de matérias-primas à base de casca de banana (*Musa sp.*), obtidas por meio de diferentes condições de processo, bem como dos diversos filmes biopoliméricos derivados dessas respectivas matérias-primas para aplicação como material de embalagens ativas para alimentos. Para tanto, matérias-primas denominadas massas e farinhas de cascas de banana prata, obtidas de cascas de *Musa sp.* por diferentes processos, bem como materiais de embalagens denominadas de filmes, derivados das respectivas matérias primas, totalizando 18 amostras, foram avaliados por meio do método de disco-difusão em ágar Müller hinton, frente aos microrganismos *Escherichia coli* ATCC1129, gram-positivas *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 e *Listeria monocytogenes*, além do fungo *Penicillium sp.*, em concentração de 10^8 UFC/mL. As placas intencionalmente inoculadas com os microrganismos e sobrepostas com as amostras em formato circular de 10mm, montadas como experimentos, foram incubadas em condições ambientais ideais para o crescimento microbiano, de acordo com cada cepa. Após 20 horas a leitura dos resultados por meio de observação da formação de halo ao redor no material foram realizados, utilizando-se de paquímetro digital. Os resultados foram avaliados estatisticamente por meio da análise descritiva de variância (ANOVA) e pela estatística inferencial, utilizando do teste de hipóteses (testes de Shapiro-Wilk e de normalidade) e o teste de médias de Tukey a 5 % de significância. Os resultados revelaram as matérias-primas (massas e farinhas) e seus respectivos filmes possuem o potencial promissor como materiais de embalagens ativas e sustentáveis, com características importantes que podem auxiliar na conservação de alimentos. Apesar de nem todos os materiais e/ou filmes terem eficácia visualizada por meio de halo de inibição ao seu redor, comprovou-se que as matérias-primas à base de casca de banana (*Musa sp.*), bem como dos diversos filmes biopoliméricos derivados das mesmas, possuíram atividade antimicrobiana frente a todos os microrganismos estudados. Com isso os

materiais poderiam ser utilizados para diversas aplicações, dentre elas, como material de embalagens ativas para alimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Atividade antimicrobiana; Filmes antimicrobianos; Filmes de banana; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Given the need to maintain food quality and safety, as well as the importance of meeting the social interest in avoiding food waste, reducing the use of plastics derived from non-renewable sources and, at the same time, promoting the reuse of waste generated During food production, scientific efforts have been carried out with a comprehensive scope, which encompasses the application, toxicity and development of food packaging materials. In this context, the objective of this work was to evaluate and compare the antimicrobial potential of raw materials based on banana peel (*Musa* sp.), obtained through different process conditions, as well as the various biopolymeric films derived from these respective raw materials. for application as an active packaging material for food. For this purpose, raw materials called pasta and banana peel flour, obtained from *Musa* sp. by different processes, as well as packaging materials called films, derived from the respective raw materials, totaling 18 samples, were evaluated using the disk-diffusion method in Müller hinton agar, against the microorganisms *Escherichia coli* ATCC1129, gram-positive *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 and *Listeria monocytogenes*, in addition to the fungus *Penicillium* sp., in a concentration of 10^8 UFC/mL. Plates intentionally inoculated with microorganisms and overlapped with samples in a 10 mm circular format, set up as experiments, were incubated under ideal environmental conditions for microbial growth, according to each strain. After 20 hours, the results were read through observation of the formation of a halo around the material, using a digital caliper. The results were statistically evaluated using descriptive analysis of variance (ANOVA) and inferential statistics, using hypothesis testing (Shapiro-Wilk and normality tests) and Tukey's mean test at 5% significance level. The results revealed that raw materials (pasta and flour) and their respective films have promising potential as active and sustainable packaging materials, with important characteristics that can help preserve food. Although not all materials and/or films have their effectiveness visualized by means of an inhibition halo around them, it was proven that raw materials based on banana peel (*Musa* sp.), as well as the various biopolymeric films derived from of the same, had antimicrobial activity against all microorganisms studied. With this, the materials could be used for several applications, among them, as active packaging material for food.

KEYWORDS: Antimicrobial activity; Antimicrobial films; Banana films; Sustainability

1 INTRODUÇÃO

A crescente população mundial, juntamente com a mudança de hábitos dos consumidores, que tende consumir cada vez mais porções individuais, acarreta diretamente na ampliação da demanda de alimentos e levam a uma vasta necessidade de materiais de embalagens para o seguimento (VILELA et al., 2018). Como resposta às constantes mudanças

nas tendências do mercado e nas preferências dos consumidores, os sistemas de embalagens têm evoluído com diversas inovações (AHMED et al., 2017).

As embalagens de alimento, no entanto, têm sido amplamente consideradas problemáticas pelos consumidores tanto ambientalmente quanto em termos de sua funcionalidade (LIMBO e KHANEGHAH, 2015). Assim, filmes e revestimentos produzidos com materiais biodegradáveis e/ou comestíveis tem sido considerados sistemas promissores de embalagens para alimentos, que podem protegê-los e servir como transportadores de substâncias ativas (RAYBAUDI-MASSILIA et al., 2016).

Contudo, grandes esforços científicos e industriais para desenvolver novas estratégias de processamento, manuseio e embalagem de alimentos, têm sido impulsionados pela demanda dos consumidores por alimentos saudáveis, convenientes, seguros e maior tempo de conservação e embalados em materiais sustentáveis (RAYBAUDI-MASSILIA et al., 2016).

Um dos maiores problemas de deterioração e crescimentos de patógenos em alimentos é advindo da contaminação que pode ocorrer durante o processo de sua obtenção, processamento, embalagem e expedição (SURWADE e CHAND, 2017). Dentre os microrganismos patógenos alimentares, destacam-se os fungos e as bactérias, que se subdividem em dois grandes grupos denominados Gram-positivas e Gram-negativas, diferenciados especialmente pela espessura da camada de peptídeoglicano e a presença ou ausência de uma membrana celular externa (TORTORA et al., 2017). E, embora alguns métodos tradicionais de preservação sejam utilizados para prolongar sua conservação, como secagem, congelamento, fermentação e salga, estes não são consumados especialmente para inibir o crescimento de microbiano desses patógenos (SURWADE e CHAND, 2017).

Neste sentido, a tecnologia de embalagens é uma área de pesquisa de importância para promover em primazia a segurança e qualidade de alimentos. Estudos envolvendo a liberação de ativos antioxidantes e antimicrobianos dos materiais de embalagens para o alimento têm conquistado destaque em pesquisas e no mercado, visto que a difusão dos seus benefícios também explora âmbitos nutricionais, com a redução da utilização de conservantes diretamente no produto.

Diversos estudos científicos sobre fenômeno da migração de compostos ativos da embalagem para o alimento resultaram no desenvolvimento de embalagens convenientes e de baixo custo, juntamente com o aumento da demanda dos consumidores por produtos mais seguros (ARVANITOYANNIS e KOTSANOPOULOS, 2013).

Portanto, o conceito de embalagem ativa se materializa como uma tecnologia para melhorar a segurança, a qualidade e o prazo de validade dos alimentos embalados. Os sistemas de embalagem ativos podem contribuir para a redução do desperdício de alimentos, fornecendo, além de uma barreira inerte às condições externas, várias funções associadas à preservação de alimentos, como absorção/eliminação, liberação/emissão e remoção de propriedades, temperatura, controle microbiano e de qualidade (VILELA et al., 2018).

As embalagens ativas já são tendências no setor alimentício em diversos países como EUA, Japão e Austrália. No Brasil essas inovações têm despertado interesse de vários grupos de pesquisa, entretanto a sua fabricação ainda é limitada (BRAGA e SILVA, 2018).

O sistema de embalagem ativa fornece funcionalidades para facilitar demandas e oferece um papel além da proteção tradicional. Para melhorar o desempenho da embalagem, variados componentes ativos podem ser incluídos no sistema, como antimicrobianos,

antioxidantes, sequestradores de O₂, emissores/absorvedores de CO₂, reguladores de umidade, liberadores de sabor e absorventes (AHMED et al., 2017).

Sendo assim, o desenvolvimento e aplicação de materiais de embalagens ativas é um grande desafio cujo objetivo é reduzir perda e desperdício de alimentos, a extensão da vida útil do produto e redução do desperdício (LIMBO e KHANEGHAH, 2015).

De acordo com Limbo e Khaneghah (2015), algumas pesquisas indicam que a liberação de sabor, aroma e antimicrobianos naturais, bem como as tecnologias de auto aquecimento e refrigeração foram identificadas como as inovações mais importantes para os consumidores.

No entanto, a qualidade e a segurança dos alimentos são de fato a principal preocupação da indústria de alimentos. Com isso, para prolongar a vida útil e aumentar a segurança dos alimentos, a embalagem antimicrobiana é considerada uma tecnologia emergente (SETHI e GUPTA, 2016). Assim, a embalagem antimicrobiana é uma tecnologia emergente que tem um impacto significativo na extensão da vida útil e segurança alimentar. Isso porque o uso de agentes antimicrobianos em embalagens de alimentos embalagem pode controlar a população microbiana proporcionando maior segurança e qualidade produtos (SURWADE e CHAND, 2017).

A embalagem antimicrobiana é, portanto, uma versão promissora da embalagem ativa que interage com os alimentos embalados e o espaço nela existente, sendo capaz de retardar, matar ou inibir o crescimento de deteriorantes e patógenos contaminantes presentes nos alimentos embalados ou no próprio material de embalagem. A eficiência antimicrobiana pode ser alcançada pela incorporação de agentes antimicrobianos no sistema de embalagem e/ou usando polímeros que são inerentemente antimicrobianos (OTONI et al., 2016; REMIA et al., 2017)

Para tanto, normalmente utiliza-se de material ou filme polimérico incorporado de agente antimicrobiano para suprimir as atividades de microrganismos específicos. Sua eficiência decorre do mecanismo de migração lenta e sustentada da substância ativa do material de embalagem para a superfície dos alimentos ou espaço superior da embalagem durante o armazenamento dos produtos, seguindo o mecanismo de transferência de massa por difusão devido à sua concentração gradiente do agente antimicrobiano (SURWADE e CHAND, 2017).

De acordo com Lucera, Conte e Nobile (2016), os agentes antimicrobianos utilizados normalmente têm ação específica, já que é sabido que alguns deles inibem as vias metabólicas essenciais de microrganismos, enquanto outros alteram a estrutura celular da membrana/parede.

A composição e aplicação de agentes antibacterianos naturais e sintéticos são discutidos. Comparados aos agentes antibacterianos naturais, os agentes sintéticos têm vantagens do baixo custo e alta atividade, mas sua toxicidade é geralmente mais alta do que a dos agentes antibacterianos. Assim, um dos desafios para os pesquisadores é o alcance de agentes antibacterianos com alta eficiência e baixa toxicidade (HUANG et al., 2019). Neste sentido, o uso de materiais comestíveis ou biodegradáveis, extratos vegetais e nanomateriais podem substituir aditivos sintéticos e sustentar gestão de resíduos (AHMED et al., 2017).

Tradicionalmente, polímeros sintéticos não biodegradáveis têm sido empregados para embalagens ativas antimicrobianas de alimentos. No entanto, devido aos problemas

ambientais relacionados à não biodegradabilidade de plásticos à base de petroquímicos, os biopolímeros estão sendo considerados uma alternativa aos polímeros sintéticos para aplicações em embalagens antimicrobianas para alimentos (GARCIA IBARRA, SÉDON, QUIRÓS, 2016).

Nesta conjectura, há um grande interesse na atualidade em evitar o desperdício de alimentos reduzir o uso de plásticos e, ao mesmo tempo, promover a reutilização de resíduos originados durante a produção de alimentos. Conseqüentemente, espera-se que as aplicações comerciais de embalagens antimicrobianas que empregam compostos ativos derivados de recursos naturais e materiais de embalagem biodegradáveis como polímeros transportadores cresçam nos próximos anos (MIRANDA et al., 2016).

Os filmes antimicrobianos biodegradáveis são promissores para embalagens de alimentos devido à sua biodegradabilidade, no entanto, são necessárias mais pesquisas para desenvolver sistemas de embalagem antimicrobiana para uma inibição bacteriana mais eficaz. (GARCIA IBARRA, SÉDON, QUIRÓS, 2016).

Assim, a conversão de recursos orgânicos rejeitados pela indústria de alimentos, em uma fonte de matéria prima para elaboração de materiais biopoliméricos, pode oferecer uma rota potencial para a produção de embalagens sustentáveis. O êxito desta utilização extrapola de várias formas os âmbitos de sustentabilidade por aproveitar dos recursos naturais, evitar o descarte de materiais orgânicos como resíduo no ambiente, contribuir para a expansão dos recursos para produção de polímeros de base biológica, além de não utilizar recursos alimentares, evitando uma maior demanda de produção agrícola para manter seu abastecimento e a competição com tal produção de base alimentar.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar o potencial antimicrobiano de matérias-primas à base de casca de banana (*Musa* sp.), obtidas por meio de diferentes condições de processo, bem como dos diversos filmes biopoliméricos derivados dessas respectivas matérias-primas para aplicação como material de embalagens ativas para alimentos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção das Matérias-primas e Elaboração dos Filmes à Base de Casca de Banana

Bananas em dois estádios de maturação foram utilizadas para a obtenção das cascas como coprodutos que foram processados e se transformaram em de matérias-primas úmida e seca, denominadas massas e farinhas de cascas de banana, respectivamente. Os processos de obtenção dessas matérias-primas estão descritos nos capítulos III e IV.

O desenvolvimento e elaboração dos filmes à base de matérias-primas de casca de banana foram realizados utilizando-se quantidades em massa padronizadas de matéria-prima, massa ou farinha reidratada, água, soluções de ácido sulfúrico e de hidróxido de sódio e o glicerol, como plastificante. As soluções filmogênicas foram preparadas em banho maria à 90°C, distribuídas em placas de vidro e secas em estufa com circulação de ar sob temperatura de 75 °C por 11 horas. Tais processos seguem descritos detalhadamente no capítulo IV. Os filmes foram resfriados sob a bancada em temperatura ambiente, destacados das placas e separados para as análises microbiológicas ou embalados individualmente em embalagem de

polietileno com fechamento ziplock, devidamente identificados e armazenados em dessecador para as demais análises ao longo do tempo.

2.2. Análise da Atividade Antimicrobiana dos Materiais e Filmes Obtidos

Testes preliminares foram realizados para verificação da viabilidade dos microrganismos a serem utilizados, para a determinação da concentração de inóculo a ser utilizado por placa e definição do meio de cultura ideal em termos comparativos dos diferentes microrganismos. Também foram utilizados testes para verificação dos ajustes a serem realizados, como a determinação do tamanho ou volume dos fragmentos, a melhor forma de moldá-los, quantos e quais fragmentos poderiam ser fixados em uma mesma placa, de modo a não prejudicar ou influenciar nos resultados e sua leitura, além da forma para mantê-los fixos ao meio de cultura previamente inoculados, uma vez que as placas precisavam ser incubadas de forma invertida, para não haver condensação de água na tampa da placa com conseqüente deposição sobre o experimento e prejudicar o crescimento das bactérias.

As análises de verificação do potencial antimicrobiano foram realizadas pelo método de difusão em ágar, descrito por CLSI/NCCLS (2005). Este método consiste na disposição de um fragmento circular sobre placa de Petri contendo meio de cultura sólido previamente inoculado com o microrganismo alvo. A eficiência antimicrobiana foi observada pela formação de halo e/ou redução da densidade de crescimento do microrganismo em questão.

Tais análises foram realizadas em todas as matérias-primas (massas e farinhas reidratadas) e em todos os filmes obtidos nas diferentes condições abordadas. Dessa forma, foram avaliados um total de dezoito diferentes tipos de amostras, descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das amostras analisadas quanto ao seu potencial de atividade antimicrobiana, com suas respectivas siglas para facilitar a discussão

Nº am.	Material da casca	Temp. processam.	Estádio fisiológico	Tratam. em solução	Sigla Trat.
1	Massa	90°C	Verde	Sem MB	MBVS
2	Massa	90°C	Madura	Sem MB	MBMS
3	Massa	90°C	Madura	Com MB	MBMC
4	Farinha	50°C	Madura	Sem MB	FHMS
5	Farinha	50°C	Madura	Com MB	FHMC50
6	Farinha	55°C	Madura	Sem MB	FHMS55
7	Farinha	55°C	Madura	Com MB	FHMC55
8	Farinha	60°C	Madura	Sem MB	FHMS60
9	Farinha	60°C	Madura	Com MB	FHMC60
10	Filme de massa	-	Verde	Sem MB	FMBVS
11	Filme de massa	-	Madura	Sem MB	FMBMS
12	Filme de massa	-	Madura	Com MB	FMBMC
13	Filme de farinha 50°C	-	Madura	Sem MB	FFBS50
14	Filme de farinha 50°C	-	Madura	Com MB	FFBC50
15	Filme de farinha 55°C	-	Madura	Sem MB	FFBS55
16	Filme de farinha 55°C	-	Madura	Com MB	FFBC55
17	Filme de farinha 60°C	-	Madura	Sem MB	FFBS60
18	Filme de farinha 60°C	-	Madura	Com MB	FFBC60

MB: Metabissulfito de sódio

Os fragmentos de massa da casca e/ou de farinha hidratada utilizado foram modulados em formato circular com diâmetro pré-estabelecido em 1 cm e uma quantidade de 1g de material, aproximadamente. Os fragmentos dos filmes de casca de banana foram cortados com molde também circular de 1cm de diâmetro. Assim como todos os instrumentos utilizados, todos os fragmentos foram previamente preparados, organizados em placas de Petri e esterilizados em luz ultravioleta (UV) por 20 minutos em capela de fluxo antes de serem utilizados nas análises. Devido à esterilização da luz UV ser superficial, a parte colocada em contato com o meio previamente inoculado foi a voltada para cima.

A eficiência antimicrobiana foi testada sob o meio de cultura Mueller Hinton, frente as bactérias gram-negativa *Escherichia coli* ATCC1129 (EC), gram-positivas *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 (SA) e *Listeria monocytogenes* (L), além do fungo *Penicillium* sp. (P), todos a uma concentração de 10^8 UFC/mL.

Para tanto, culturas bacterianas previamente isoladas em placas de petri contendo o mesmo meio de cultura foram utilizadas para a retirada de inóculo e diluídas em solução de água peptonada (0,1%) até obter uma turvação correspondente a 0,5 da escala de McFarland. O preparo de suspensão de esporos do fungo aconteceu com o auxílio de microscópio eletrônico, o qual foi coletado de cultura previamente preparada em meio sólido (BDA), transferido com alça de platina para 10 mL de uma solução de água peptonada 0,1% até o alcance da concentração desejada, que foi atestada por contagem direta com o auxílio de microscópio.

É importante ressaltar que as análises foram realizadas em capela de fluxo laminar com chama em bico de Bunsen e que todo o material utilizado, mesmo os que foram previamente esterilizados em estufa ou autoclave e com exceção dos microrganismos utilizados, permaneceram sob luz UV por 15 a 20 minutos antes de serem manipulados (Figura 1).

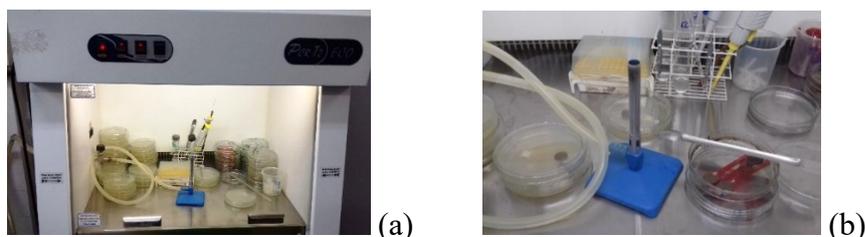


Figura 1. Capela de fluxo laminar com materiais e meios de cultura estéreis para as análises (a). Materiais utilizados e massa de farinha reconstituída em moldes de colheres plásticas e sobreposta sobre a placa já inoculada (b).

Após todas as placas preparadas conforme a metodologia descrita, as mesmas foram vedadas com filme Poli (cloreto de Vinila) (PVC) e devidamente identificadas de acordo com cada experimento montado. Aquelas inoculadas com bactérias foram incubadas sob a temperatura de 36 ± 1 °C/ 24 horas em posição invertida de forma que o ágar ficasse para cima, evitando que a condensação não caísse sobre a amostra interrompendo a superfície de crescimento. Já as placas inoculadas com o fungo foram incubadas à 25 ± 2 °C/ 48 horas em posição normal. Após este período houve a observação do conteúdo das placas, de forma geral, e da formação de halos. Com isso, foram realizadas anotações sobre as características

observadas em cada placa e leitura dos resultados quanto ao tamanho do halo foi mensurada com o auxílio de um paquímetro digital (Figura 2).

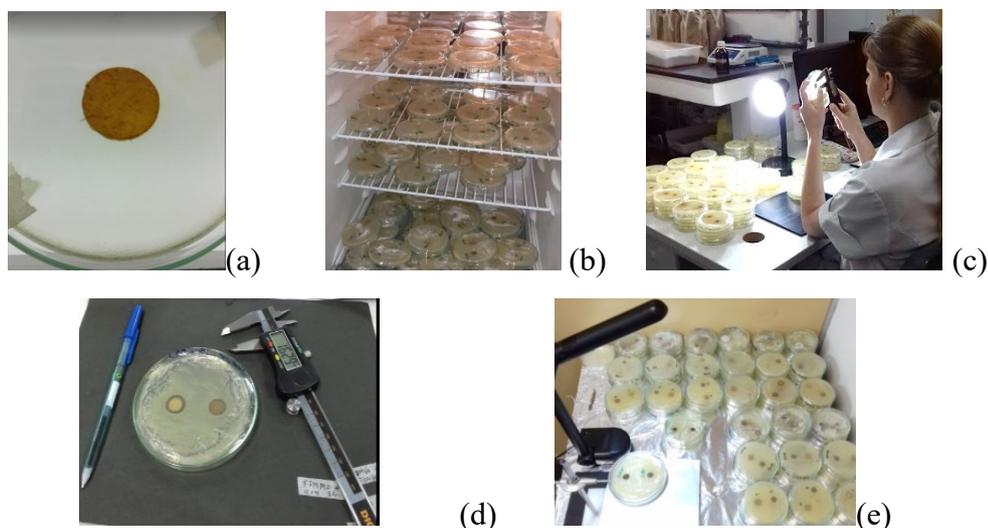


Figura 2. Representação das etapas da avaliação da atividade antimicrobiana com a sobreposição filme em placa inoculada (a), incubação em B.O.D. (b), leitura e registro dos resultados numérico e descritivo (c e d) e registro fotográfico das placas com o resultado.

Seguidamente a finalização desse experimento e leitura dos resultados, o mesmo experimento montado foi utilizado para a realização de um ensaio para verificação e comprovação do poder de letalidade e/ou inibição temporária provocado pelos filmes. Para tanto, os filmes sobrepostos ao meio de cultura inoculado, tanto das placas com formação de halo de inibição, quanto daquelas sem formação de halo aparente, foram cuidadosamente retirados com o auxílio de uma pinça estéril e as placas foram novamente incubadas sobre as condições ótimas de crescimento para cada tipo de microrganismo (Figura 3).

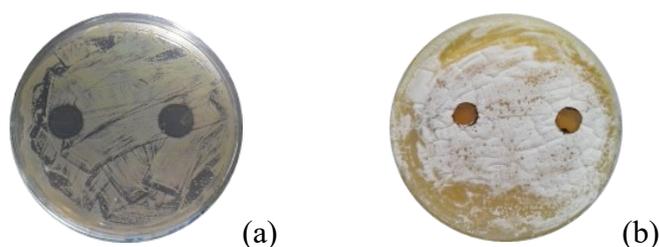


Figura 3. Demonstração do seguimento do experimento após retirada da amostra circular das placas inoculadas com bactérias (a) e com fungo (b), após crescimento dos microrganismos inoculados e leitura dos resultados.

2.3. Análise Estatística dos Resultados

Utilizou-se a análise descritiva e Estatística Inferencial usando Teste de hipóteses dos dados referente às análises microbiológicas das amostras de massa, farinha hidratada ou filmes de casca de banana correspondentes à 18 tratamentos. O banco de dados é constituído por variáveis quantitativas dependentes quanto ao tamanho dos halos de inibição microbiana

frente às bactérias *S. aureus* (S.A), *E. coli* (E.C), *L. monocytogenes* (L) e ao fungo *Penicillium* spp.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que os microrganismos utilizados nas análises ao longo do estudo tiveram seu crescimento vigoroso ao serem inoculados em meio ágar Muller Hinton e acondicionados em condições ambientais apropriadas (Figura 4 a e b). Esta figura representa os brancos das análises com a inoculação das bactérias *S. aureus* (a) e *E. coli* (b) em placas de Petri contendo o meio de cultura estéril, as quais foram sobrepostas com papel filtro (Unifil®) também estéril, cortados em formato circular de 10mm, simulando as amostras.

Pôde-se observar que o crescimento das bactérias tomou todo o meio de cultura disposto nas placas, incluindo o espaço superior e inferior ao ocupado pelos círculos de papel filtro. É importante ressaltar que os brancos para análises com *L. monocytogenes* e *Penicillium* também foram realizados, apresentando resultados análogos aos da Figura 4, entretanto as imagens foram corrompidas por problemas tecnológicos. Com isso, a mesma pode ser considerada representativa para todos os microrganismos utilizados nas análises.

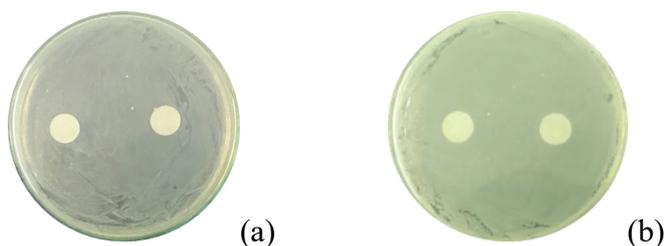


Figura 4. Placas inoculadas com *Staphylococcus aureus* (a) e *Escherichia coli* (b), sobrepostas com filtro de papel sem adição de nenhuma substância para representar o branco das análises.

A média dos dados experimentais da avaliação do potencial antimicrobiano das dezoito amostras entre matérias-primas obtidas da casca de banana Prata, ditas como Massas e Farinhas, e os respectivos materiais de embalagem formados por cada uma delas, denominados filmes, seguem apresentados na

Tabela 2.

A avaliação de todas as amostras no tempo zero de obtenção foi importante para diminuir erros experimentais garantir a confiabilidade e reprodutibilidade do estudo, já que a composição química das matérias-primas e dos filmes são passíveis de reações e trocas químicas ao longo do armazenamento, o que poderia induzir a erros experimentais.

Complementarmente aos dados numéricos demonstrados na Tabela 2, as Figuras 5, 6, 7 e 8 ilustram os resultados obtidos por meio de imagens das placas inoculadas com cada

microrganismo específico e seu comportamento ou reação de crescimento frente aos materiais depositados, especialmente a de formação ou não de halo de inibição do mesmo.

Tabela 2. Resultados do potencial antimicrobiano das Matérias primas derivadas da casca de banana (massas e farinhas) e seus respectivos Filmes

N° amostra	Amostra	Tamanho do Halo (mm)			
		<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Listéria</i>	<i>Penicillium</i>
1	MBVS	3,26	0,74	0,61	0,00
2	MBMS	2,39	1,33	0,73	0,00
3	MBMC	3,48	1,36	2,28	0,00
4	FHBS50	0,61	0,10	0,10	0,00
5	FHBC50	0,85	0,53	0,20	0,00
6	FHBS55	0,58	0,40	0,10	0,00
7	FHBC55	0,73	0,46	0,20	0,00
8	FHBS60	0,88	0,00	0,08	0,00
9	FHBC60	0,73	0,76	0,20	0,00
10	FMBVS	2,51	0,98	0,77	0,00
11	FMBMS	2,79	1,61	1,42	0,00
12	FMBMC	4,78	2,90	2,83	0,00
13	FFBS50	2,77	0,36	1,46	0,00
14	FFBC50	3,97	0,47	1,52	0,00
15	FFBS55	1,55	0,18	0,79	0,00
16	FFBC55	1,75	0,42	0,36	0,00
17	FFBS60	3,36	0,00	0,10	0,00
18	FFBC60	3,71	1,24	1,33	0,00

Todas as imagens foram coletadas com as placas sobrepostas a um fundo branco e/ou preto, possibilitando a utilização daquelas que apresentaram melhores contrastes para uma melhor visualização e efeitos mais reais possíveis das placas com suas características de resultados.

As imagens dos resultados ilustradas nas Figuras 5 a 8, foram em sua maioria obtidas da parte superior à placa, sem a tampa de vidro, já que distorções da imagem real foram maiores naquelas coletadas do fundo da placa, como comumente são obtidas em outros trabalhos. A variação percebida das imagens de um mesmo tipo de análise pode estar atrelada à cor do fundo utilizado, à luminosidade e ângulo da foto, como também à algumas variações referentes ao tipo de amostra, do microrganismo, ou até mesmo de interferências no crescimento biológico.

Por serem materiais de muito baixa umidade e atividade de água, pôde-se observar que todos os filmes analisados, após permanecerem alocados sobrepostos ao meio de cultura pelo período de incubação, fizeram trocas com o meio e sofreram certa absorção de umidade, o que os deixaram levemente intumescido e com pequena variação na coloração, que também variou conforme com o microrganismo presente no meio.

De forma geral, as amostras foram capazes de provocar a inibição da maior parte dos microrganismos, ao ponto de formar uma zona de inibição maior que sua circunferência ($\approx 0,10$ mm), denominada como halo de inibição do crescimento microbiano. Quando presentes, tais halos demonstraram aparência plenamente nítida, íntegra, uniforme e sem nenhum ponto

de contaminação no âmbito de sua circunferência, variando em tamanho, conforme os microrganismos e/ ou a amostra sobreposta (Figuras 5, 6, 7 e 8).

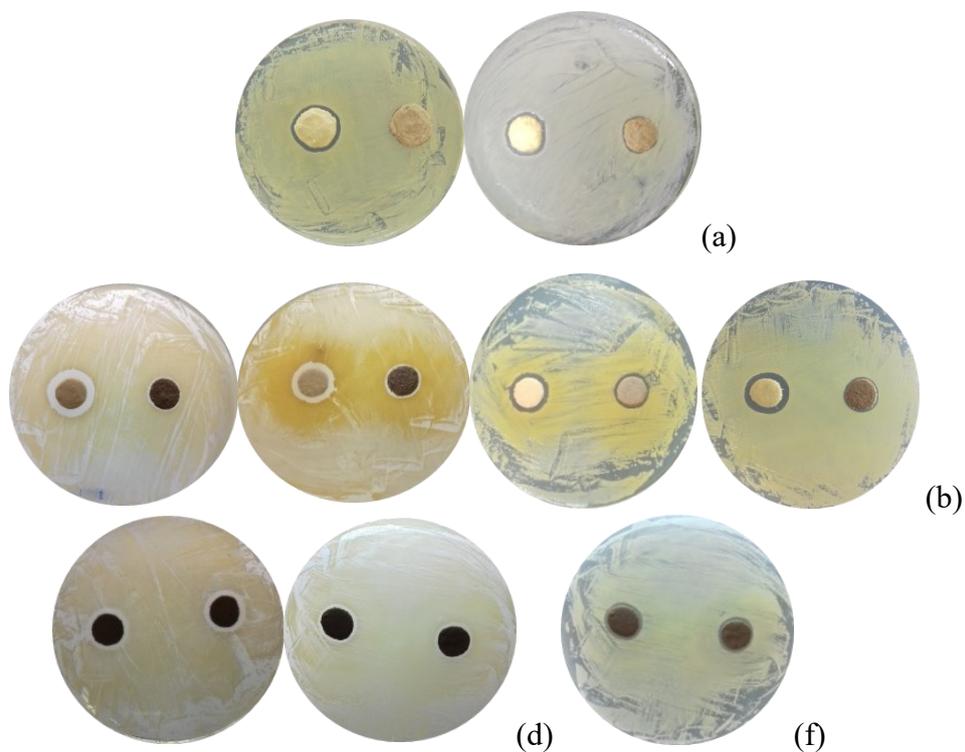


Figura 5. Registro fotográfico das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana das matérias-primas - massas úmidas (a) e farinhas hidratadas (c) – e seus respectivos materiais de embalagem (b e c), frente à bactéria *S. aureus*. Sendo que as amostras à esquerda da placa com tratamento em solução de metabissulfito e às da direita, sem.

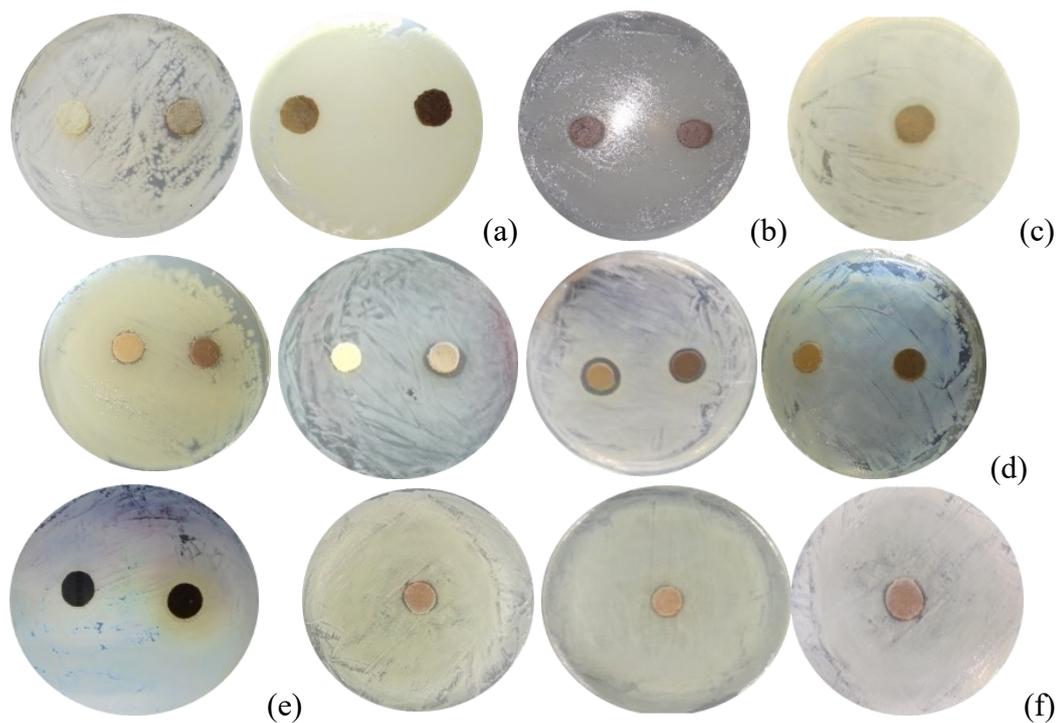


Figura 6. Imagens das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana das matérias-primas - massas úmidas (a) e farinhas hidratadas (b) maduras, e massa úmida verde (c) – e seus respectivos materiais de embalagem (d, e, f), frente à bactéria *E. coli*. Sendo que as amostras à esquerda da placa com tratamento em solução de metabissulfito e às da direita, sem.

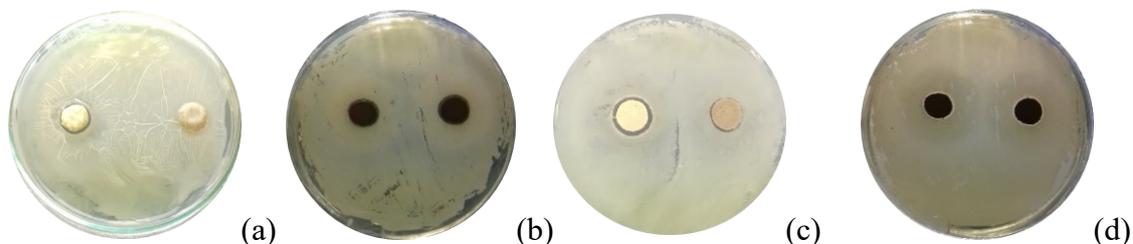


Figura 7. Imagens das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana das matérias-primas - massas úmidas (a) e farinhas reidratadas (b) maduras e seus respectivos materiais de embalagem (c, d), frente à bactéria *L. monocytogenes*. Sendo que as amostras à esquerda da placa com tratamento em solução de MB e às da direita, sem.

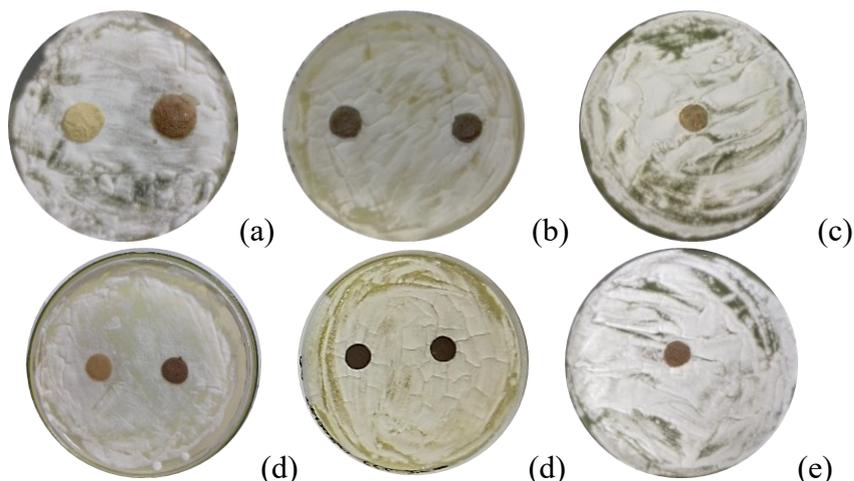


Figura 8. Imagens das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana das matérias-primas - massas úmidas (a) e farinhas hidratadas (b) maduras, e massa úmida verde (c) – e seus respectivos materiais de embalagem (d, e, f), frente ao fungo *Penicillium sp.* Sendo que as amostras à esquerda da placa com tratamento em solução de MB e às da direita, sem.

Ao avaliar visualmente as placas, pode-se perceber o desenvolvimento das características específicas de cada microrganismo no meio de cultura. As bactérias, por serem unicelulares, formaram colônias de aspecto úmido, variando entre si em coloração e textura, já o *Penicillium* apresentou aspecto branco aveludado seco, como já esperado e descritas por Tortora et al. (2017).

As placas contendo a *S. aureus* apresentaram colônias de coloração amareladas, especialmente forte ao redor das amostras, formando uma espécie de halo de coloração mais forte logo após ao halo de inibição (Figura 5). De acordo com Tortora et al. (2017), a pigmentação amarelada de suas colônias é responsável por sua nomenclatura (aureus = cor de

ouro), sendo esta a mais importante das espécies de *Staphylococcus*, devido à sua patogenicidade. Conforme o autor, é provável que a pigmentação amarela confira proteção para efeitos antimicrobianos, o que pode explicar a tonalidade mais forte observado próximo às amostras, como uma tentativa de reação de proteção à provável ação antimicrobiana das amostras.

Em exceção aos demais microrganismos estudados, os resultados demonstraram que o *Penicillium* não teve o seu crescimento suprimido no entorno de nenhuma das amostras de materiais estudados, sejam eles as matérias-primas derivadas da casca de banana ou seus respectivos filmes (Tabela 2 e Figura 8). Portanto nenhuma das placas apresentou halo de inibição ou redução do crescimento do fungo, não havendo variação significativa entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) quanto à sensibilidade às diversas amostras (Tabela 3 e Figura 9).

Os fungos são indesejáveis nos alimentos por serem capazes de produzir uma variedade de enzimas deteriorantes de alimentos e, especialmente, por alguns, como determinados gêneros de *Penicillium* serem produtores de micotoxinas, capazes de provocar toxicidade aguda e potencial carcinogenicidade (FORSYTHE, 2013).

Devido à grande variedade das características das amostras estudadas e para facilitar o entendimento e interpretação dos resultados, a análise estatística dos resultados foi realizada de forma a comparar grupos específicos de amostras em combinações diversas e coerentes, como apresentadas à frente. A Tabela 3 apresenta a análise de variância (ANOVA) realizada para comparar a sensibilidade entre o grupo de microrganismos em estudo frente à sobreposição de cada amostra especificamente.

Tabela 3. Tabela de Análise de Variância comparando a sensibilidade entre os microrganismos frente a cada tipo de amostra (Continua)

		ANOVA					
Fonte de Variação	GL	QM					
		MBVS	MBMS	MBMC	FMBV	FMBMS	FMBMC
Tratamento	3	18,69100*	9,20743*	19,47633*	9,98047*	11,81400*	34,93000*
Resíduo	32	0,00878	0,04370	0,05369	0,01721	0,02097	0,07559
Total	35						
CV(%)		8,14	18,78	13,00	12,29	9,94	10,46

*Significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); QM – Quadrado médio.

Tabela 3. Continuação (Continua)

		ANOVA					
Fonte de Variação	GL	QM					
		FHBS50	FHBS55	FHBS60	FFBS50	FFBS55	FFBS60
Tratamento	3	0,67340*	0,65063*	1,69703*	14,02333*	4,41333*	24,92000*
Resíduo	32	0,00683	0,00584	0,00307	0,02719	0,00366	0,01216
Total	35						
CV(%)		41,04	28,21	22,26	14,35	9,70	12,74

*Significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); QM – Quadrado médio.

Tabela 3. Continuação

(Conclusão)

		ANOVA					
Fonte de Variação	GL	QM					
		FHBC50	FHBC55	FHBC60	FFBC50	FFBC55	FFBC60
Tratamento	3	1,26743*	0,90188*	1,31010*	28,25800*	28,25800*	21,62300*
Resíduo	32	0,00914	0,00981	0,00781	0,02837	0,02837	0,00994
Total	35						
CV(%)		24,19	28,52	20,91	11,29	11,29	6,35

*Significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); QM – Quadrado médio.

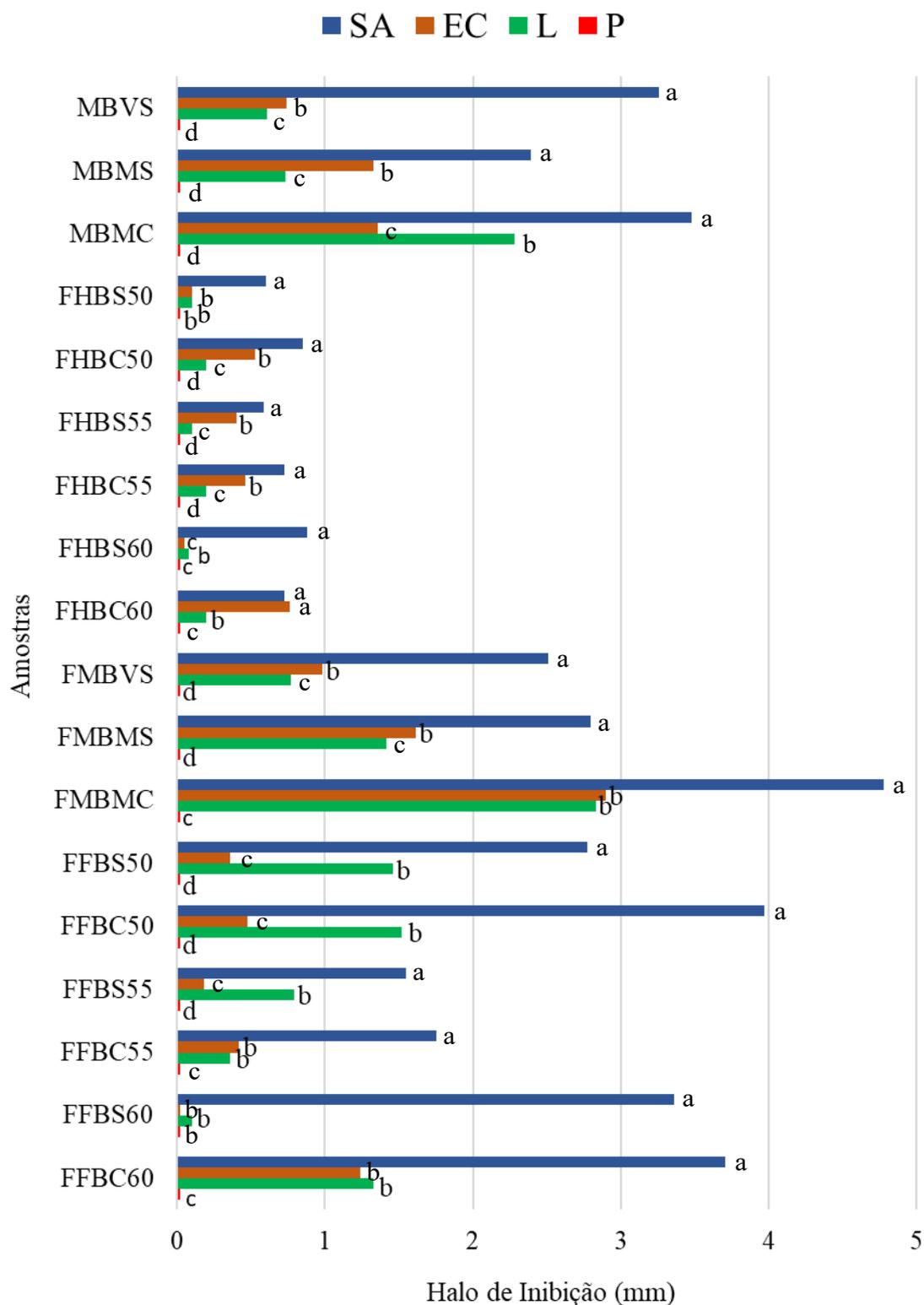
De acordo com a ANOVA apresentado na Tabela 3, todos os tratamentos estudados foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste F, sendo $F_{\text{tabelado}} > F_{\text{calculado}}$.

O teste de normalidade, realizado juntamente com a análise supracitada, utilizando-se do teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, demonstrou que os resíduos podem ser considerados normais nas avaliações entre os microrganismos para as amostras MBVS, MBMC, FHC50, FHBC60, FMBMS, FFBS50, FFBC55. Contraposto a isto, os resíduos não podem ser considerados normais nas amostras MBMS, FHBS50, FHBS55, FHBC55, FHBS60, FMBVS, FMBMC, FFBC50, FFBS55, FFBS60, FFBC60.

Já de acordo com o teste de homogeneidade de variância, todos os resultados como disposto para a esta avaliação estatística, demonstrou a 5% de significância, que as variâncias não podem ser consideradas homogêneas. Diante da discrepância de características entre as amostras, diferentes efeitos sob os microrganismos já eram esperados.

Após os resultados significativos evidenciados pela Tabela 3, prosseguiu-se com o teste de médias Tukey para explicitar tal diferença entre os microrganismos perante a cada amostra, o que foi retratado e pode ser observado na Figura 9, juntamente com a demonstração gráfica do tamanho dos halos de inibição microbiana ocasionado pelas mesmas.

Por meio do gráfico ilustrado pela Figura 9, foi possível visualizar e comparar o efeito individual que cada amostra de matéria-prima ou filme exerceu sob o grupo de microrganismos estudados. Pode-se observar que todas as amostras derivadas da casca de banana desempenharam um efeito antimicrobiano significativamente maior sobre a bactéria gram-positivas *S. aureus*, diferindo dos demais microrganismos, de acordo com o teste Tukey ($p \leq 0,05$). Uma única exceção a este fato refere-se à amostra FHBC60, que não diferiu significativamente quanto à sua ação antimicrobiana sob a *S. aureus* e a *E. coli*, mesmo ela sendo levemente maior para a bactéria gram-negativa *E. coli*.



*Letras iguais entre as colunas agrupadas na mesma amostra indicam que não houve diferença significativa pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) entre os microrganismos, quanto sua sensibilidade e inibição frente àquela amostra. Letras diferentes entre as colunas agrupadas na mesma amostra indicam diferença significativa quanto a inibição microbiana pela amostra.

Figura 9. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana proporcionada por cada amostra derivada de casca de banana, com comparação estatística do potencial antimicrobiano de cada

amostra sobre os microrganismos em estudo. SA – *S. aureus*; EC – *E. coli*; L – *Listéria*; P – *Penicillium*.

Ao avaliar a eficiência antimicrobiana das amostras individualmente sobre o grupo de microrganismos estudados, pode-se observar que, as massas MBVS e MBMS, bem como os seus respectivos filmes (FMBVS E FMBMS) perfizeram efeitos significativamente similares, ao nível de 5%, sobre o grupo microbiano. As amostras farinhas hidratadas (FHBC50, FHBS55, FHBC55) também apresentaram ação antimicrobiana estatisticamente similar às já citadas, apesar de numericamente serem menos eficazes dos o grupo microbiano (Figura 9).

Tais amostras, apresentaram individualmente um potencial antimicrobiano significativamente diferente para todos os microrganismos, sendo mais eficazes frente ao *S. aureus*, seguido para *E. coli*, *L. monocytogenes* e *Penicillium*. Para este último, como já discutido, nenhuma das amostras foi capaz de causar inibição com halo visível, apesar de terem impedido seu crescimento “in loco”.

Observou-se que as amostra de massa MBMC e de filmes de farinhas FFBS50, FFBC50 e FFBS55, com resultados estatísticos similares entre si ($p \leq 0,05$), induziram uma ação antimicrobiana significativamente diferente entre todos os microrganismos, decorrendo em uma maior inibição para as bactérias Gram-positivas *S. aureus* (SA) e *L. monocytogenes* (L), seguidas da Gram-negativa *E. coli* (EC) e, por fim, do fungo *Penicillium*, com inibição local, sem apresentação de halo.

Respostas estatisticamente semelhantes também foram observadas para as amostras de farinha hidratada FHBS50 e dos filmes FMBMC, FFBC55, FFBS60 e FFBC60. Reparou-se que tais amostras implicaram em um efeito antimicrobiano significativamente igual ($p \leq 0,05$) sobre a *E. coli* e a *L. monocytogenes*, sendo este estatisticamente menor que o acometido sobre a *S. aureus*.

De acordo com Madigan et al. (2016), um agente antimicrobiano é um produto químico natural ou sintético que mata ou inibe o crescimento de microrganismos. As interações dos antibacterianos com a célula bacteriana podem ocorrer no nível da parede (estrutura e biossíntese), membrana citoplasmática (estrutura e função), síntese de proteínas e síntese de ácidos nucleicos (TRABULSI e ALTERTHUM, 2015).

Além da comparação estatística da sensibilidade dos microrganismos, de forma agrupada, para cada material, também foi realizada a análise de dados comparando individualmente a sensibilidade de cada microrganismo frente às diferentes amostras de materiais. Para tanto, devido às aparentes diferenças entre os grupos de amostras – matérias primas secas-hidratadas e úmidas, ambas com diferentes tratamentos, e os filmes derivadas das respectivas – e com o objetivo de facilitar o entendimento, a disposição dos resultados da sensibilidade individual dos microrganismos frente ao efeito de cada amostra, remetido ao tamanho do halo de sua inibição, foi agrupado de 4 formas diferentes.

Desta forma, tais agrupamentos foram realizados de modo a comparar somente as matérias-primas entre si (massas e farinhas hidratadas) (Tabela 4 e Figura 10); somente os filmes entre si, obtidos das matérias-primas derivadas das cascas de banana (Tabela 5 e Figura 11); as matérias primas e seus respectivos filmes derivados (Tabela 6 e Figura 12); e as farinhas hidratadas com seus respectivos filmes (Tabela 7 e Figura 13).

A sensibilidade individual dos microrganismos frente ao efeito de cada amostra, remetido ao tamanho do halo de sua inibição, foi agrupado de 4 formas diferentes devido às

diferenças entre os grupos de amostras. Com isso, tais agrupamentos foram realizados de modo a comparar somente as matérias-primas entre si (massas e farinhas hidratadas) (Tabela 4 e Figura 10); somente os filmes entre si, obtidos das matérias-primas derivadas das cascas de banana (Tabela 5 e Figura 11); as matérias primas e seus respectivos filmes derivados (Tabela 6 e Figura 12); e as farinhas hidratadas com seus respectivos filmes (Tabela 7 e Figura 13).

A Tabela 4 apresenta a análise de variância (ANOVA) do tamanho médio dos halos de inibição individual dos microrganismos pelas amostras de matérias-primas de casca de banana (massa e farinha hidratada).

Segundo a ANOVA, todos os tratamentos foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste F, sendo $F_{\text{tabelado}} > F_{\text{calculado}}$, com exceção para o *Penicillium* (Tabela 4).

O teste de normalidade, realizado conjuntamente com a análise supracitada, utilizando-se do teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, demonstrou que os resíduos podem ser considerados normais nas avaliações entre as amostras de matérias-primas de casca de banana somente quanto aos microrganismos *S. aureus* e *L. monocytogenes*.

Tabela 4. Tabela de Análise de Variância para as amostras de matérias-primas (massas e farinhas hidratadas)

ANOVA MATÉRIAS-PRIMAS: Massas e Farinhas					
Fonte de Variação	GL	QM			
		AS	EC	L	P
Tratamento	8	11,112375*	1,710300*	4,134125*	0,000000 ^{ns}
Resíduo	54	0,035815	0,024313	0,02427778	0,000000
Total	62				
CV(%)		10,98	22,15	25,82	0,000000

*Significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); ^{ns}Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); QM – Quadrado médio; SA – *S. aureus*; EC – *E. coli*; L – *L. monocytogenes*; P – *Penicillium*.

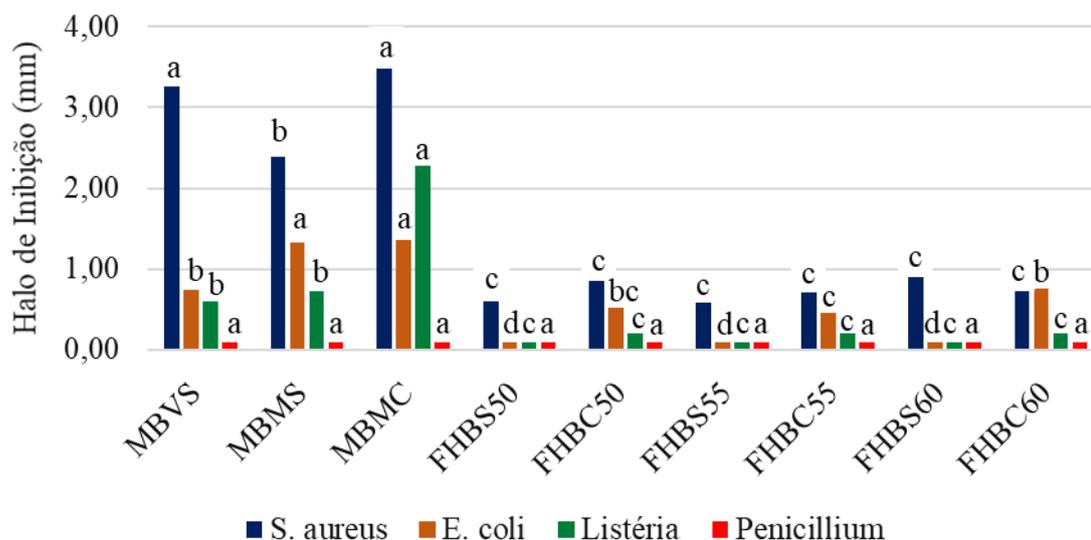
Já o teste de homogeneidade de variância, demonstrou para todos os tratamentos que, a 5% de significância, as variâncias não puderam ser consideradas homogêneas, o que já era esperado devido às características distintas entre os tratamentos (massa e a farinha hidratada).

Os coeficientes de variação (CV) demonstrado pela ANOVA, apesar de terem apresentado maior que vinte para EC e L, podem ser considerados relativamente baixo, visto que os tratamentos comparados possuíam características bastante distintas em 2 grandes grupos.

A Figura 10 ilustra graficamente a comparação média e de diferença estatística, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, dos tamanhos dos halos de inibição microbiana exercida pelos tratamentos de matérias-primas.

Ao analisarmos as Figuras 10, 11, 12 e 13 devemos notar que as colunas de mesma cor são comparadas entre si e que quando apresentam letras iguais não apresentam diferença significativa entre si ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Isso porque estamos avaliando a reação de crescimento ou inibição do mesmo microrganismo em exposição à diferentes amostras de matérias primas à base de casca de banana.

Pôde-se verificar que dentre as amostras de matérias-primas analisadas, as massas úmidas derivadas da casca de banana, independentemente de sua maturação, apresentaram-se com maiores médias e estatisticamente mais eficazes ($p \leq 0,05$) para inibição dos gêneros bacterianos estudados, salvo para a *E. coli* ao se tratar dos efeitos inibitórios das MBVS, FHBC50 e FHBC 60 que foram significativamente iguais (Figura 10). Isso aponta para uma possível inativação parcial de compostos antimicrobianos naturais durante o processo de elaboração dos filmes.



*Letras iguais entre as colunas de mesma cor indicam que não houve diferença significativa pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) quanto a inibição do microrganismo pelas diferentes amostras. Letras diferentes entre as colunas de mesma cor, indicam diferença significativa quanto a inibição microbiana pelas amostras.

Figura 10. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana pelas amostras, com comparação estatística da sensibilidade individual dos microrganismos frente às amostras de matérias-primas de casca de banana (massa e farinha hidratada).

A Figura 10 demonstra também que todas as farinhas hidratadas, independente do tratamento e/ou condições a qual foram submetidas para sua obtenção, apresentaram-se com o efeito de inibição bacteriana significativamente igual frente à *S. aureus*. Além disso, as farinhas hidratadas cujas cascas não passaram pelo tratamento com metabisulfito de sódio, FHBS50, FHBS55 e FHBS60, apresentaram os menores efeitos sob cada um dos microrganismos, não diferindo entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), e destacando um maior efeito inibitório sob o *S. aureus*.

A Tabela 5 apresenta a análise de variância (ANOVA) do tamanho médio dos halos de inibição individual dos microrganismos provocado pelas amostras dos materiais de embalagem à base das matérias primas supracitadas de casca de banana.

Segundo a ANOVA, todos os tratamentos foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$), de acordo com o teste F, sendo $F_{\text{tabelado}} > F_{\text{calculado}}$, com exceção para o *Penicillium* (Tabela 5).

O teste de normalidade, realizado conjuntamente com a análise supracitada, utilizando-se do teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, demonstrou que os resíduos podem ser considerados normais nas avaliações entre as amostras de filmes de casca de banana somente quanto aos microrganismos SA e EC.

Tabela 5. Tabela de Análise de Variância para os filmes elaborados com as matérias-primas (massas e farinhas hidratadas)

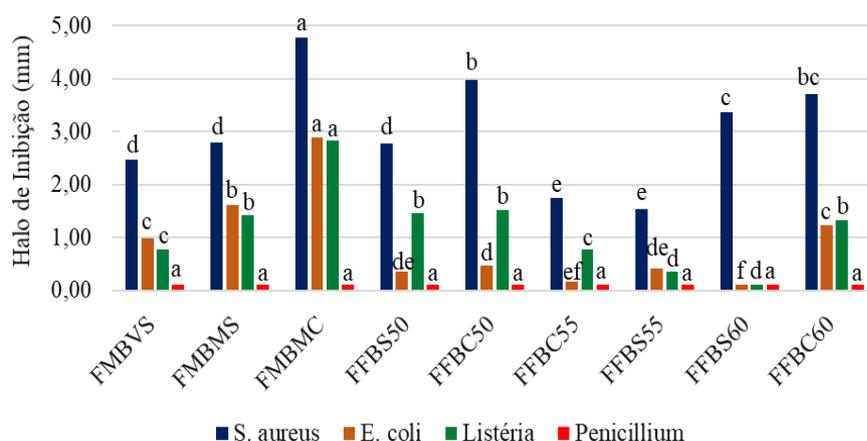
ANOVA FILMES					
FV	GL	QM			
		SA	EC	L	P
Trat	8	7,808125*	6,547625*	6,547625*	0,000000 ^{ns}
Erro	54	0,0606481	0,026148	0,026148	0,000000
Total	62				
CV(%)		8,02	15,58	12,13	0,00

*Significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); ^{ns}Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); QM – Quadrado médio; SA – *S. aureus*; EC – *E. coli*; L – *L. monocytogenes*; P – *Penicillium*.

Já o teste de homogeneidade de variância, demonstrou para todos os tratamentos que, a 5% de significância, as variâncias não puderam ser consideradas homogêneas, o que pode ser decorrente das distintas características das matérias-primas utilizadas para a elaboração dos filmes, que, respectivamente, também apresentaram características distintas entre os tratamentos.

A Figura 11 ilustra graficamente a comparação das médias e a variação estatística, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, dos tamanhos dos halos de inibição microbiana exercida pelos filmes ou materiais de embalagem à base das matérias-primas supracitadas de casca de banana como tratamentos.

Dentre os filmes elaborados com matérias-primas derivadas de casca de banana, o de massa da casca madura com tratamento em metabissulfito (FMBMC) se destacou diferenciando-se estatisticamente com os maiores resultados de inibição bacteriana, frente aos demais filmes estudados (Figura 11). Contraposto a isto, o FFBS60, apesar de ter se destacado estatisticamente como terceiro filme de maior efeito inibidor do SA, apresentou-se com os piores efeitos de inibição da EC e L, de acordo com o teste Tukey a 5% de significância.



*Letras iguais entre as colunas de mesma cor indicam que não houve diferença significativa pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) quanto a inibição do microrganismo pelas diferentes amostras. Letras diferentes entre as colunas de mesma cor, indicam diferença significativa quanto a inibição microbiana pelas amostras.

Figura 11. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana pelas amostras, com comparação estatística da sensibilidade individual dos microrganismos frente às amostras de filmes derivados das matérias-primas de casca de banana.

Ao comparar o potencial antimicrobiano dos filmes obtidos das massas de casca de banana representado na Figura 11, pode-se verificar que ambos apresentaram efeitos similares frente aos microrganismos, apesar de diferirem significativamente entre si para todas as bactérias, sendo o FMBMC mais eficaz, seguido do FMBMS e FMBVS. Quanto aos filmes derivados das farinhas hidratadas, o que melhor se destacou frente às bactérias foi o FFBC60. Sua eficiência antibacteriana frente ao SA foi estatisticamente maior FFBS50, FFBC55 e FFBS55, além de também ser significativamente maior que o FMBVS e FMVMS ($p \leq 0,05$). Da categoria, o FFBC60 também se destacou significativamente frente a EC e a L a 5% de significância de acordo com o teste Tukey.

A Tabela 6 apresenta a análise de variância (ANOVA) do tamanho médio dos halos de inibição individual dos microrganismos provocado pelas amostras dos materiais de embalagem à base das massas como matérias primas supracitadas de casca de banana e seus respectivos filmes.

Tabela 6. Tabela de Análise de Variância para as massas e seus respectivos filmes

ANOVA MASSAS E FILMES					
FV	GL	QM			
		SA	EC	L	P
Trat	5	6,942400*	5,152940*	7,736200*	0,000000 ^{ns}
Resíduo	48	0,067000	0,046846	0,032771	0,000000
Total	53				
CV(%)		8,08	14,55	12,56	0,00

*Significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); ^{ns}Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); QM – Quadrado médio; SA – *S. aureus*; EC – *E. coli*; L – *L. monocytogenes*; P – *Penicillium*.

Todos os tratamentos avaliados foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste F, sendo $F_{\text{tabelado}} > F_{\text{calculado}}$, com exceção para o *Penicillium* como mostra o quadro de ANOVA na Tabela 6.

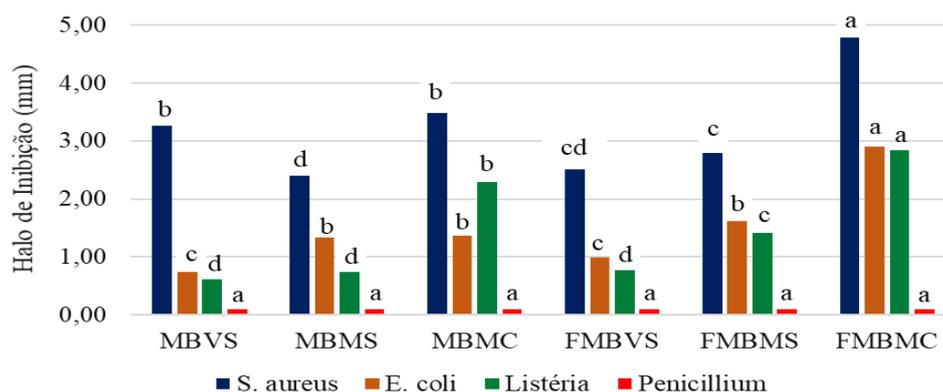
O teste de normalidade, realizado utilizando-se do teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, demonstrou que os resíduos podem ser considerados normais nas avaliações entre as amostras de matérias-primas de casca de banana somente quanto aos microrganismos SA e EC.

Já o teste de homogeneidade de variância, demonstrou para todos os tratamentos que, a 5% de significância, as variâncias não puderam ser consideradas homogênea, o que já era esperado por haver distinções claramente discrepantes entre os tratamentos (massa e filmes).

A Figura 12 ilustra graficamente a comparação das médias e a variação estatística dos tamanhos dos halos de inibição microbiana exercidas pelas amostras de matérias-primas úmidas de casca de banana (massas) e seus respectivos filmes ou materiais de embalagem derivados, segundo o teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Foi possível evidenciar que os filmes derivados da massa de casca de banana madura apresentaram-se significativamente mais eficientes para reprimir o crescimento bacteriano, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). A similaridade estatística somente foi observada entre a massa sem metabissulfito no tratamento inicial da casca e o seu respectivo filme derivado (MBMS e FMBMS), sob a *E. coli*. Verificou-se também que o FMBMC teve um efeito antibacteriano

significativamente maior que todas as demais amostras comparadas e sob todas as bactérias avaliadas, reflexo da promoção de uma maior zona de inibição de cada uma delas ao redor da amostra sobreposta no meio (Figura 12). Estes comportamentos podem ser atribuídos à concentração de componentes ativos por diâmetro ou quantidade de amostra utilizada para o teste, visto que os filmes são materiais mais concentrados devido à diminuição do teor de água por área da circunferência ou peso da amostra consequente do processo de secagem atribuído ao processo. Além disso, a reação de escurecimento que ocorre nas massas e filmes que derivam do tratamento sem o banho em metabissulfito de sódio levaram a perdas expressivas da atividade antibacteriana.



*Letras iguais entre as colunas de mesma cor indicam que não houve diferença significativa pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) quanto a inibição do microrganismo pelas diferentes amostras. Letras diferentes entre as colunas de mesma cor, indicam diferença significativa quanto a inibição microbiana pelas amostras.

Figura 12. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana pelas amostras, com comparação estatística da sensibilidade individual dos microrganismos frente às amostras de massas de cascas de banana e seus filmes derivados.

De maneira oposta aos derivados de banana madura, o filme de massa de banana verde apresentou um efeito antimicrobiano sobre a *E. coli* e a *L. monocytogenes* significativamente igual à sua matéria-prima, além de um efeito significativamente menor que a massa sobre o *S. aureus*, ao nível de 5% de significância (Figura 12).

A Tabela 7 apresenta a análise de variância (ANOVA) do tamanho médio dos halos de inibição individual dos microrganismos pelas amostras das matérias-primas farinhas hidratadas e seus respectivos filmes.

Tabela 7. Tabela de Análise de Variância comparando a sensibilidade entre os microrganismos frente a cada tipo de amostra de farinhas hidratadas e seus respectivos filmes

ANOVA FARINHAS E FILMES					
FV	GL	QM			
		SA	EC	L	P
Trat	11	10,220000*	0,722773*	1,985918*	0,000000 ^{ns}
Resíduo	60	0,033217	0,007940	0,017575	0,000000
Total	71				
CV(%)		10,17	21,79	24,65	0,00

*Significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); ^{ns}Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); QM – Quadrado médio; SA – *S. aureus*; EC – *E. coli*; L – *L. monocytogenes*; P – *Penicillium*.

De acordo com a ANOVA apresentada na Tabela 7, todos os tratamentos foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$), segundo o teste F, sendo $F_{\text{tabelado}} > F_{\text{calculado}}$, com exceção para o *Penicillium*.

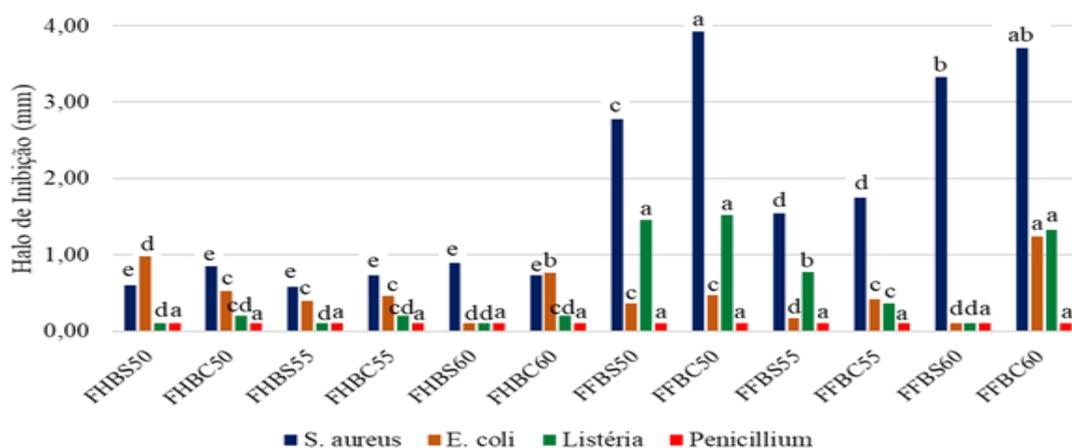
O teste de normalidade, realizado conjuntamente com a análise supracitada, utilizando-se do teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, demonstrou que os resíduos podem ser considerados normais nas avaliações entre as amostras de matérias-primas de casca de banana somente quanto aos microrganismos SA e EC.

Já o teste de homogeneidade de variância, demonstrou para todos os tratamentos que, a 5% de significância, as variâncias não puderam ser consideradas homogêneas, o que já era esperado devido às características distintas entre os tratamentos.

A Figura 13 ilustra graficamente a comparação das médias e a variação estatística dos tamanhos dos halos de inibição microbiana exercidas pelas amostras de matérias-primas secas/hidratadas de casca de banana (farinhas hidratadas) e seus respectivos filmes ou materiais de embalagem derivados, segundo o teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Notou-se que o comportamento de inibição das amostras foi bastante variado quando avaliado o efeito antimicrobiano das farinhas hidratadas, obtidas por diferentes condições, e os seus respectivos filmes sobre os microrganismos. Essa variação tornou-se ainda mais aparente diante da comparação obtida pela análise estatística.

Todos os filmes apresentaram efetividade antimicrobiana significativamente maior sobre as bactérias SA e L, que as farinhas hidratadas utilizadas como suas respectivas matérias-primas. Verificou-se também que o FFBC60 teve um efeito antibacteriano significativamente maior que todas as demais amostras comparadas sob todas as bactérias avaliadas, à exceção do FFBS50 e FFBC50 sob a *L.monocytogenes* que foi significativamente igual ao mesmo. Comportamento este que reflete um poder antimicrobiano capaz de suprimir ao seu redor o desenvolvimento bacteriano em uma maior extensão que as demais amostras comparadas (Figura 13).



*Letras iguais entre as colunas de mesma cor indicam que não houve diferença significativa pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$) quanto a inibição do microrganismo pelas diferentes amostras. Letras diferentes entre as colunas de mesma cor, indicam diferença significativa quanto a inibição microbiana pelas amostras.

Figura 13. Tamanho médio dos halos de inibição microbiana pelas amostras, com comparação estatística da sensibilidade individual dos microrganismos frente às amostras de farinhas hidratadas de cascas de banana e seus filmes derivados.

Assim, em uma análise geral, além de todos os resultados obtidos e já avaliados estatisticamente e demonstrados por meio de gráficos e tabelas, outras observações gerais também são importantes de serem destacadas para complementar a interpretação dos dados e seguem descritas.

Como um todo, os filmes demonstraram um efeito inibitório aparente para o crescimento bacteriano, percebida por meio do halo, maior que suas respectivas matérias-primas. Fato este que pode estar associado à concentração de compostos antimicrobianos presentes em uma mesma porção e diâmetro de amostra, visto que perante a secagem da solução filmogênica obtida da massa ou da farinha hidratada, o mesmo concentra maior quantidade de solutos.

Frente às matérias-primas e filmes desenvolvidos, a bactéria Gram-positiva *S. aureus* foi o microrganismo que apresentou maior sensibilidade perante as amostras. As análises realizadas com essas bactérias demonstraram que as amostras estudadas exerceram satisfatório efeito inibidor, representado por meio de zonas de inibição nítidas e amplas.

De maneira oposta a isso, verificou-se que as amostras não foram capazes de provocar halos de inibição ao seu redor, quando dispostas sobre o fungo *Penicillium* ssp. Apesar das mesmas preservarem-se sem contaminação.

A sensibilidade ou resistência de um microrganismo relaciona-se com sua morfologia e é retratada por diversos autores. As bactérias, por serem organismos procariotos são fundamentalmente estruturadas por membrana celular, parede celular, ribossomos e um núcleo disperso em citoplasma (TORTORA et al., 2017; MADIGAN et al., 2016).

Os mecanismos de ação dos agentes antimicrobianos, com isso, envolvem formas de desestabilizar tais estruturas e normalmente provocam danos como a inibição da membrana celular, ruptura celular, desnaturação de proteínas ou lesão do material genético (TRABULSI e ALTERTHUM, 2015; MADIGAN et al., 2016; TORTORA et al., 2017). Segundo Madigan et al. (2016), a membrana citoplasmática é a estrutura responsável por executar a principal função na célula, de permeabilidade seletiva, porém é frágil e seu comprometimento reflete diretamente na integridade e morte celular.

Assim, as interações dos antibacterianos com a célula bacteriana podem ocorrer no nível da parede (estrutura e biossíntese), membrana citoplasmática (estrutura e função), síntese de proteínas e síntese de ácidos nucleicos (TRABULSI e ALTERTHUM, 2015).

De acordo com Tortora et al. (2017), bactérias Gram-negativas são geralmente mais resistentes aos antimicrobianos que as Gram-positivas por possuírem uma parede celular mais complexa, com delgada camada de peptidoglicano e membrana externa composta por lipoproteínas e lipopolissacarídeos (LPS), aos quais nestes, os agentes possuem maior dificuldade de penetrarem.

No entanto, ao comparar a resistência da EC (Gram-negativa) com a L (Gram-positiva), verificou-se que das 18 amostras estudadas, apenas frente a 4 a EC conferiu resistência significativamente maior que a L. Esta, entretanto, demonstrou resistência significativamente maior que a EC frente a 9 das amostras e se igualou estatisticamente à mesma frente às 5 amostras restantes, quanto à resistência.

Já por meio da SA, essa aparente fragilidade maior das Gram-positivas, ficou evidenciada, uma vez que tal bactéria demonstrou-se significativamente mais sensível que os demais microrganismos, perante a 17 dos 18 materiais estudados.

A complexação com íons metálicos; atividade antioxidante e habilidade de complexar com proteínas e polissacarídeos são citadas por Trabulsi e Alterthum (2015) como as três características gerais que induzem as atividades bactericidas e fungicidas de substâncias.

A comprovação da eficiência antimicrobiana de produtos derivados de casca de banana por meio deste estudo, com destino à aplicação em alimentos, torna sua utilização promissora por proporcionar diversos benefícios aos alimentos, à nutrição ao meio ambiente. Esta evidência, coloca em destaque a existência dos diversos componentes químicos existentes na de banana que podem promover o controle do crescimento microbiano.

Sabendo da complexidade química da casca de banana, a definição total da composição ativa presente na mesma capaz de promover tal ação antimicrobiana tornou-se tema de estudos específicos para a inferência da mesma.

Conforme Vu et al. (2018), as cascas de bananas são subproduto possuem potentes propriedades antioxidantes e antimicrobianas associadas a diversos benefícios por serem ricos em fenólicos, com mais de 40 compostos individuais identificados. A composição e os níveis desses compostos, no entanto, sofrem influência de vários fatores, como variedades, maturidade, condições e pré-tratamentos.

Kavita, et al. (2019), em estudo sobre a eficácia antimicrobiana da casca de banana fresca e seca constataram que vários compostos bioativos, como flavonoides, taninos, flobataninos, alcaloides, glicosídeos e terpenoides estão presentes na casca de banana. Os autores, concluíram que extratos alcoólicos de casca de banana fresca e seca podem ser considerados bons agentes contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, evitando sua proliferação.

Ehiowemwenguan et al. (2014), verificaram que os organismos Gram-negativos necessitaram de concentrações inibitórias mínimas e concentração bactericida mínima mais baixos, sugerindo sua maior suscetibilidade ao extrato das cascas de banana. Os autores concluíram que o extrato etanólico de cascas de *Musa sapientum* teve maior amplitude *in vitro* espectro de atividade antimicrobiana, podendo ser explorados para controlar infecções causadas por *Salmonella typhi*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* e *Staphylococcus aureus*.

Em estudo bibliográfico os fitoquímicos de múltiplos efeitos biológicos encontrados nas cascas do gênero *Musa*, como flavonoides, taninos, flobataninos, alcaloides, terpenoides e enzimas também foram citados por Chabuck et al. (2015). Além disso, os autores destacaram a presença das vitaminas A, C, E e B6, dos ácidos málico, succínico e palmítico, dos minerais magnésio, fósforo, potássio e ferro, das fibras e ácidos graxos como parte componente na casca da banana, que podem ser responsáveis por sua atividade antimicrobiana.

A presença de princípios antifúngicos e antimicrobianos encontrados na casca e na polpa de bananas maduras foi relatada por Ehiowemwenguan et al. (2014) que, por meio da triagem fitoquímica das cascas de *Musa sapientum*, verificaram seu conteúdo de alguns metabólitos secundários, como glicosídeos, alcaloides, saponinas, óleo volátil, flavonoides e taninos.

Os metabólitos secundários são uma variedade de compostos orgânicos encontrados nos vegetais com função de defesa contra patógenos microbianos (fungos e bactérias) e herbívoros. Tais substâncias são divididas em três principais grupos distintos quimicamente: os terpenos, os compostos fenólicos e os compostos nitrogenados. Os terpenos, terpenoides ou

isoprenoides constituem o maior grupo com diversas substâncias que, em geral, são insolúveis em água. Os compostos fenólicos vegetais, grupo que contém hidroxila funcional em um anel aromático (fenol), consistem cerca de 10.000 compostos, os quais variam quanto à solubilidade, por vezes solúveis em solventes orgânicos ou em água (ácidos carboxílicos e glicosídeos solúveis), havendo ainda aqueles insolúveis (TAIZ et al., 2017).

Os compostos fenólicos e seus derivados, dado seu poder biocida, têm uma ampla aplicação nas indústrias de alimentos e rações, na preservação de madeiras, nas indústrias de cosméticos e perfumarias, além de usos nas áreas médicas humanas, veterinária e odontológica (TRABULSI e ALTERTHUM, 2015).

Dentre os resultados qualitativos obtidos, é importante destacar que houve deslocamento de alguns materiais (filmes) nas placas previamente inoculadas durante a incubação. Apesar disso, no entanto, constatou-se uma inibição proeminente onde o material foi inicialmente fixado, mesmo quando não houve formação de halo ao redor da amostra até a retirada e leitura dos resultados (Figura 14).

Tal ocorrência pode-se fundamentar, portanto, na possibilidade de inibição microbiana local, quando a substância inibidora em questão permanece estática, sem migração, no meio onde foi aplicado. O que pode ser decorrente à mobilidade desfavorecida da substância ativa devido à fatores como sua insolubilidade no meio aquoso utilizado nos experimentos, como previamente mencionado em citação.

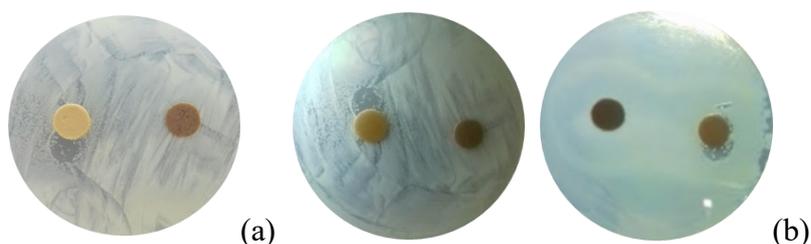


Figura 14. Imagens das placas de Petri com análises da atividade antimicrobiana, as quais mesmo não havendo formação de halo de inibição ao redor do material, o deslocamento do mesmo durante a manipulação e/ou incubação provocou inibição aparente no local inicial de sua disposição.

Além da solubilidade do agente ativo ao meio aplicado, a eficiência do agente antimicrobiano tem relação direta com sua concentração no material e o grau de susceptibilidade dos microrganismos varia amplamente a depender dos agentes antimicrobianos (EHIOEWEMWENGUAN et al., 2014).

Assim, a variação do potencial antimicrobiano demonstrado no experimento entre as repetições e até mesmo dentre as amostras do mesmo gênero pode estar relacionado às suas formulações serem baseadas em medidas da casca como matéria-prima inicial e não no quantitativo específico de seus agentes ativos, já que os mesmos são passíveis de variação por diversos fatores.

Ademais, diversos parâmetros, como a natureza do alimento de interesse, o tipo de contato com o material da embalagem, o tempo de contato, a temperatura, os materiais de embalagem utilizados, as propriedades das substâncias migrantes, bem como as quantidade de migrantes em potencial contidos na embalagem materiais, pode afetar drasticamente a taxa de migração e barraca (ARVANITOYANNIS e KOTSANOPOULOS, 2013).

Dessa forma, a confirmação do efeito antimicrobiano de cada material desenvolvido como filme também deve ser testada em diversos tipos de alimentos e/ou simuladores alimentícios para assegurar o seu melhor efeito frente à complexidade da composição e características dos mesmos.

Diante da especulação observada, discutida e demonstrada na Figura 14, um outro aspecto importante suscitado durante a leitura dos resultados foi quanto à permanência da inibição microbiana provocada por cada tipo de material. Logo, para corroborar tal observação demonstrada, após a obtenção dos resultados, as placas contendo amostras de filmes que não apresentaram aparente formação de halo inibitório foram redirecionadas à capela na qual as amostras foram cuidadosamente retiradas, com o auxílio de pinças estéreis.

Com isso, a inexistência de células visíveis sob os filmes foi confirmada e comprovou-se que todas as amostras avaliadas neste estudo (massas, farinhas e filmes), independente do tratamento que receberam, provocaram a inibição dos microrganismos “in loco”, mesmo não tendo havido o aparecimento de halo ao redor de todas as amostras.

Após tal constatação e já sem as amostras, as mesmas placas foram novamente incubadas em suas respectivas condições ideais para avaliar um possível crescimento microbiano.

De acordo com Trabulsi e Alterthum (2015), os antimicrobianos podem provocar interferência no desenvolvimento microbiológico causando sua morte ou somente inibindo temporariamente o seu crescimento, recebendo assim a denominação de bactericidas ou bacteriostáticos, respectivamente, ao se tratar de agentes antibacterianos. Destaca-se, no entanto, que algumas substâncias bactericidas para certo tipo de cepa, possa ser bacteriostática para outras. O mesmo pode ser considerado para os fungos.

Os agentes bacteriostáticos, de acordo com Madigan et al. (2016), são geralmente inibidores de algum importante processo bioquímico, no entanto se o agente for removido, as células podem retomar seu crescimento. Já os agentes bactericidas, promovem a morte celular, provocando ou não sua lise.

Após o segundo período de incubação, os resultados demonstraram que a *Staphylococcus aureus*, a *L. monocytogenes* e o *Penicillium* de fato não tiveram o seu crescimento retomado no local onde inicialmente encontrava-se a amostra de filme, evidenciando o efeito letal dos componentes ativos presentes na amostra e inferindo que o efeito produzido pelos filmes foi de inibição por letalidade. Já as placas inicialmente inoculadas com a *Escherichia coli* apresentaram o espaço anteriormente ocupado pela amostra com uma leve incidência de crescimento celular, levando-se à inferência de que sua supressão foi temporária por um efeito bacteriostático dos agentes ativos presentes nas amostras (Figura 15).

Por meio de avaliação visual qualitativa, registrada por imagens e relatórios, foi possível identificar em algumas placas inoculadas com *S. aureus*, além do halo de inibição total, quantificado e já discutido, os filmes de massa sem tratamento com metabissulfito provocaram também uma região de redução do crescimento bacteriano, o que pode ser um indicativo de que, em concentrações menores de células inoculadas ou em uma exposição à maior quantidade de agente antimicrobiano, a inibição completa poderia ter ocorrido em uma zona ainda maior (Figura 16).

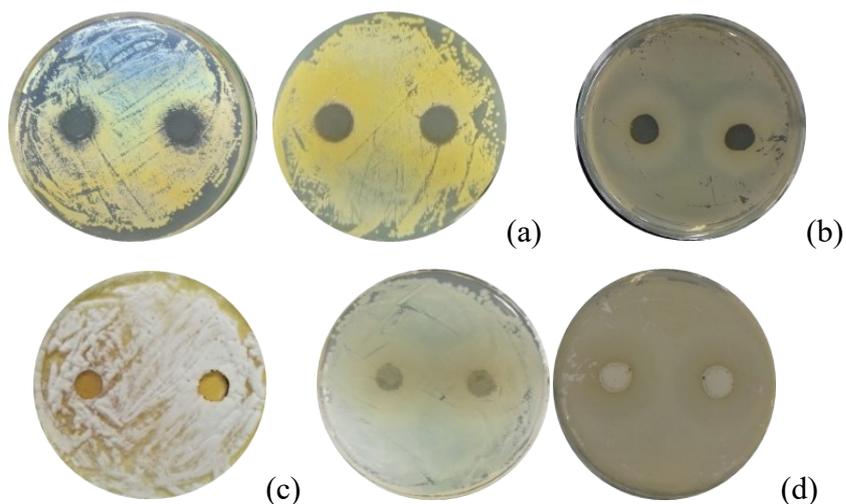


Figura 15. Imagens com placas de Petri representando avaliação do efeito microbiostático e/ou microbicida das amostra com e sem tratamento em solução de metabissulfito de sódio, após novo período de incubação, sob *S. aureus* (a), *E. coli* (b), *Penicillium* (c) e *L. monocytogenes* (d).

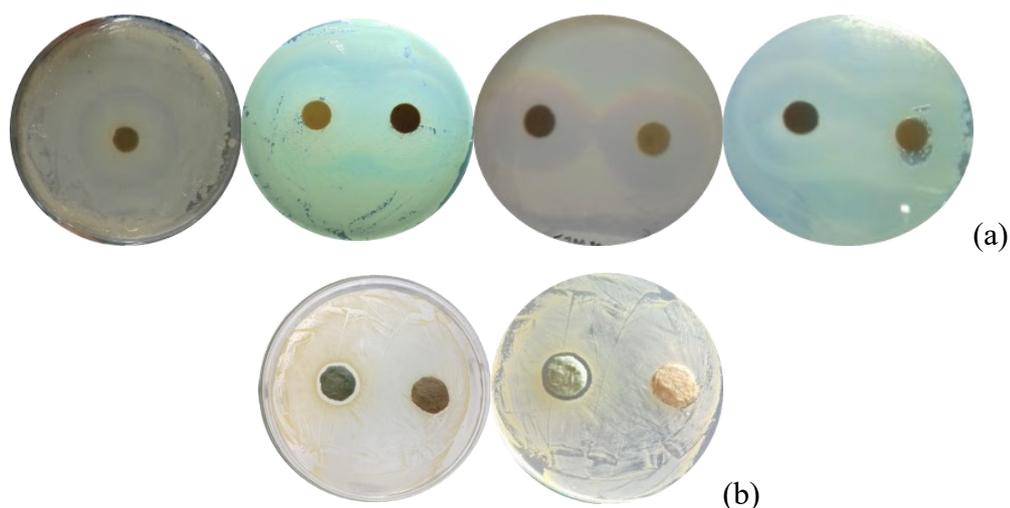


Figura 16. Imagens dos resultados da avaliação antimicrobiana frente à *S. aureus* e *E. coli*, com promoção de efeitos qualitativos pontuais. Placas com os filmes de massas (a) e com as massas (b) de cascas de banana como amostra.

As placas inoculadas com a bactéria *E. coli* apresentaram, ao redor das amostras de filmes elaborados com as massas de banana, a formação de um extenso halo de coloração mais clara, por vezes esbranquiçado ou transparente e furta-cor, como pode ser claramente observado na Figura 16. Tal ocorrência pode ser um indicativo da migração se componentes reativos com um efeito atenuado da restrição do crescimento microbiano no raio do fenômeno observado. Efeito este que deve ser mais bem explorado em outros trabalhos.

Percebeu-se também que em algumas placas inoculadas, as massas de casca de banana sofreram um escurecimento anormal, adquirindo uma coloração superficial com um tom levemente esverdeado. As amostras que sofreram com este fenômeno tiveram a formação de zona de inibição microbiana reduzida ao seu redor, comparada às mesmas que não sofreram o

fenômeno. Nestes casos o experimento foi repetido no intuito de coleta de dados qualitativa e quantitativamente fidedignos (Figura 16).

Assim, o método de difusão em de ágar foi uma abordagem bem estabelecida para a triagem dos efeitos antimicrobianos ou suscetibilidade dos microrganismos às matérias-primas e materiais desenvolvidos (filmes) utilizados como tratamentos.

Conforme Madigan et al. (2016), a zona de inibição é criada, cujo diâmetro é proporcional à quantidade de agente antimicrobiano adicionado ao disco, à solubilidade do agente, ao coeficiente de difusão e à eficácia global do agente. A técnica de difusão em disco é rotineiramente utilizada para testar patógenos isolados quanto à sua suscetibilidade aos antibióticos.

Tal metodologia permitiu, portanto, a avaliação do potencial antimicrobiano por meio da quantificação e a observação visual do comportamento dos materiais como amostras e dos microrganismos em questão.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos revelaram o potencial da casca de banana como coproduto promissor para transformação em matérias-primas (massas e farinhas) sustentáveis e antimicrobianas.

As matérias-primas à base de casca de banana (*Musa* sp.) e os respectivos filmes biopoliméricos exerceram efeito microbicida frente aos microrganismos *Staphylococcus aureus*, *L. monocytogenes*, *Penicilium* e bacteriostático frente à *E. coli*.

Os materiais e filmes desenvolvidos demonstraram atividade antimicrobiana mais pronunciada sobre a bactéria *Staphylococcus aureus*, gerando halos nítidos e grandes de inibição microbiana.

Os materiais obtidos de casca de banana evidenciaram potencial para utilização como embalagens ativas antimicrobianas para alimentos, possibilitando sua proteção à microrganismos sem a necessidade de adição de aditivos químicos, dentre as diversas aplicações.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A. L., Li, Z., Qazi, I. M., ... Lv, L. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. **Food Control**, 82, 163–178, 2017.

Arvanitoyannis, I. S.; Kotsanopoulos, K. V. Migration phenomenon in food packaging. food–package interactions, mechanisms, types of migrants, testing and relative legislation—A review. **Food Bioprocess Technol.** Springer: New York, 2013.

Braga, L. R.; Silva, F. M. Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 8 n. 4, p. 170-186, out./dez. 2017.

Chabuck, Z. A. G.; Al-Charrakh, A. H.; Hindi, N. K. K.; Hindi, S. K. K. Antimicrobial Effect of Aqueous Banana Peel Extract, Iraq. **Research Gate: Pharmaceutical Sciences**, 1, 2013.

Ehiowemwenguan, G.; Emoghene, A. O.; Inetianbor, J. E. Antibacterial and phytochemical analysis of Banana fruit peel. **IOSR Journal Of Pharmacy**. Volume 4, Issue 8 (August 2014), PP. 18-25.

Forsythe, S. J. **Microbiologia da segurança dos alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2ed, 2013.

García Ibarra, V., Sendón, R., & Rodríguez-Bernaldo de Quirós, A. *Antimicrobial Food Packaging Based on Biodegradable Materials*. **Antimicrobial Food Packaging**, 363–384, 2016.

García Ibarra, V., Sendón, R., & Rodríguez-Bernaldo de Quirós, A. (2016). Antimicrobial Food Packaging Based on Biodegradable Materials. **Antimicrobial Food Packaging**, 363–384.

Huang, T., Qian, Y., Wei, J., & Zhou, C. Polymeric Antimicrobial Food Packaging and Its Applications. **Polymers**, 11(3), 560, 2019.

Kavithal, V.; Manonmani, G.; Devakumar, J. Antimicrobial efficacy of fresh and dried banana peel extracts: An in vitro study. **Drug Invention Today** Vol 11, Issue 5, p1237-1240, 2019.

Limbo, S.; Khaneghah, A. M. Active packaging of foods and its combination with electron beam processing. *Electron Beam Pasteurization and Complementary* **Food Processing Technologies**, 195–217, 2015.

Lucera, A.; Conte, A.; Del Nobile, M. A. Volatile compounds usage in active packaging systems. **Antimicrobial Food Packaging**, 319–327, 2016.

Madigan, M. T; Martinko, J. M.;; Bender, K. S.; Buckley, D. H.; Stahl, D. A. **Microbiologia de Brock**. Tradução – Porto Alegre : Artmed, 14. ed., 2016.

Miranda, J. M., Mondragón, A. C., Lamas, A., Roca-Saavedra, P., Ibarra, I. S., Rodriguez, J. A., ... Franco, C. M. Effect of Packaging Systems on the Inactivation of Microbiological Agents. **Antimicrobial Food Packaging**, p.107–116, 2016.

Otoni, C. G., Espitia, P. J. P., Avena-Bustillos, R. J., & McHugh, T. H. Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. **Food Research International**, p.83, 60–73, 2016.

Raybaudi-Massilia, R., Mosqueda-Melgar, J., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. Combinational Edible Antimicrobial Films and Coatings. **Antimicrobial Food Packaging**, p.633–646, 2016.

Remya, S., Mohan, C. O., Venkateshwarlu, G., Sivaraman, G. K., & Ravishankar, C. N. Combined effect of O₂ scavenger and antimicrobial film on shelf life of fresh cobia (*Rachycentron canadum*) fish steaks stored at 2 °C. **Food Control**, 71, p.71–78, 2017.

Sethi, S., & Gupta, S. Antimicrobial Spices. **Antimicrobial Food Packaging**, p.433–444, 2016.

Surwade, S. A.; Chand, K. Antimicrobial food packaging: An overview. **European Journal of Biotechnology and Bioscience**. Volume 5, Issue 5, Page nº. 85-9, September 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

Tortora, G. J.; Funke, B. R.; Case, C. L. **Microbiologia** – 12. ed., Porto Alegre: Artmed, 2017.

Trabulsi, L. R.; Alterthum, F. **Microbiologia**. São Paulo: Editora Atheneu, 6. ed., 2015.

Vilela, C.; Kurek, M.; Hayouka, Z.; Röcker, B.; Yildirim, S.; Antunes, M. D. C; Nilsen-Nygaard, J.; Pettersenf, M. K.; Freire, C. S. R. A concise guide to active agents for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**. 80, p.212–222, 2018.

Vu, Hang T.; Scarlett, Christopher J.; Vuong, Quan V. (2018). Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: A review. **Journal of Functional Foods**, 40(), 238–248.

4. CONCLUSÕES GERAIS

O estudo evidenciou uma urgência em desenvolver tecnologias para sanar questões ambientais, sociais, nutricionais e sanitárias decorrentes da industrialização e distribuição de alimentos embalados, destacando a utilização de recursos agroindustriais como potencialidade para tanto.

A quantificação e caracterização de coprodutos resultantes do processamento agroindustrial de banana, bem como as matérias-primas úmidas e secas desenvolvidas a partir deles demonstrou excelente performance para seu aproveitamento no desenvolvimento e elaboração de filmes alimentícios.

A compreensão do comportamento das cascas de banana sob os diferentes tratamentos, por meio dos estudos de secagem, destacou a condição de secagem à temperatura de 60 °C, velocidade do ar de 0,5 m/s, sem tratamento das cascas com metabissulfito de sódio como melhor condição para obtenção da matéria-prima seca.

O estudo propiciou o desenvolvimento de materiais antimicrobianos à base de casca de banana para aplicação em produtos alimentícios e, com isso, considerar a disponibilização de novos materiais de embalagem com características de filmes, provenientes de fonte renovável.

O fornecimento de soluções sociais e ambientais pelo aproveitamento de coprodutos agroindustriais tratados como lixo e pela isenção da utilização de fontes fósseis foi um viés relevante e emergente alcançado grandiosamente para a indústria de alimentos e embalagens atingido pelo estudo.

Notadamente, o desenvolvimento dos filmes também atingiu um viés nutricional e sanitário pelo seu caráter antimicrobiano, que possibilita a obtenção de alimentos seguros e nutricionalmente mais saudáveis pela redução da aplicação de conservantes químicos em sua formulação indústria. Isso porque, a própria embalagem torna-se capaz de inibir o desenvolvimento de microrganismos patogênicos, permitindo um maior período de validade dos alimentos embalados, com menor quantidade de aditivos químicos.

Por fim, a continuidade do estudo é interessante para o aperfeiçoamento do filme desenvolvido, bem como a melhor compreensão da sua aplicação em diversos tipos de alimentos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(GERAIS)

ABAD, A.M. **Development of silver based antimicrobial films for coating and food packaging applications**. Valencia: 2014. Doctoral Thesis – Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Universitat Politècnica Valencia. Valencia, 2014.

ABIA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Sustentabilidade na indústria da alimentação: uma visão de futuro para a Rio+20 / Confederação Nacional da Indústria. **Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação**. Brasília: CNI, 40p. 2012.

ABREU, D.A.P.; CRUZ, J.M.; LOSADA, P.P. Active and Intelligent Packaging for the Food Industry. **Food Reviews International**, v. 28, p. 146-187, 2012.

AHVENAINEN, R. Active and intelligent packaging. In: AHVENAINEN, R. **Novel food packaging technique**. Boca Raton: CRC PRESS, 2003. p.5-21.

ABIPLAST - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. Perfil, 2014. **Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico**, p.62, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15448-1**, 2008.

ABRE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Estudo macroeconômico da embalagem ABRE/ FGV**. 2015. Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/>. Acesso em: 10/06/2015.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**, Washington, 1995.

AYALA-ZAVALA, J.F.; VEGA-VEJA, V.; ROSAS-DOMÍNGUEZ, C.; PALAFOX-CARLOS, H.; VILLA-RODRIGUEZ, J.A.; SIDDIQUI, M.W.; DÁVILA-AVIÑA, J.E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, v.44, p.1866-1874, 2011.

BABBAR, N.; OBEROI, H.S.; UPPAL, D.S.; PATIL, R.T. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. **Food Research International**, v.44, p.391-396, 2011.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agro-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential use. **Food Chemistry**, v.99, p.191-203, 2006.

BARBOSA-PEREIRA, L.; AURREKOETXE, G.T.; ANGULO, I.; PASEIRO-LOSADA, P.; CRUZ, J.M. Development of new active packaging films coated with natural phenolic compounds to improve the oxidative stability of beef. **Meat Science**, v.97, n.2, 2014, p.249-254, 2014.

BARNETT, I. The Global Outlook for Biodegradable Packaging. **Business Insights Ltd**, 2011.

BATISTA, J.A.; TANADA-PALMU, P.S.; GROSSO, C.R.F. Efeito da adição de ácidos graxos em filmes a base de pectina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.4, p.781-788, 2005.

BERBARI, S.A.G.; PRATI, P.; FREITAS, D.D.G.C.; VICENTE, E.; ORMENESE, R.C.S.C.; FAKHOURI, F.M. Utilização de coberturas comestíveis para redução de absorção de gordura em produtos estruturados pré-fritos congelados de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.14, n.3, p.172-180, 2011.

BERTAN, L.C. **Desenvolvimento de filmes simples e compostos a base de gelatina, ácidos graxos e breu branco**. Campinas: 2003. 149 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M.; WITEK-KROWIAK, A. Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification – A review. **Chemical Engineering Journal**, v.270, p.244-271, 2015.

BIANCHI, R.F. **Estudo das propriedades eletrônicas e ópticas de filmes e dispositivos poliméricos**. São Carlos: 2002. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BRITO, G.F.; AGRAWAL, P.; M. ARAÚJO, E.; MÉLO, T.J.A. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6, n.2, p.127-139, 2011.

CAMPOS., C.A.; GERSCHENSON, L.N.; FLORES, S.K. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. **Food Bioprocess Technology**, v.4, p.849-875, 2011.

CANEVALORO, J.R.S.V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006.

CARUS, M.; BALTUS, W.; CARREZ, D.; KAEB, H.; RAVENSTIJN, J.; ZEPNIK, S. **Market study and Database on. Bio-based Polymers in the World Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020**. Nova Institute for ecology and innovation, 2013. Disponível em: <http://bio-based.eu/markets/>. Acesso em: 21/06/2015.

CENCI, S.A.; GOMES, C.A.O; ALVARENGA, A.L.B.; JUNIOR, M.F. Boas Práticas de Processamento Mínimo de Vegetais na Agricultura Familiar. In: Felon do Nascimento Neto. (Org.). **Recomendações Básicas para a Aplicação das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabricação na Agricultura Familiar**. 1ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006, v., p. 59-63.

- CORRÊA, S.J.P. **Utilização de filmes a base de pectina contendo extrato de própolis vermelha para recobrimento de sementes de girassol**. Aracaju: 2011. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente). Universidade Tiradentes, Aracaju, 2011.
- DAINELLI, D.; GONTARD, N.; SPYROPOULOS, D.; BEUKEN, E.Z.D.; TOBBACK, P. Active and inteligente food packaging: legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology**, v.19, p.103-112, 2008.
- DAVANÇO, T.; TANADA-PALMU, P.; GROSSO, C. Filmes compostos de gelatina, triacetina, ácido esteárico ou capríco: efeito do pH e da adição de surfactantes sobre a funcionalidade dos filmes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.27, n.2, p.408-416, 2007.
- DENAVI, G.; TAPIA-BLÁCIDO, D.R.; AÑÓN, M.C.; SOBRAL, P.J.A.; MAURI, A.N.; MENEGALLI, F.C. Effects of drying conditions on some physical properties of soy protein films. **Journal of Food Engineering**, v.90, p.341-349, 2009.
- DOBRUCKA, R.; CIERPISZEWSKI, R. Active and Intelligent Packaging Food – Research and Development – A Review. **Polish Journal off Food and Nutrition Sciences**, v.64, n.1, p.7-15, 2014.
- ELLEUCH, M.; BEDIGIAN, D.; ROISEUX, O.; BESBES, S.; BLECKER, C.; ATTIA, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. **Food Chemistry**, v.124, p.411-421, 2011.
- EMAGA, T.H.; ROBERT, C.; RONKART, S.N.; WATHELET, B.; PAQUOT, M. Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. **Bioresource Technology**, v.99, p.4346-4354, 2008.
- EMAMIFAR, A. Advances in nanocomposite technology. **Applications of Antimicrobial Polymer Nanocomposites in Food Packaging**. Cap. 13. University of Kurdistan. Iran, 2011.
- ESPITIA, P.J.P.; DU, W.X.; AVENA-BUSTILLOS, R.J.; SOARES, N.F.F.; MCHUGH, T.H. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. **Food Hydrocolloids**, 35, p.287-296, 2014.
- EUROPEAN BIOPLASTICS. **Frequently asked questions on bioplastics**. FAQ, jan. 2015. Disponível em: http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2014/01/EuBP_FAQ_bioplastics_2014.pdf. Acesso em: 21/06/2015.
- FARIAS, M.G.; FAKHOURI, F.M.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malphigia emarginata* D.C.). **Química Nova**, v.35, n.3, p.546-552, 2012.
- FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 203p., 2006.
- FERNANDES, F.A.N.; RODRIGUES, S.; LAW, C.L.; MUJUMDAR, A.S. Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review. **Food Bioprocess Technology**, v.4, p.163-185, 2011.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SENDRA-NADAL, E.; NAVARRO, C.; SAYAS, E.; VIUDA-MARTOS, M.; ALVAREZ, J.A.P. Storage stability of a high dietary fibre powder from orange by-products. **International Journal of Food Science and Technology**, v.44, p.748-756, 2009.

FOUST, A.S.; WENZEL, I.A.; CLUMP, C.W. Princípios de operações unitárias, 2. ed. Rio de Janeiro: ITC, p. 670, 2008.

GALLO, J.A.Q.; DEBEAUFORT, F.; CALLEGARIN, F.; VOILLEY, A. Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based edible films. **Journal of Membrane Science**, v.180, p.37-46, 2000.

GARMUS, T.T.; BEZERRA, J.R.M.V.; RIGO, M.; CÓRDOVA, K.R.V. Elaboração de biscoitos com adição de farinha de casca de batata (*Solanum tuberosum* L.). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.3, n.2, p.56-65, 2009.

GHASEMLOU, M.; KHODAIYAN, F.; OROMIEHIE, A.; YARMAND, M.S. Characterization of edible emulsified films with low affinity to water based on kefir and oleic acid. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.49, p.378-884, 2011.

GÓMEZ-ESTACA, J.; LÓPEZ-DE-DICASTILLO, C.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; CATALÁ, R.; GAVARA, R. Advances in antioxidant active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v.35, p.42-51, 2014.

GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J.L.; GUILBERT, S. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapor permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v.29, n.1, p.39-50, 1994.

GUO, X.; HAN, D.; XI, H.; RAO, L.; LIAO, X.; HU, X.; WU, J. Extraction of pectin from navel orange peel assisted by ultra-high pressure, microwave or traditional heating: A comparison. **Carbohydrate Polymers**, v.88, p.441-448, 2012.

HAN, J.H. **A review of food packaging technologies and innovations**. In HAN, J.H. (Ed. 2). *Innovations in food packaging*. San Diego, USA: Academic Press. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123946010000011>>. Acesso em: 28/06/15.

HOPEWELL, J.; DVORAK, R.; KOSIOR, E. Plastics recycling: challenges and opportunities. **Philosophical Transactions of Royal Society B**, v.364, p.2115-2126, 2009.

HORN, M.M. **Blendas e filmes de quitosana/amido de milho: estudo da influência da adição de polióis, oxidação do amido e razão amilose/amilopectina nas suas propriedades**. São Carlos: 2012. Tese (Doutorado em Química). Universidade de São Paulo – Instituto de Química de São Carlos. São Carlos, 2012.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, p.1020. 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados de safra de abacaxi no Brasil. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA)**, abril/2015. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=1&z=t&o=26&u2=1&u3=30&u4=1&u1=1>>. Acesso em: 26/05/2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal - Culturas Temporárias e permanentes, 2013**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2011/default.shtm>>. Acesso em: 28/06/2015.

INFANTE, J.; SELANI, M.M.; TOLEDO, N.M.V.; SILVEIRA-DINIZ, M.F.; ALENCAR, S.M.; SPOTO, M.H.F. Atividade antioxidante de resíduos. **Alimentos e Nutrição – Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v.24, n.1, p.87-91, 2013.

JANEBRO, D. I.; QUEIROZ, M.S.R.; RAMOS, A.T.; SABAA-SRUR, A.U.O.; CUNHA, M.A.L.; DINIZ, M.F.F.M. Efeito da farinha da casca do maracujá- amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) nos níveis glicêmicos e lipídicos de pacientes diabéticos tipo 2. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.18, p.9, 2008.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 194 p. 2013.

KERRY, J.P. **New packaging technologies, materials and formats for fast-moving consumer products**. In HAN, J.H. (Ed.), *Innovations in food packaging*. San Diego, USA: Academic Press, 2 ed. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123946010000230>>. Acesso em: 30/06/15.

KOZEMPEL, M.; TOMASULA, M. Development of a Continuous Process To Make Casein Films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.52, p.1190-1195, 2004.

KRUIJFY, N.; BEESTY, M.V.; RIJKY, R.; SIPIILÄINEN-MALM, T.; LOSADA, P.P.; MEULENAER, B.D. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. **Food Additives and Contaminants**, v.19, Supplement, p.144-162, 2002.

KUKIC, J.; POPOVIC, V.; PETROVIC, S.; MUCAJI, P.; CIRIC, A.; STOJKOVIC, D.; SOKOVIC, M. Antioxidant and antimicrobial activity of *Cynara cardunculus* extracts. *Food Chemistry*, p.861–868, 2008.

KULKARNI, S.G.; VIJAYANAND, P. Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). *LWT - Food Science and Technology*. V.43, p.1026–1031, 2010.

LAGHA-BENAMROUCHE, S.; MADANI, K. Phenolic contents and antioxidant activity of orange varieties (*Citrus sinensis* L. and *Citrus aurantium* L.) cultivated in Algeria: Peels and leaves. **Industrial Crops and Products**, v.50, p.723-730, 2013.

LINO, R.C. **Desenvolvimento de filmes de metilcelulose incorporados por nanopartículas de poli-ε-caprolactona/β-caroteno**. Florianópolis: 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

LÓPEZ-DE-DICASTILLO, C.; GÓMEZ-ESTACA, J.; CATALÁ, R.; GAVARA, R.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P. Active antioxidant packaging films: Development and effect on lipid stability of brined sardines. **Food Chemistry**, v.131, p.1376-1384, 2012.

MANO, E.B.; MENDES, L.C. **Introdução a polímeros**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

MARINIELLO, L.; DI PIERRO, P.; ESPOSITO, C.; SORRENTINO, A.; MASI, P.; PORTA, R. Preparation and mechanical properties of edible pectin/soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase. **Journal of Biotechnology**, v.102, p.191-198, 2003.

MASTROMATTEO, M.; MASTROMATTEO, M.; CONTE, A.; NOBILE, M.A.D. Advances in controlled release devices for food packaging applications. **Trends in Food Science & Technology**, v.21, p.591-598, 2010.

MELO, N.R. **Migração de plastificantes e avaliação de propriedades mecânicas de Poli(cloreto de vinila) para alimentos**. Viçosa: 2007. 138f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

MENSITIERI, G.; DI MAIO, E.; BUONOCORE, G.G.; NEDI, I.; OLIVIERO, M.; SANSONE, L.; LANNACE, S. Processing and shelf life issues of selected food packaging materials and structures from renewable resources. **Trends in Food Science & Technology**, v.22, n.2-3, p.72-80, 2011.

MURILLO-MARTÍNEZ, M.M.; PEDROZA-ISLAS, R.; LOBATO-CALLEROS, C. MARTÍNEZ-FEREZ, A.; VERNON-CARTER, E.J. Designing W1/W2 double emulsions stabilized by protein-polysaccharide complexes for producing edible films: Rheological, mechanical and water vapour properties. **Food Hydrocolloids**, v.25, p.577-585, 2011.

NERIN, C.; TOVAR, L.; SALAFRANCA, J. Behaviour of a new antioxidant active film versus oxidizable model compounds. **Journal of Food Engineering**, v.84, p.313-320, 2008.

NIGOGHOSSIANA, K.; SANTOS, M.V.; BARUDA, H.S.; SILVA, R.R.; ROCHAB, L.A.; CAIUTC, J.M.A.; ASSUNÇÃO, R.M.N.; SPANHELE, L.; POULAINF, M.; MESSADDEQA, Y.; RIBEIRO, S.J.L. Orange pectin mediated growth and stability of aqueous gold and silver nanocolloids. **Applied Surface Science**, v.341, p.28-36, 2015.

OLIVEIRA, M.C.B.R. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil**. Rio de Janeiro: 2012. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

O'SHEA, N.; ARENDT, E.K.; GALLAGHER, E. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.16, p.1-10, 2012.

- PASCALL, M.A.; LIN, S.J. The Application of Edible Polymeric Films and Coatings in the Food Industry. **Journal Food Processing & Technology**. v.4, n.2, 2013.
- PEELMAN, N.; RAGAERT, P.; MEULENAER, B.; ADONS, D.; PEETERS, R.; CARDON, L.; IMPE, F.V.; DEVLIEGHER, F. Application of bioplastics for food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v.32, p.128-141, 2013.
- PINHO, E. Biopolímeros: “plásticos” de grãos e tubérculos. **A Lavoura**. Ano 115, nº 690, p.22-24, 2012.
- PLASTICS EUROPEAN. **Plastics - the Facts 2011. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2010**. Association of Plastics Manufacturers. Belgium, p.31, 2011. Disponível em: www.plasticsconverters.eu. Acesso em: 10/05/2015.
- POLL, H.; KIST, B.B.; SANTOS, C.E.; REETZ, E.R.; CARVALHO, C.; SILVEIRA, D.N. **Anuário brasileiro da fruticultura 2013**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, p.136, 2013.
- REALINI, C.E.; MARCOS, B. Active and Intelligent packaging systems for a modern society. **Meat Science**, v.98, p.404-419, 2014.
- REBELLO, L.P.G.; RAMOS, A.M.; PERTUZATTI, P.B.; BARCIA, M.T.; CASTILLO-MUÑOZ, N.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Flour of banana (*Musa AAA*) peel as a source of antioxidant phenolic compounds. **Food Research International**, v.55, p.397-403, 2014.
- RESTUCCIA, D.; SPIZZIRRI, U.G.; PARISI, O.I.; CIRILLO, G.; CURCIO, M.; IEMMA, F.; PUOCI, F.; VINCI, G.; PICCI, N. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. Review. **Food Control**, v.21, p.1425-1435, 2010.
- REXAM. **Consumer packaging report 2011/12: packaging unwrapped**. London: rexa, 45p. 2011. Disponível em: http://www.rexa.com/files/pdf/packaging_unwrapped_2011.pdf. Acesso em: 17/06/2015.
- REZZADORI, K.; BENEDETTI, S.; AMANTE, E.R. Proposals for the residues recovery: Orange waste as raw material for new products. **Food and Bioproducts Processing**, v.90, p.606-614, 2012.
- RIVAS, B.; TORRADO, A.; TORRES, P.; CONVERTI, A.; DOMINGUÉX, J.M. Submerged citric acid fermentation on orange peel autohydrolysate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.56, 2008.
- ROSA, M.F.; SOUZA FILHO, M.S.M.; FIGUEIREDO, M.C.B.; MORAIS, J.P.S.; SANTAELLA, S.T., LEITÃO, R.C. In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – SIGERA, 2., 2010. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2011.
- RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M.; SAMPAIO, C.G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.D. Metodologia Científica: **Determinação da**

atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS +. Comunicado técnico. Embrapa. Fortaleza - CE, 2007.

SANT ANNA, J.P. **Perspectiva 2015 – Plástico: Plástico avança nas embalagens.** Plástico Moderno, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.plastico.com.br/plastico/17312/perspectivas-2015-plasticos-plastico-avanca-nas-embalagens/>. Acesso em: 17/06/2015.

SANTOMAURO, A.C. Embalagem – Stand up pouch e flexíveis conquistam mais aplicações. **Revista Plástico Moderno.** n.481, 2014. Disponível em: <http://www.plastico.com.br/revistas/pm481/index.html#/0>. Acesso em 18/06/2015.

SANTOS, C.E.; KIST, B.B.; CARVALHO, C.; REETZ, E.R.; DRUM, M. **Anuário brasileiro da fruticultura 2013.** Santa Cruz do Sul : Editora Gazeta Santa Cruz, 136p, 2013.

SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; REGO, R.A. **Brasil pack trends 2020.** 1ª ed. Campinas: ITAL, 231 p., 2012.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Novel antioxidants in food quality preservation and health promotion. **European Journal of Lipid Science & Technology**, v.112, p.930-940, 2010.

SHEN, L.; HAUFE, J.; PATEL, M.K. **Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. PRO-BIP 2009.** Group Science, Technology and Society (STS). Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation. Utrecht University. Utrecht, The Netherlands, 2009.

SILVA, A.C.; JORGE, N. Bioactive compounds of the lipid fractions of agro-industrial waste. **Food Research International**, v.66, p.493-500, 2014.

SILVA, C.R.; GOMES, T.F.; ANDRADE, G.C.R.M.; MONTEIRO, S.H.; DIAS, A.C.R.; ZAGATTO, E.A.G.; TORNISIELO, V.L. Banana peel as an adsorbent for removing atrazine and ametryne from waters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p.2358-2363, 2013.

SIRACUSA, V.; ROCCULI, P.; ROMANI, S.; DALLA ROSA, M. Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v.19, p.634-643, 2008.

SOARES, N.F.F.; SILVA, W.A.; PIRES, A.C.S.; CAMILLOTO, G.P.; SILVA, P.S. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Revista Ceres**, v.56, n.4, p.370-378, 2009.

SOBRAL, P.J.A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1-14, 2000.

THAKHIEW, W.; CHAMPAHOM, M.; DEVAHASTIN, S.; SOPONRONNARIT, S. Improvement of mechanical properties of chitosan-based films via physical treatment of film-forming solution. **Journal of Food Engineering**, v.158, p.66-72, 2015.

THARANATHAN, R.N.; Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in Food Science & Technology**, v.14, p.71-78, 2003.

WALLIS, G.; WEIL, D.; MADI, L. F. C. O Mercado de Embalagem no Brasil. In: **BRASIL pack trends 2020**. Campinas: ITAL, cap. 1, p. 9-39, 2012.

YOSHIDA, C.M.P.; ANTUNES, A.J. Aplicação de filmes protéicos à base de soro de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.2, p.420-430, 2009.

ANEXO

ARTIGO PUBLICADO: A.S.B. de Oliveira and N.R. de Melo. Market and sustainability of food packaging: a review. **B.CEPPA**, Curitiba, v. 36, n. 1, jan./jun. 2019.

MARKET AND SUSTAINABILITY OF FOOD PACKAGING: A REVIEW

ANA SÍLVIA BORONI DE OLIVEIRA*
NATHÁLIA RAMOS DE MELO**

ABSTRACT

Food packaging is an essential tool in the food industry for protecting products from environmental interference that may be detrimental to the product and to the consumers' health. With the growth of the production and use of materials from fossil sources, as well as the lack of adequate programs for post-consumer waste management, there has been a deliberate disposal of these materials into the environment, resulting in ecological impacts and consequences for human health. In this sense, renewable sources have gained prominence and biologically originated materials are one of the main alternatives for new applications in packaging. The global packaging market is growing and stimulates the development of new technologies to meet the industrial demand.

KEYWORDS: Packaging materials; Solid wastes; Biopolymer; Bioplastic.

1 INTRODUCTION

The need to use packaging for properly storing, transporting and commercializing products has existed since the emergence of large technological processes. Food packaging has as main objective protecting products from factors such as light, oxygen and humidity, as well as mediating the communication between the consumer and the product regarding its characteristics (Realini and Marcos, 2014).

Packaging is also tasked with attracting the consumer's attention and participating in the product's sales strategies (Kerry *et al.*, 2006). Thus, packaging can be used as an important and decisive tool of competitive advantage in the food industry (Soares *et al.*, 2009).

Large packaging markets emerge around the world, showing their technological growth (Pellegrino, 2016). Approximations indicate that the highest growth rates for this market should be observed in developing countries, with the food and beverage segment assuming an important position in their sales share (Claire and Sarantópoulos, 2012).

With the advance of the production and use of plastic packaging, from fossil sources, as well as the difficulty of proper management of post-consumer waste, there has been a deliberate disposal of these materials in the environment, resulting in environmental impacts and consequences for human health. In this sense, concerns on environmental issues have been raised about the use of non-biodegradable and non-renewable materials applied in packaging (Khalil *et al.*, 2016). A useful technique capable of quantifying the impact of a product and its life cycle is the Life Cycle Assessment (LCA), which considers all its stages, from the extraction of raw materials to the elimination or recovery of the material (Lewis *et al.*, 2010).

A more sustainable future can be achieved through products that cause less environmental impact (Ljungberg, 2007). In this way, biologically derived materials and the renewable sources have gained prominence in the replacement of packaging materials derived from fossil raw materials, being one of the main alternatives.

Therefore, the objective of this work was to address and discuss packaging concepts and applications, as well as their position in the world market and the sustainability requirements involved throughout their production cycle, highlighting biopolymers as an alternative to materials made from fossil sources.

2 BACKGROUND AND THEORETICAL FRAMEWORK

2.1 FOOD PACKAGING

Packaging is an instrument of society's access to consumer goods in a safe, practical and economically viable way, and should not be seen exclusively as an activity from the industry to market its products. Its technical and legal requirements make it possible to provide product protection, logistics, distribution, sales and consumption viability, while at the same time meeting the country's social, cultural and economic standards (Associação Brasileira de Embalagem - ABRE, 2011).

Food packages can be defined as articles in contact with food, intended to contain them from their manufacture till delivery to the consumer and protect them from external agents, changes and contaminations, as well as adulterations (IAL, 2008). Overall, they are responsible for maintaining the benefits of food processing, increasing its commercial validity, and enabling it to be transported and distributed over long distances without compromising its characteristics and security (Marsh and Bugusu, 2007).

Maintaining the products' quality and safety is a desired effect and is obtained through the functions assigned to food packages. These are traditionally defined as passive barriers, which must contain and protect the product against mechanical and environmental hazards, as well as communicate, identifying the content, and assist in the sale. Hence, it is essential that the packaging must be able to control factors such as moisture, oxygen and light, and serve as a barrier against microorganisms (Fellows, 2006; Jorge, 2013).

Packaging technologies are important to protect foods against microbial, biochemical and physical effects of environmental influences. This involves delayed deterioration, increased commercial validity, and maintenance of the quality of the packaged foods (Karakaya and Duman, 2016).

In its passive characteristic, a safety criterion for food products packaged by traditional materials is related to the packaging/product migrations during their contact time. The emphasis given to the problems arising from these interactions is related to the toxic potential of migrants and the changes in the food's characteristics (IAL, 2008). Thus, the materials and constituents of traditional packaging must have characteristics close to the inert

ones, with none or minimal migration to the product (Dainelli *et al.*, 2008; Abreu *et al.*, 2012; Jorge, 2013).

Food packaging technology is constantly evolving in response to the growing challenges of modern society (Kerry, 2014). The needs and demands of consumers for fresh, tasty, convenient products, with their natural characteristics preserved and a long-term shelf-life, have been responsible for driving innovations in the food and beverage packaging industry (Kruijf *et al.*, 2002; Emamifar, 2011; Dobrucka and Cierpiszewski, 2014). In addition, packaging functions have also progressed to include aspects of product marketing, material reduction, safety, tampering, and environmental problems (Han *et al.*, 2014).

As a result, in the face of the competitive market, packages have become strategic for business competitiveness in terms of packaging, distribution and sales efficiency and essential for optimizing the use of food and inputs demanded by society as well as reducing global waste, in the face of population growth (Pellegrino, 2016).

2.2 THE PACKAGING MARKET

Packaging is considered to reflect the culture and habits of a society and its stage of economic, social and environmental development. At the same time, it is considered as the thermometer of an economy, helping to gauge the volume of the activity of the productive sector. Worldwide, it moves more than US\$ 500 billion, between 1% and 2.5% of each country's Gross Domestic Product (GDP). Currently in Brazil, it moves around R\$ 47 billion and generates more than 200 thousand direct and formal jobs (Pellegrino, 2016).

In the developed economies, there are several social and market trends that have impacted the packaging sector, such as the increase of smaller families and the consequent demand for smaller packaging formats, as well as the increasing requirement of convenience and consumer friendliness (Campos, 2013).

The overall volume of packaging units was 3.576 trillion in 2015 and by 2018 this number is expected to reach 4.029 trillion units. The largest volumes are composed of flexible packaging, with 36% of the units, paper and cardboard (24%) and rigid plastics (20%). The largest end markets are food (40%), soft drinks (26%) and tobacco (12%) (Clearthought, 2016).

Food makes up a class of products typically consumed at least 3 times a day, consequently, its packaging is responsible, in volume, for almost two-thirds of the total packaging waste produced. In addition, food packages accounts for about 50%, in weight, of the total commercialized packaging (Marsh and Bugusu, 2007).

According to the Brazilian Association of Food Industries, in 2012, the food and beverage industries were responsible for producing about 9% of Brazil's Gross Domestic Product (GDP) and, in addition of creating an increasing number of jobs, they generated a balance higher than that created by the rest of the economy (CNI, 2012). According to Jorge (2013), this is because changes in dietary habits due to lifestyle have led to an increase in the supply of processed foods. Associated with this evolution, the requirements of the distribution of food systems have also favored the appearance of new packaging.

The growth of the global packaging market is driven by a number of general trends such as increasing urbanization and rapid development in emerging economies including China, India, Brazil and some Eastern European countries. The improvement of living conditions and the increase in personal income in developing regions stimulate the expansion of the consumption of products in their markets, resulting in the growth of the packaging industries (Sarantópoulos and Rego, 2012; Campos, 2013). Thus, the economic development

of Brazil, as well as the retraction of consumption and production of non-durable goods, are said to be responsible for the growth of packaging production (ABRE, 2015).

The global packaging market has reached \$ 812 billion in 2014, an increase of 2.8% over 2013, according to Smithers Pira, who expects to see an annual growth of 3.5% by 2020 and sales of \$ 997 billion dollars (Smithers Pira, 2015, Clearthought, 2016).

The gross value of packaging production in the Brazilian industry in 2014 increased by approximately 6.17% compared to 2013. The largest share in this value is represented by plastics with 39.07%, followed by the sectors of cellulose, metallic, glass and wood packaging (ABRE, 2015).

Packaging plays a key role in the food industry due to its multiple functions. Its importance, besides containing the product, concerns the preservation and maintenance of quality and safety. The largest share of world sales of packaging is attributed to the divisions of Food, with 51% of the total market value, and Beverages with 18% (Rexam, 2011, Jorge, 2013).

The packaging segment is perceived as promising by experts from the plastic industry. The characteristics of plastic are highlighted as being a more versatile raw material than other materials, making it possible to obtain formats with attractive and functional designs that are highly sought after by industry clients (Santana, 2015).

One of the main reasons, from the many that justify the greater use of plastic in the manufacture of food packaging, is its low cost in relation to other materials, especially in the logistic phase. In addition, plastic packages provide the necessary protection for food, allow its visualization by the consumer and enable elaborate prints (Santomauro, 2015). In the beverage sector, due to their barrier properties and gas impermeability characteristics, plastic bottles do not allow the gas' escape prior to consumption, making them suitable for carbonated soft drinks (ABIPLAST, 2014).

With this, the plastic packaging market is in full expansion. Among its major users are the markets for biscuits, soft drinks, coffee and snacks, for flexible packaging, and the markets for soft drinks, mineral water and edible oils for rigid packaging (Sarantópoulos and Rego, 2012).

In 2010, the global production of plastics reached 265 million tonnes (Plastics Europe, 2011). Already in 2013, with continuous growth for more than 50 years, global production rose to 299 million tonnes, an increase of 3.9% over 2012 (Plastics Europe, 2015).

According to Santomauro (2015), due to the additional appeals of handling and practicality, if the current pace of expansion of these synthetic materials' application in food packaging is maintained, it is possible to predict that food packaging will become synonymous with packages made of multi-layered plastic.

Nevertheless, the increasing global production of non-biodegradable plastics and the lack of adequate post-consumer management programs result in an inappropriate disposal in the environment. As a result, they cause environmental impacts, due to their high degradation resistance, and may even affect human health (Brito *et al.*, 2011; Oliveira, 2012).

2.3 PACKAGING SUSTAINABILITY

The generation of municipal solid waste (MSW) increases with population expansion and economic development, thus presenting several challenges. With the advances in the production and use of packages, these make up a significant part of MSW, which has caused increased environmental concerns (Davis and Song, 2006).

Consisting of materials such as glass, metal, plastic and paper, waste packages require careful planning, funding, collection and transportation (Marsh and Bugusu, 2007).

Inappropriate management and deliberate disposal of these materials in the environment, especially those of fossil origin, result in environmental impacts and health problems. In this sense, there is an increasing urgency in defining environmentally friendly materials and creating advanced technology to develop sustainable packaging (Khalil *et al.*, 2016).

Correspondingly, the decrease in the availability of fossil raw materials for packaging and the scarcity of energy resources over the years requires the search for alternatives to materials and production methods with a view to sustainability (Ljungberg, 2007). Thus, packaging technology should balance food protection with other issues such as energy and materials costs, increased social and environmental awareness and the strict regulations on pollutants and municipal solid waste disposal (Marsh and Bugusu, 2007).

Several organizations establish definitions for sustainable packaging and stipulate indicators and metrics to measure the sustainability of packaging (Grönman *et al.*, 2012). In a simplified way, one can define a sustainable product as one that causes the least possible impact on the environment throughout its life cycle (Ljungberg, 2007). Hence, packaging must be designed, produced and commercialized in a way that allows its reuse or recovery as energy or material, minimizing the environmental impact in case it is discarded (Grönman *et al.*, 2012).

The principles of sustainable packaging, according to Khalil *et al.* (2016) are four: the functionality of packaging materials, to which materials must support sustainable development while effectively protecting the products' quality; the recovery of materials to minimize the generation of packaging waste, which is seen as a challenge; the materials used for the packages must be reused continuously with minimal material degradation; the materials used in packaging must be clean and safe and not present any danger to human health or to the ecosystem.

USA's Sustainable Packaging Coalition (SPC) characterizes sustainable packaging with the following criteria: it is beneficial, safe and healthy for individuals and communities throughout its life cycle; it meets market requirements for performance and cost; it is originated, manufactured, transported and recycled using renewable energy; it optimizes the use of renewable or recycled raw materials; it is manufactured using clean technologies and better practices; it is made of favorable materials throughout the life cycle; it is physically designed to optimize materials and energy; it is effectively recovered and used in biological and/or industrial closed loop cycles (Green Blue, 2011).

In order to standardize criteria, the International Organization for Standardization (ISO) works on the implementation of international parameters for packaging, which guard source reduction, reuse, recycling, energy recovery, chemical recovery, composting and biodegradation (Roos, 2010a).

In this sense, reducing the impact of packaging on the environment does not necessarily correspond to total sustainability. A complete analysis should aim to minimize the impacts of the production chain as a whole.

To optimize the product-packaging system, it is necessary to understand its chain and identify its main impacts, which can be done using the qualitative or quantitative concepts of the life cycle. "Life Cycle Thinking" represents the basic qualitative concept of assessing the entire life cycle of the production system. Its application in the development of more sustainable products provides opportunities for improvements related to the environmental performance of the product, from the extraction of natural resources, through processing, reduction of emissions, packaging optimization and transportation, consumption, till the final disposal. Conversely, the purpose of the LCA is to quantitatively assess the main environmental impacts of a product's system. It is a technique for evaluating the environmental performance of a given product, based on its function and including the

identification and quantification of the energy and raw materials used at each stage of its production cycle (Karaski *et al.*, 2016).

The environmental impacts of a package are largely determined by the transformation of materials and generation of energy at all stages of its life cycle. These also cover the use of the packaging and its disposal, consequently, it is important to consider all stages of its life cycle and how they can affect the environment. Different environmental criteria can be considered by evaluating improvements under a wide variety of potential impacts through LCA, such as: Reduction of mass or volume of the package; Improvement of energy efficiency in the manufacturing process of packaging or definition of new production and recycling processes; Prolongation of the life of the package and the product; Choice of raw materials of lower environmental impact, and compatible with each other in terms of recycling or with their separation facilitated (ABRE, 2006).

Faced with so many requirements to be met, complete sustainability can hardly be achieved for products and packaging, however, the attempt to achieve greater sustainability is necessary to preserve the planet. In this sense, studies, research, and information dissemination are very important for the future, especially as the market's demands in developing sustainable products has grown more and more (Ljungberg, 2007).

2.4 ENVIRONMENTAL ASPECTS IN PACKAGING PRODUCTION

The use of non-biodegradable polymer materials from fossil sources has become a problem due to the increasing number of non-appropriate discards and the long degradation time of these materials in the environment (Brito *et al.*, 2011).

The packaging development process involves several aspects that must be observed: technique, production and functionality; aesthetics; regulations, legislation and certification; market and economy; and environment (ABRE, 2011). Thus, environmental concepts must reconcile with the primary functions of packaging, packing and protecting products, providing adequate distribution, conservation and consumption of these products (Marsh and Bugusu, 2007; Pellegrino, 2016).

The environmental aspects and impacts caused by the manufacture of packaging are inherent to the elaboration of raw materials and inputs, transportation, production energy, waste generation, among others. The process of integrating these aspects into the design and development of the packages is continuous and flexible, promoting creativity and maximizing innovations and opportunities for the environmental improvement of these products (ABRE, 2006).

Currently, most materials used in packaging for food, beverages, medical and pharmaceutical products, among others, are not degradable or renewable, raising concerns about environmental pollution, especially due to their inappropriate disposal and long decomposition time (Brito *et al.*, 2011; Khalil *et al.*, 2016).

Concomitant to this, with increases in fossil fuel prices and social awareness, changes in the use of polymers refer to an era of bio-sustainability in which bioplastics are reemerging as a key substrate in the packaging industry (Smither Pira, 2013). In parallel, current innovation trends and environmental regulations pressure the extremities of the packaging supply chain, requiring large investments by the manufacturers (Clearthought, 2016).

As a result, the market for sustainable packaging shows a high growth, which is said to be faster than other segments of the packaging industry (Roos, 2010b). The goal is to incorporate functional and innovative materials into packaging that could promote economic and environmental health. Packaging sustainability is often considered as a marketing tool to

promote and distinguish a new packaging material, however, this is a much broader concept theme (Khalil *et al.*, 2016).

Consequently, the demands to explore sustainable and environmentally friendly materials with superior physical, mechanical and barrier properties is increasing. In this sense, numerous studies have been carried out on the use of biologically based materials in the search for the development of sustainable packaging materials (Khalil *et al.*, 2016).

2.5 POLYMERS AND BIOPOLYMERS AS PACKAGING MATERIALS

Packaging materials can be composed of polymers, which are macromolecules with chemical units, “mers”, linked by covalent factors, repeated along the chain, whose number is called the degree of polymerization of the polymer chain. Among them is plastic, a material that, although being solid in its final state, can become fluid and moldable at some stage of its processing by isolated or joint action of heat and pressure (Mano and Mendes, 2004).

The term "plastic" is used to denote materials based on synthetic or natural organic polymers, with a high molecular weight, which can be molded in various ways by the aid of heat and pressure (Sarantópoulos *et al.*, 2002, Jorge, 2013). Plastic materials used in packaging are diverse in terms of chemical structure and have varying properties depending on the processing, the incorporated additives and the combination with other polymers (Jorge, 2013).

According to Hopewell *et al.* (2009), about 4% of the world's production of oil and gas, non-renewable resources, is used in the production of plastic polymers, with 3-4% being used to supply energy in their manufacture.

As a substitute for these raw materials, renewable sources have gained prominence because they have a shorter life cycle (Brito *et al.*, 2011) and biopolymers are one of the main alternatives to these petroleum derived materials (Pinho, 2012).

Biopolymers are polymers or copolymers produced from raw materials from renewable sources, such as plants, or produced by microorganisms (ABNT NBR 15448-1, 2008). Currently, the main sources of the biomass being used in the production of bio-based plastics come from cereals (corn), sugarcane, potatoes or castor oil. Still, it is expected that other resources, such as cellulose and crop residues, will have greater importance in the future (European Bioplastics, 2015).

Thus, bioplastics are defined as a family of diverse materials which, in general, are partially or totally based on natural resources (European Bioplastics, 2015). They have received special attention because they are an alternative for the reduction of petroleum dependence and have the potential to reduce the environmental impacts from the packaging sector (Sarantópoulos and Rego, 2012).

The first cellulosic-based artificial thermoplastic polymer was developed in the 1860s, although it was not used for commercial production, and many inventions related to biologically based polymers were made in the 1930s and 1940s. Yet, there has been a revival of biologically based plastic polymers in the past two decades (Shen *et al.*, 2009).

According to Mensitieri *et al.* (2011), polymer materials derived from renewable resources are classified, regarding the production method or their source, in: Polymers directly extracted or removed from biomass, such as proteins and polysaccharides; Polymers produced by classical chemical synthesis from renewable biologically-based monomers such as polylactic acid (PLA); and, Polymers produced by microorganisms or genetically modified bacteria, such as polyhydroxyalkanoates and bacterial cellulose.

A desirable feature to biopolymers is biodegradability or composting, which is an attribute related to their degradability under the action of living elements (Franchetti e

Marconato, 2006). The term biodegradable defines all materials able of undergoing decomposition under predominance of enzymatic action of naturally occurring microorganisms, generating carbon dioxide, water, methane, inorganic compounds or biomass. While the compostability of a biopolymer, in addition to referring to this same process of biological degradation, occurs faster leaving no visible or toxic residues in the environment (ASTM, 2004; Brito *et al.*, 2011).

The fact of coming from a renewable source, however, does not necessarily result in the biopolymer being biodegradable or compostable, since this characteristic is related to the chemical structure of the materials and the type of chemical bonding. Thus, natural synthetic polymers based on carbon, such as starch, cellulose and lignin, can be biodegradable and compostable or deprived of this property due to chemical modification, such as polymerization (Siracusa *et al.*, 2008).

As regards food packaging applications, some tribulations are presented when these polymers are processed with traditional technologies and the performance of their functional and structural properties is inferior (Mensitieri *et al.*, 2011). Therefore, according to Peelman *et al.* (2013), even with their potential for the packaging industry, the evaluation and specific verification of their functional properties are essential before their application as an alternative to traditional packaging materials.

Bio-based plastics represent an emerging, very dynamic, field with a positive development potential for the future (Shen *et al.*, 2009). According to European Bioplastics (2015), the current market for bioplastics is characterized by its high growth, around 20% to 100% per year, and its diversification. However, bioplastics currently account for only about 1% of the 300 million tonnes of plastics produced worldwide annually.

The global bioplastics production capacity reached 400,000 tonnes in 2009 and a magnitude of \$ 4 billion in 2012. The forecast is for continued growth reaching 3.5 million tonnes in 2020 and representing an annual growth rate of 21.8%. However, for bioplastics to become predominant in the market, improvements in manufacturing processes and cost reduction are still required (Barnett, 2011; Smither Rapra, 2014).

According to Carus *et al.* (2013), bio-based polymers producers estimate that biopolymer production capacity could reach 12 million tonnes by 2020, compared to a total polymers production of 400 million tonnes in the same year, which represents an increase 1.5% to 3% biopolymer production between 2011 and 2020 and indicates a faster growth than overall production.

Nonetheless, the biopolymers' market is incipient in Brazil, being the low level of awareness for their use. In addition, the differences in cost and performance, when compared to conventional resins, are some of the difficulties to be overcome (Brito *et al.*, 2011).

Still, due to their improved access to the raw material and a favorable policy framework, a larger share of investment for this polymer is expected for South America and Asia. Thus, between 2011 and 2020, the participation quotas of these two continents are expected to increase by 5% and 3% respectively, while European and North American quotas are expected to decrease by 6% and 2% respectively, compared to the global investment scenario (Carus *et al.*, 2013).

The concern, however, is that the competitiveness of bioplastics will be impacted by higher prices for agricultural products or that bioplastic crops will lead to higher prices and impacts on food supplies (Barnett, 2011). This is due to the fact that biological resources are mainly used for food, biofuel production, such as bioethanol, and materials (wood and building materials). Thus, there would not be enough available biomass, sustainably produced, to cover all these ever-increasing needs of the world's population (Shen *et al.*, 2009).

Considering this, though, several studies have emerged in order to develop biomaterials from agroindustrial residues as promising materials for applications in food packaging (Marengo *et al.*, 2013; Fai *et al.*, 2015; Barros *et al.*, 2016). Thus, several segments of the market will be benefited, encompassing companies and consumers, in addition to meeting emergency needs related to the environment.

3 CONCLUSION

Food industry is responsible for a large part of the consumption of packages, which is mostly produced with fossil raw materials. The volume of packaging production and consumption has a broad spectrum in the world market, with increasing sales rates and large capital movements. In this sense, it is important to link sustainability efforts with the economic gain of the market, investing in studies on the evaluation of the environmental impacts of commercialized packages and in projects and research that result in biopolymer materials with a more sustainable character. The literary study of the factors involved in the production, market and sustainability of packaging materials becomes important to guide future research that could imply improvements in the sanitary and ecological character of packaging directed to the food industries.

4 REFERENCES

ABIPLAST (Brazilian Association of the Plastic Industry). **2014 Profile of Brazilian Industry of Plastic Material Transformation**. São Paulo-SP, 2014. p.1-62.

ABRE (Brazilian Packaging Association). **ABRE / FGV macroeconomic study on packaging**. 2015. Available in: <<http://www.abre.org.br/eng/sector/presentation/market-data/>>. Access in: 10/06/2016.

ABRE (Brazilian Packaging Association). **Suitability to the Packaging Industry of ABNT ISO/TR 14.062/2004: Environmental management - Integrating environmental aspects into product design and development**. São Paulo-SP, jan. 2006. Available in: <www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=4510>. Access in: 22/09/2016.

ABRE (Brazilian Packaging Association). **Sustainability Guidelines for Packaging & Consumer Goods Productive Chain**. 3 ed. 2011.

ABREU, D.A.P.; CRUZ, J.M.; LOSADA, P.P. Active and Intelligent Packaging for the Food Industry. **Food Reviews International**, v.28, p.146–187, 2012.

ASTM D6400-04. **Standard Specification for Compostable Plastics**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004.

BARNETT, I. **The Global Outlook for Biodegradable Packaging**. Business Insights Ltd. June 2011. Retrieved on June 17, 2016 from website: http://www.sbdi.co.kr/cart/data/info/Business_Insights_The_Global_Outlook_for_Biodegradable_Packaging_Sample.pdf.

BARROS, T.T.; TOSI, M.M.; ASSIS, O.B.G. Use of horticultural chain rejects in the processing of biodegradable plastics. **Industrial Management Journal**. Ponta Grossa, v.13, n.2, p.215-229, jun./aug. 2017.

BRITO, G.F.; AGRAWAL, P.; M. ARAÚJO, E.; MÉLO, T.J.A. Biopolymers, Biodegradable Polymers and Green Polymers. **Electronic Journal of Materials and Processes (REMAP)**. v.6, n.2. p.127-139, 2011.

CAMPOS, C.S. World market the package worth 797 thousand millions euros. **Revipack: Technical Journal of Packaging** (digital edition). v.221, p.18, dez. 2013.

CARUS, M.; BALTUS, W.; CARREZ, D.; KAEB, H.; RAVENSTIJN, J.; ZEPNIK, S. Market study and database on. Bio-based Polymers in the World. Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020. **Nova Institute for ecology and innovation**, v.7, p.1-12, 2013.

CLAIRE, I.G.L.; SARANTÓPOULOS, R.A.R. **Brasil pack trends 2020**. Campinas: ITAL, 1nd ed, p.1-231, 2012.

CLEARTHOUGHT. **Packaging** - The drive towards greater innovation and client preference for global players is leading to rapid consolidation of the sector. **Industrials Insights from Clearwater International**. 2016. Available in: <<http://clearwaterinternational.com/pt-pt/library/packaging-clearthought-2016/>>. Access in: 23/06/2016.

CNI (National Confederation of Industry Brazil). ABIA (Brazilian Association of Food Industries). **Sustainability in the food industry: a vision of the future for Rio + 20**. Brasília: CNI, 2012. 40 p.

DAINELLI, D.; GONTARD, N.; SPYROPOULOS, D.; BEUKEN, E.Z.D.; TOBBACK, P. Active and inteligente food packaging: legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology**, v.19, p.103-112, 2008.

DAVIS, G.; SONG, J.H. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. **Industrial Crops and Products**, v.23, p.147-161, 2006.

DOBRUCKA, R.; CIERPISZEWSKI, R. Active and Intelligent Packaging Food – Research and Development – A Review. **Polish Journal off Food and Nutrition Sciences**, v.64, n.1, p.7-15, 2014.

EMAMIFAR, A. Applications of Antimicrobial Polymer Nanocomposites in Food Packaging. In HASHIM, A. **Advances in Nanocomposite Technology**. InTech, 2011, p.299-318.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Frequently asked questions on bioplastics**. Jan. 2015. Available in: <www.european-bioplastics.org>. Access in: 20/01/2016.

FAI, A.E.C; SOUZA, M.R.A.; BRUNO, N.V.; GONÇALVES, E.C.B.A. Production of edible coating based on fruit and vegetable residues: application on minimally processed carrot (*Daucus carota L.*). **Scientia Agropecuaria**, v.6, n.1, p.59-68, 2015.

FELLOWS, P.J. **Food Processing Technology**. 2nd ed. Porto Alegre: Artmed. 2006.

FRANCHETTI e MARCONATO. Biodegradable polymers – a partial way for decreasing the amount of plastic waste. **New Chemistry**, v.29, n^o.4, p.811-816, 2006.

GREENBLUE. Definition of Sustainable Packaging. **Sustainable Packaging Coalition**. Version 2.0. p.1-10, 2011.

GRÖNMAN, K.; SOUKKA, R.; JÄRVI-KÄÄRIÄINEN, T.; KATAJAJUURI, J.M.; KUISMA, M.; KOIVUPURO, H.K.; OLLILA, M.; PITKÄNEN, M.; MIETTINEN, O.; SILVENIUS, F.; THUN, R.; WESSMAN, H.; LINNANEN, L. Framework for Sustainable Food Packaging Design. **Packaging Technology and Science**. 2012.

HAN, C.; WANG, J.; LI, Y.; LU, F.; CUI, Y. Antimicrobial-coated polypropylene films with polyvinyl alcohol in packaging of fresh beef. **Meat Science**, v.96, p.901-907, 2014.

HOPEWELL, J.; DVORAK, R.; KOSIOR, E. Plastics recycling: challenges and opportunities. **Philosophical Transactions of Royal Society B**, v.364, p.2115-2126, 2009.

IAL (Adolfo Lutz Institute). **Physico-chemical methods for food analysis**. São Paulo: Adolfo Lutz Institute, 2008. p.1020.

JORGE, N. **Food Packaging**. São Paulo: Cultura Acadêmica, Paulista State University. 2013.

KARAKAYA, E.; DUMAN, M. Effect of the packaging on the quality of *Salmo trutta macrostigma* during chilled storage. **International Food Research Journal**, v.23, n.5, p.1911-1917, 2016.

KARASKI, T.U.; RIBEIRO, F.M.; PEREIRA, B.R.; ARTEAGA, L.P.S. **Packaging and Sustainability**: challenges and orientations in the context of the circular economy. Brazilian Packaging Association (ABRE), Environmental Company of Sao Paulo State (CETESB), Packaging Technology Center (CETEA). 1nd ed. São Paulo: CETESB, 2016. 52 p.

KERRY J.P.; O'GRADY M.N.; HOGAN, S.A. Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. **Meat Science**, v.74, p.113-130, 2006.

KERRY, J.P. New packaging technologies, materials and formats for fast-moving consumer products. In Han, J.H. **Innovations in food packaging**. 2nd ed. San Diego, USA: Academic Press, 2014. p.549–584.

KHALIL, H.P.S.A.; DAVOUDPOUR, Y.; SAURABH, C.K.; HOSSAIN, M.S.; ADNAN, A.S.; DUNGANI, R.; PARIDAH, M.T.; SARKER, M.Z.I.; FAZITA, M.R.N.; SYAKIR, M.I.; HAAFIZ, M.K.M. A review on nanocellulosic fibres as new material for sustainable packaging: Process and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.64, p.823–836, 2016.

KRUIJFY, N.; BEESTY, M.V.; RIJKY, R.; SIPILÄINEN-MALM, T.; LOSADA, P.P.; MEULENAER, B.D. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. **Food Additives and Contaminants**, v.19, p.144-162, 2002.

LEWIS, H.; VERGHESE, K.; FITZPATRICK, L. Evaluating the sustainability impacts of packaging: the plastic carry bag dilemma. **Packaging Technology and Science**, v.23, p.145–160, 2010.

LJUNGBERG, L.Y. Materials selection and design for development of sustainable products. **Materials and Design**, v.28, p.466–479, 2007.

MANO, E.B.; MENDES, L.C. **Introduction to polymers**. 2nd ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

MARENGO, V.A.; VERCELHEZE, A.E.S.; MALI, S. Biodegradable composites based on cassava starch and waste from agro-industry. **New Chemistry**, v.36, n.5, p.680-685, 2013.

MARSH, K.; BUGUSU, B. Food Packaging – Roles, Materials, and Environmental Issues. **Journal of Food Science**, v.72, n.3, p.39-55, 2007.

MENSITIERI, G.; DI MAIO, E.; BUONOCORE, G.G.; NEDI, I.; OLIVIERO, M.; SANSONE, L.; LANNACE, S. Processing and shelf life issues of selected food packaging materials and structures from renewable resources. **Trends in Food Science & Technology**, v.22, p.72-80, 2011.

OLIVEIRA, M.C.B.R. **Management of post-consumer plastic waste: prospects for recycling in Brazil**. 2012. 91 f. Msc thesis (Master in Energy Planning). COPPE - Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 2012.

PEELMAN, N.; RAGAERT, P.; MEULENAER, B.; ADONS, D.; PEETERS, R.; CARDON, L.; IMPE, F.V.; DEVLIEGHER, F. Application of bioplastics for food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 32, p.128-141, 2013.

PELLEGRINO, L. Presentation of the packaging sector. **Brazilian Packaging Association (ABRE)**, 2016. Available in: <<http://www.abre.org.br/setor/apresentacaodosetor/aembalagem/>>. Access in: 22/08/2016.

PINHO, E. Biopolymers: “plastics” of grains and tubers. **A Lavoura**, v. 690, p.22-23, 2012.

PLASTICS EUROPE. **Plastics - the Facts 2011**: An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2010. Brussels – Belgium, 2011. 32 p.

PLASTICS EUROPE. **Plastics – the Facts 2014/2015**: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Brussels – Belgium, 2015. 34 p.

REALINI, C.E., MARCOS, B. Active and Intelligent packaging systems for a modern society. **Meat Science**, v.98, p.404-419, 2014.

REXAM. **Consumer packaging report 2011/12: packaging unwrapped**. London: Rexam, 2011. 45 p.

ROOS, G. **Global Sustainable Packaging Market to Double to \$170B by 2014**, Environmental Leader. Jan. 2010a. Available in: <http://www.environmentalleader.com/2010/01/05/pike-research-finds-global-sustainable-packaging-market-to-double-by-2014/>. Access in: 02/09/2016.

ROOS, G. **Global Sustainable Packaging Market to Reach Nearly \$143B by 2015**. Environmental Leader. Aug. 2010b. Available in: <https://www.environmentalleader.com/2010/08/global-sustainable-packaging-market-to-reach-nearly-142b-by-2015/>. Access in: 02/09/2016.

SANTANNA, J.P. **Perspective 2015 - Plastic: Plastic advances in packaging**. Plástico Moderno, São Paulo. 2015. Available in: <http://www.plastico.com.br/perspectivas-2015-plasticos-plastico-avanca-nas-embalagens/>. Access in: 06/06/2016.

SANTOMAURO, A.C. Packaging: Multilayer win foods with aesthetic advantage and high protection. **Modern Plastic Journal**, n.481, p.32-38, 2014.

SARANTÓPOULOS, C.G.L.; OLIVEIRA, L.M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R.M.V.; GARCIA, E.E.C. **Flexible plastic packaging: main polymers and evaluation of properties**. Campinas: Packaging Technology Center (CETEA/ITAL). 2002. 267 p.

SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; REGO, R.A. **Brasil pack trends 2020**. 1nd ed. Campinas: ITAL, 2012. 231 p.

SHEN, L.; HAUFE, J.; PATEL, M.K. **Product overview and market projection of emerging bio-based plastics**. PRO-BIP 2009. Utrecht, The Netherlands.

SIRACUSA, V.; ROCCULI, P.; ROMANI, S.; ROSA, M.R. Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v.19, p.634-643, 2008.

SMITHERS PIRA. **The Future of Bioplastics for Packaging to 2023**. Dec. 2013. Available in: <http://www.smitherspira.com/industry-market-reports/packaging/rigid-packaging/bioplastics-in-packaging>. Access in: 30/09/2016.

SMITHERS PIRA. **The Future of Global Packaging to 2020**. Dec. 2015. 125 p.

SMITHERS RAPRA. **Four key trend driving the global Market for plastic films**. Sep. 2014. Available in: <http://www.smithersrapra.com/resources/2014/september/plastic-films-global-market-trends>. Access in: 20/06/2016.

SOARES, F.F.N.; SILVA, A.W.; PIRES, S.C.A.; CAMILLOTO, P.G.; SILVA, S.P. New developments and applications in food packaging. **Journal Ceres**, v.56, n.4, p.370-378, 2009.