



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA – UNISUL
CAMPUS PEDRA BRANCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

NATHAN ROBERTO LOHN PEREIRA

**MEMBRANAS DE ACETATO DE CELULOSE A PARTIR DA
CELULOSE OBTIDA DO PSEUDOCAULE DA BANANEIRA
INCORPORADAS A EXTRATOS DO FRUTO DE *Butia
catarinensis***

**PALHOÇA
2020**

**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA – UNISUL
CAMPUS PEDRA BRANCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**MEMBRANAS DE ACETATO DE CELULOSE A PARTIR DA
CELULOSE OBTIDA DO PSEUDOCAULE DA BANANEIRA
INCORPORADAS A EXTRATOS DO FRUTO DE *Butia
catarinensis***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Sul de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rachel Faverzani Magnago

NATHAN ROBERTO LOHN PEREIRA

**PALHOÇA
2020**

“Tudo o que temos de decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado” J. R. R. Tolkien.

P49 Pereira, Nathan Roberto Lohn, 1993-

Membranas de acetato de celulose a partir da celulose obtida do pseudocaule da bananeira incorporadas a extratos do fruto de butia catarinensis / Nathan Roberto Lohn Pereira. – 2019.

58 f. : il. color.; 30 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Orientação: Prof. Dr. Rachel Faverzani Magnago

1. Lignocelulose. 2. Resíduos orgânicos. 3. Resíduos agrícolas. 4. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 5. Banana - Produtos. I. Magnago, Rachel Faverzani. II. Universidade do Sul de Santa Catarina. III. Título.

CDD (21. ed.) 658.567



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS –
MESTRADO**

**ATA Nº02/2020 DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO
Defesa PPGCA Nº16**

Aos trinta e um dias do mês de março de dois mil e vinte, às nove horas, por plataforma online, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa de Dissertação de Mestrado de **Nathan Roberto Lohn Pereira**, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, de acordo com o Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA. A comissão avaliadora foi composta pelos seguintes professores: - Dra. Rachel Faverzani Magnago, orientadora e presidente da banca; - Dra. Irene Clemes Kulkamp Guerreiro, avaliadora externa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), presente por videoconferência; - Dra. Josiane Somariva Prophiro, avaliadora interna da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), presente por videoconferência. A dissertação tem como título: **“MEMBRANAS DE ACETATO DE CELULOSE A PARTIR DA CELULOSE OBTIDA DO PSEUDOCÁULE DA BANANEIRA INCORPORADAS A EXTRATOS DO FRUTO DE *Butia catarinensis*”**. Área de concentração: Tecnologia, Ambiente e Sociedade e linha de pesquisa: Tecnologia & Sociedade. Após a apresentação, o mestrando foi arguido pelos professores da banca. Feitos os questionamentos e ouvidas as explicações, a banca avaliadora emitiu o seguinte parecer:

- Aprovado
 Aprovado condicionado
 Reprovado

Obs: Realizar as correções sugeridas pela banca.

Nada mais havendo a tratar, foram encerrados os trabalhos e, após lida, foi a presente ata assinada pelo Mestrando e pelo presidente da sessão em nome dos avaliadores presentes por videoconferência.

Dra. Rachel Faverzani Magnago: Rachel Magnago ,

Dra. Irene Clemes Kulkamp Guerreiro: Rachel Magnago ,

Dra. Josiane Somariva Prophiro: Rachel Magnago ,

Discente Nathan Roberto Lohn Pereira: Nathan R. Lohn Pereira .

Apresentação

Este estudo foi dividido em três capítulos, cada um deles um artigo publicado/submetido a um periódico científico. A reutilização de resíduos gerados pelo cultivo de banana é o tema central que norteia os estudos. No primeiro capítulo, denominado “Potenciais alternativas para reaproveitamento de resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sistemática”, buscou-se saber quais as principais propostas para reaproveitamento dos resíduos da bananicultura presentes em artigos publicados na última década. A extração da celulose para a síntese de derivados foi uma das alternativas identificadas, fomentando a pesquisa que resultou no segundo capítulo deste estudo, “Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura: Uma Revisão Sobre os Processos Químicos de Extração da Celulose”, donde propôs-se identificar quais as principais formas para obtenção da celulose dos resíduos da bananicultura. Assim, possibilitou-se a realização de estudos em laboratório buscando extrair a celulose do pseudocaule da bananeira, que baseou a terceira parte deste trabalho, “Membranas de acetato de celulose a partir da celulose obtida do pseudocaule de bananeira incorporadas a extratos do fruto de *Butia catarinensis*”. A celulose foi extraída e utilizada na síntese de um derivado, o acetato de celulose, material promissor como matéria-prima na produção de embalagens de alimentos. Vale ressaltar que cada capítulo segue a formatação do periódico científico que foi ou será submetido. O primeiro capítulo foi aceito para publicação na Revista Brasileira de Ciências Ambientais. O segundo capítulo foi publicado na Revista Virtual de Química (DOI:10.21577/1984-6835.20190080). O artigo referente ao capítulo final está fase de redação e tradução e será submetido ao periódico *Carbohydrate Polymers*.

Resumo

A banana é a segunda fruta mais consumida no mundo. A bananicultura gera grande quantidade de resíduos lignocelulósicos, como o pseudocaule e as folhas da bananeira, que são descartados majoritariamente nas próprias plantações, caracterizando meios de proliferação de vetores. Estima-se que por ano sejam geradas 220 toneladas de resíduos lignocelulósicos por hectare plantado. Assim, foi realizado um estudo fomentando o reaproveitamento desses resíduos da bananicultura. O estudo é apresentado na forma de três capítulos/artigos, sendo os dois primeiros trabalhos de revisão que fundamentaram o capítulo final, uma pesquisa experimental. O primeiro capítulo, “Potenciais alternativas para reaproveitamento de resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sistemática”, fornece mediante uma revisão exaustiva da literatura alternativas para valorização dos resíduos lignocelulósicos. Dentre eles, destacou-se a síntese de biopolímeros para fabricação de embalagens. O segundo capítulo, “Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura: Uma Revisão Sobre os Processos Químicos de Extração da Celulose” traz através de uma revisão sistemática a hidrólise ácida, hidrólise básica e branqueamento como principais métodos para extração da celulose dos resíduos lignocelulósicos. O capítulo final, “Membranas de acetato de celulose a partir da celulose obtida do pseudocaule de bananeira incorporadas a extratos do fruto de *Butia catarinensis*”, apresenta a caracterização de membranas de acetato de celulose sintetizadas a partir da celulose extraída do pseudocaule da bananeira e incorporadas a extratos do fruto de *Butia catarinensis*. Os extratos do fruto de butiá eram formados por ácidos graxos com potencial ação antimicrobiana e as membranas ativas apresentaram propriedades térmicas, mecânicas e de intumescimento com significativo potencial para o uso em embalagens de alimentos.

Palavras-Chave: resíduos lignocelulósicos; revisão sistemática; embalagem de alimentos; membranas ativas.

Abstract

The banana is the second most consumed fruit in the world. Banana production generates a large amount of lignocellulosic residues, such as the pseudostem and banana leaves, which are mostly discarded in the plantations themselves, characterizing means of vector proliferation. It is estimated that 220 tonnes of lignocellulosic waste are generated each year per hectare planted. Thus, a study was carried out promoting the reuse of these banana residues. The study is presented in the form of three chapters / articles, the first two review works that supported the final chapter, an experimental research. The first chapter, "Potential alternatives for the reuse of banana plant lignocellulosic waste: a systematic review", provides, through an exhaustive literature review, alternatives for the recovery of lignocellulosic waste. Among them, the synthesis of biopolymers for packaging manufacture stood out. The second chapter, "Lignocellulosic Waste from Bananiculture: A Review of Chemical Processes for Cellulose Extraction" brings, through a systematic review, acid hydrolysis, basic hydrolysis and bleaching as the main methods for extracting cellulose from lignocellulosic waste. The final chapter, "Cellulose acetate membranes from cellulose obtained from the banana pseudostem incorporated into extracts from the fruit of *Butia catarinensis*", presents the characterization of cellulose acetate membranes synthesized from the cellulose extracted from the banana pseudostem and incorporated to extracts from the fruit of *Butia catarinensis*. The butia fruit extracts were formed by fatty acids with potential antimicrobial action and the active membranes showed thermal, mechanical and swelling properties with significant potential for use in food packaging.

Keywords: lignocellulosic residues; systematic review; food packaging; active membranes.

Sumário

Capítulo I: Potenciais alternativas para reaproveitamento de resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sistemática

1. Introdução	2
2. Materiais e Métodos	3
3. Resultados e Discussão	4
3.1 Materiais Adsorventes	6
3.2 Biocombustíveis.....	7
3.3 Compósitos e Biopolímeros	7
3.4 Biofertilizantes	8
3.5 Alimento para Ruminantes.....	8
3.6 Papel Condutor e Artesanato.....	8
4. Conclusões	9
Referências	9

Capítulo II: Resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sobre os processos químicos de extração da celulose

1 Introdução	14
2) A Química dos Compostos Lignocelulósicos	15
2.1) Celulose.....	16
3 Biorrefinarias: a valorização dos resíduos lignocelulósicos	18
4) Método	19
5) Resultados	20
5.1) Pré-tratamento: Secagem e Moagem.....	21
5.2) Hidrólise Alcalina	22
5.3) Hidrólise Ácida.....	23
5.4) Hidrólise Enzimática	24
6) Considerações Finais	27
Referências Bibliográficas	28

Capítulo III: Membranas de acetato de celulose a partir da celulose obtida do pseudocaule de bananeira incorporadas a extratos do fruto de *Butia catarinensis*.

1. Introdução	34
2. Materiais e Métodos	35

2.1	Extração e Acetilação da Celulose	35
2.1.1	Extração da Celulose	36
2.1.2	Síntese e Caracterização de Acetato de Celulose (AC).....	37
2.2	Obtenção e caracterização de extratos do fruto do <i>Butia catarinensis</i> ...	38
2.3	Produção de Membranas de Acetato de Celulose.....	38
2.4	Caracterização das Membranas	38
2.4.1	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	38
2.4.2	Análise Termogravimétrica (TGA)	39
2.4.3	Espessura e Resistência Mecânica.....	39
2.4.4	Propriedades de Intumescimento.....	39
2.5	Análise Estatística	40
3.	Resultados e Discussões	40
3.1	Extração e Acetilação da Celulose	40
3.2	Caracterização de extratos do fruto do <i>Butia catarinensis</i>	41
3.3	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier	43
3.3.1	FITR das membranas de AC.....	45
3.4	Análise Termogravimétrica (TGA)	46
3.4	Espessura e Resistência Mecânica	48
3.5	Propriedades de Intumescimento das Membranas.....	49
4.	Conclusão.....	50
5.	Agradecimentos	51
	Referências	51
	Conclusão geral	57

Capítulo I

Potenciais alternativas para reutilização dos resíduos da bananicultura: uma revisão sistemática

Reuse of Banana Lignocellulosic Residues: A Systematic Review

Nathan Roberto Lohn Pereira^{*a}

Dr. Rachel Faverzani Magnago^b

- a. Mestrando no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul), Palhoça, Santa Catarina, Brasil. (ORCID: 0000-0003-4433-7871)
- b. Doutora em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Docente do PPGCA, Unisul, Palhoça, Santa Catarina, Brasil. (ORCID:0000-0001-7306-7984)

* E-mail: <lohnathan@gmail.com>

Resumo

A banana é a segunda fruta mais consumida no mundo. Seu cultivo produz grandes quantidades de resíduos lignocelulósicos, descartados majoritariamente de maneira inadequada. Muitas vezes esses resíduos são potenciais meios de proliferação de vetores, além de contribuir, mediante decomposição, na geração de gases que ocasionam o efeito estufa. Assim, buscou-se identificar através de uma pesquisa sistemática em bases de dados (*Periódicos Capes*, *Science Direct* e *Springer Link*) alternativas para reutilização e consequente valorização desses resíduos. Propôs-se realizar uma análise temporal quantitativa e qualitativa dos artigos selecionados, identificando o número de publicações pôr ano e os periódicos onde foram publicados. Deste modo, identificou-se crescente número de artigos publicados na última década, majoritariamente em periódicos de alto impacto (índice SCImago). Desta forma, constatou-se que a produção de compósitos, biocombustíveis e compostos adsorventes são as principais alternativas para atribuir-se maior valor agregado aos resíduos da bananicultura e para, em consequência, promover seu reaproveitamento.

Palavras-chave: Cultivo de banana; biomassa; produção de compósitos; biocombustíveis; compostos adsorventes.

Abstract

Banana is the second most consumed fruit in the world. Its cultivation produces large amounts of lignocellulosic residues, mostly discarded inappropriately. Many times these residues are potential means of vector proliferation, besides contributing, through decomposition, in the generation of greenhouse gases. Thus, we sought to identify through a systematic search in databases (*Periódicos Capes*, *Science Direct* and *Springer Link*) alternative for reuse and consequent recovery of these wastes. It was proposed to perform a quantitative and qualitative temporal analysis of the selected articles, identifying the number of publications per year and the journals where they were published. Thus, an increasing number of articles published in the last decade were identified, mostly in high impact journals (SCImago index). In this way, it was found that the production of composites, fuels and adsorbent compounds are the main alternatives for attributing greater added value to banana residues and, consequently, promoting their reuse.

Keywords: Banana cultivation; biomass; production of composites; biofuels; adsorbent compounds.

1. Introdução

A Banana (*Musa sp.*) é a segunda fruta mais consumida no mundo, representando 16% da produção mundial de frutas. A produção mundial anual é de aproximadamente 114 milhões de toneladas, concentrando-se em regiões de clima tropical e subtropical. É também a quarta cultura mais importante na agricultura, ficando atrás apenas das culturas de arroz, trigo e milho (FAO, 2018; PALACIOS et al., 2017; PEREIRA et al., 2019).

A Índia é o maior produtor mundial de banana, com aproximadamente 28 milhões de toneladas cultivadas anualmente, seguido da China (\approx 13 milhões de toneladas), Filipinas (\approx 9 milhões); Brasil (\approx 7 milhões); Equador (\approx 6 milhões) e Indonésia (\approx 5,5 milhões). Assim, a soma da produção de banana correspondente a Índia, China, Filipinas, Equador e Brasil representa mais da metade da produção mundial (PADAM et al., 2014; FAO, 2018). Destaca-se também o cultivo em países africanos, como Angola (\approx 3 milhões), Burundi (\approx 2,4 milhões), Camarões (\approx 1,6 milhões), Quênia (\approx 1,4 milhões) e Uganda (\approx 0,6 milhões), onde a fruta representa, em alguns casos, uma das principais fontes nutricionais (VILJOEN et al., 2004; PADAM et al., 2014; FAO, 2018; EKESA et al., 2019).

A banana apresenta elevado valor nutricional sobretudo pela quantidade significativa de carboidratos (mais de 20% de sua composição). É rica em fibras e sais minerais, sendo uma das principais fontes de potássio, magnésio e fósforo da dieta humana. Também se destaca por apresentar baixos índices lipídicos (AURORE, PARFAIT E FAHRASMANE, 2009; LEOBET, 2016). A composição varia conforme espécie da planta, forma de cultivo, tipo de solo, temperatura, sazonalidade das chuvas, entre outros fatores (LEOBET, 2016).

A produção de banana ocupa grandes extensões territoriais, do qual somente no Brasil são destinados mais de 500 mil hectares ao cultivo (COLTRO; KARASKI, 2019). No mundo, estima-se que em 2017 aproximadamente 5,6 milhões de hectares de terra foram usados no plantio de banana, sendo que em 1993 eram 3,6 milhões de hectares e em 2000, 4,6 milhões de hectares. Assim, identifica-se uma rápida expansão do cultivo de banana nas duas últimas décadas, sobretudo na China e na Índia, onde a área destinada ao plantio praticamente dobrou entre 2000 e 2017 (FAO, 2018).

Na maioria das plantações de banana são as chuvas que fornecem a água requerida à manutenção das plantas. Entretanto, são cada vez mais frequentes sistemas de irrigação, objetivando aumentar a produção e potencializar o plantio em áreas até então inadequadas (COLTRO; KARASKI, 2019; MWAURA; MUWANIKI, 2018; SANTOS et al., 2019). Ressalta-se que as mudanças climáticas podem ocasionar variação na qualidade e quantidade de frutas produzidas, uma vez que alterações de temperatura, de sazonalidade das chuvas e o aumento na frequência de intemperes climáticas, como vendavais, furacões e tornados, podem influenciar no cultivo da banana (SABIITI et al., 2017; SALVACION, 2019; SALVACION et al., 2019).

A bananicultura é caracterizada pela geração de grande quantidade de resíduos orgânicos. Após o corte do cacho, o pseudocaule e as folhas da bananeira são geralmente cortados para facilitar o crescimento de uma nova matriz produtora (GUMISIRIZA et al., 2017; PADAM et al., 2014; YAHYA et al., 2018). No Brasil estima-se que em torno de 510 mil hectares de terras sejam destinados à bananicultura, com geração de aproximadamente 220 toneladas de resíduos por hectare plantado por safra, correspondendo a geração de mais de 100 milhões de toneladas por ano (COLTRO; KARASKI, 2019; INGALE; JOSHI; GUPTA, 2014).

O pseudocaule e as folhas são em maioria abandonados nas próprias plantações, caracterizando meios de proliferação de vetores, como mosquitos e moscas, além do processo de decomposição que gera gases nocivos, como metano, amônia e peróxido de hidrogênio (GUERRERO; BALLESTEROS; BALLESTEROS, 2018; LI et al., 2010; SANTA-MARIA et al., 2013). Em determinadas regiões, sobretudo na Índia, grande parte desses resíduos são descartados em rios e lagos, ocasionando sérios problemas

ambientais (INGALE; JOSHI; GUPTE, 2014). Assim, em decorrência desses problemas, ações que promovam o reaproveitamento dos resíduos da bananicultura são necessárias e iminentes.

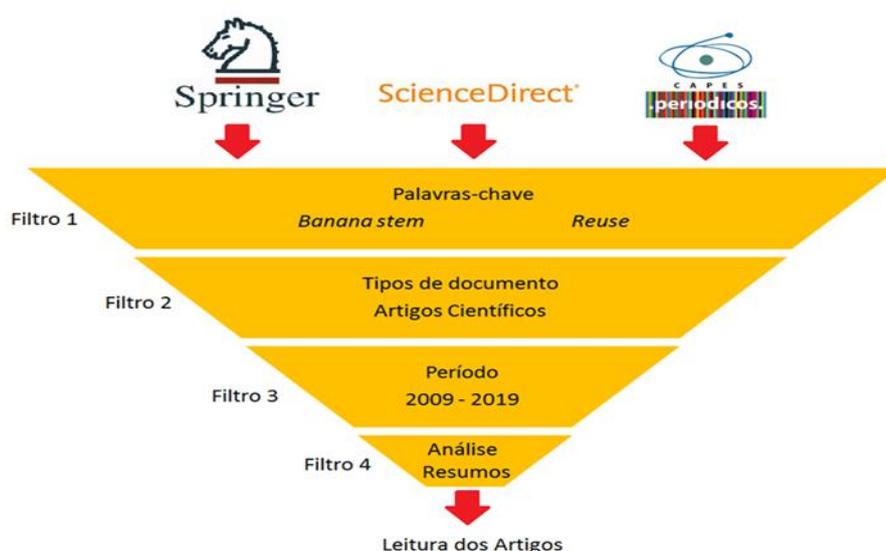
Os resíduos da bananicultura são compostos majoritariamente pelos polímeros celulose ($\approx 35\%$ em massa), hemicelulose ($\approx 20\%$ em massa) e lignina ($\approx 10\%$ em massa), sendo estes precursores de diversos materiais e produtos amplamente comercializados, como papel, biocombustíveis, membranas filtrantes, entre outros (CORDEIRO et al., 2004; YAHYA et al., 2018). A celulose é um polímero natural de glicose. É o material orgânico mais abundante do planeta, com produção anual superior à 50 bilhões de toneladas. A estrutura da celulose apresenta regiões altamente ordenadas, estabilizadas por ligações de hidrogênio (OGATA, 2013; PEREIRA et al., 2019). A lignina é um polímero amorfo, altamente complexo e ramificado, com estruturas aromáticas e alifáticas. As ligações éteres predominam na união entre as unidades da lignina, que apresenta um grande número de interligações. A hemicelulose é composta por uma classe heterogênea de polissacarídeos de baixo peso molecular, como pentoses, hexoses e ácidos urônicos, atuando como um componente de ligação entre a lignina e a celulose (OGATA, 2013; PEREIRA et al., 2019).

Desta forma, tendo em vista o potencial da biomassa lignocelulósica como matéria-prima na produção de materiais e os problemas provados pelo descarte inadequado desses resíduos, propôs-se investigar, mediante uma pesquisa sistemática, alternativas para reutilização e consequente valorização dos resíduos da bananicultura.

2. Materiais e Métodos

Buscou-se realizar uma revisão bibliográfica sistemática por meio de pesquisa em materiais bibliográficos nas bases de dados Science Direct, Portal de Periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), e na plataforma da editora Springer, seguindo os critérios de seleção demonstrados na Figura 1. Propôs-se também realizar uma análise temporal quantitativa e qualitativa da literatura, identificando o número de publicações pôr ano e os periódicos onde foram publicados. Para identificar o fator de impacto dos periódicos optou-se por utilizar o índice de classificação do portal SCImago Journal & Country Rank, donde foram considerados periódicos de alto impacto aqueles com mais de 100 pontos, periódicos de médio impacto aqueles entre 51 e 100 pontos, e de baixo impacto aqueles com 50 pontos ou menos.

Figura 1: Processo de seleção do material bibliográfico nas bases de dados.



Fonte: autoria própria.

Como pode ser observado na Figura 2, as palavras usadas na busca foram “Banana stem” e “Reuse”, empregando o operador “and” entre os termos. Na segunda etapa os resultados das buscas foram filtrados em relação ao tipo de documento, sendo selecionados apenas artigos, tendo em vista que estes passam por um processo de revisão paritária. Em um terceiro momento os artigos foram selecionados quanto ao período de publicação, de 2009 a 2019. A quarta etapa consistiu na análise do resumo dos artigos selecionados, identificando quais apresentavam relação com o objetivo da pesquisa, ou seja, que relatavam alternativas de valorização dos resíduos lignocelulósicos da bananicultura. A última etapa de seleção de materiais consistiu na leitura e análise dos artigos.

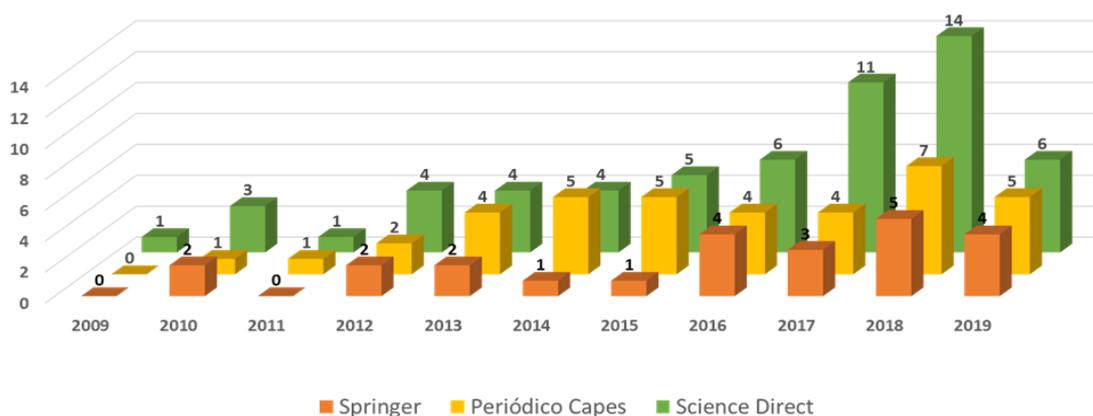
3. Resultados e Discussão

A pesquisa na base de dados *Science Direct* utilizando as palavras-chaves “Banana stem” e “Reuse” apresentou 590 resultados, enquanto no Periódico Capes 272 resultados. Na editora Springer foram identificados 1397 resultados. Quando selecionados apenas artigos, tiveram-se 134 resultados na editora Springer, 331 no *Science Direct* e 251 no Periódico Capes. Restringindo o período de publicação dos artigos para 2009-2019, 94 resultados foram identificados na plataforma Springer, 266 no *Science Direct* e 212 no Periódico Capes.

Na última etapa de seleção, que consistiu na análise do resumo dos artigos, foram extraídos 25 artigos da editora Springer, 60 no *Science Direct* e 38 no Periódico Capes, obtendo-se 123 artigos resultantes da revisão bibliométrica. Entretanto, destaca-se que três dos artigos obtidos no Periódico Capes eram da editora Springer, já identificados na revisão realizada na plataforma da editora; e dois eram da editora Elsevier, já obtidos na busca na base *Science Direct*. Desta forma, constatou-se 118 artigos que mencionavam alternativas para reutilização da biomassa da bananicultura, especialmente o pseudocaule.

Em relação a análise temporal dos últimos dez anos, constatou-se um crescente aumento de publicações sobre o tema (Fig. 3).

Figura 2: Publicações por ano nas bases Science Direct, Periódico Capes e na editora Springer.



Fonte: dos autores

Na Figura 3, o ano de 2018 apresentou maior quantidade de artigos publicados (26), seguido de 2017 (18). Ressalta-se também 2019, que até meados de junho apresentava 15 publicações acerca do assunto.

A classificação quanto ao índice do portal *SCImago Journal & Country Rank* resultou na Tabela 2, apresentada a seguir.

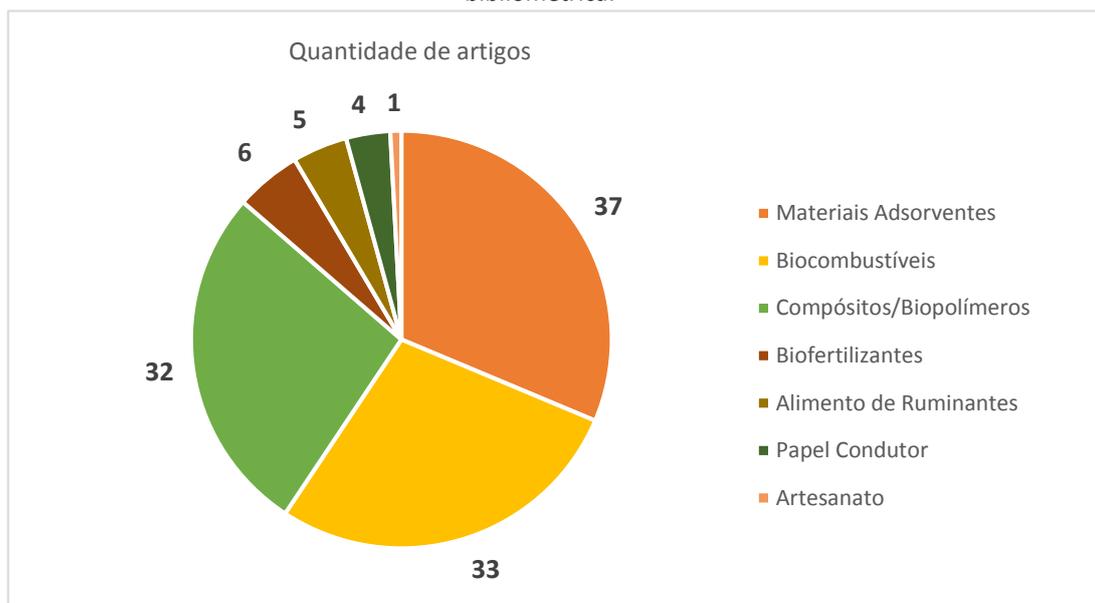
Tabela 1: Publicações por Periódico e Classificação de Impacto

Alto Impacto	Publicações	Médio Impacto	Publicações	Baixo Impacto	Publicações
Renewable and Sustainable Energy Reviews	14	Environmental Science and Pollution Research	2	Bioresources and Bioprocessing	4
Bioresource Technology	10	Journal of Polymers and the Environment	2	Waste and Biomass Valorization	3
Carbohydrate Polymers	8	Journal of Molecular Liquids	2	Bioremediation Journal Environmental	2
Journal of Cleaner Production	5	Environmental Monitoring and Assessment	1	International Journal of Chemical Engineering	1
Chemical Engineering Journal	4	Biotechnology for Biofuels	1	Journal of Food Science and Technology	1
International Journal of Biological Macromolecules	3	Phytochemistry Reviews	1	Biofuels	1
Journal of Environmental Management	3	Materials	1	Soil	1
Science of the Total Environment	2	Radiation Physics and Chemistry	1	Textile Progress	1
Chemosphere	2	Polymer Reviews	1	Chemistry Letters	1
Journal of Hazardous Materials	2	International Biodeterioration and Biodegradation	1	3 Biotech	1
Sensors and Actuators, B: Chemical	2	Journal of Supercritical Fluids	1	Journal of Natural Fibers	1
Progress in Energy and Combustion Science	1	Water, Air, and Soil Pollution	1	Biocatalysis and Agricultural Biotechnology	1
RSC Advances	1	Reviews in Environmental Science and Bio/Technology	1	Sustainable Materials and Technologies	1
Nanoscale	1	International Journal of Life Cycle Assessment	1	Journal of Saudi Chemical Society	1
Composites Part B: Engineering	1	Cellulose	1	Journal of Environmental Chemical Engineering	1
Composites Part A: Applied Science and Manufacturing	1	Applied Biochemistry and Biotechnology	1	Materials Today: Proceedings	1
Waste Management	1	Agronomy for Sustainable Development	1	Procedia Economics and Finance	1
Cement and Concrete Composites	1			Environmental Technology and Innovation	1
Progress in Polymer Science	1			Environmental Processes	1
Industrial Crops and Products	1			Applied Biochemistry and Biotechnology	1
Fuel	1			AMB Express	1
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	1			International Journal of Plastics Technology	1
Catalysis Letters	1			Biomass Conversion and Biorefinery	1
Total:	69	Total:	20	Total:	29

Desta forma, totalizaram-se 69 artigos publicados em periódicos de alto impacto, 20 em periódicos de médio impacto e 29 em periódicos de baixo impacto. Assim, ampla maioria dos artigos foram publicados em periódicos de alto impacto, destacando-se “*Renewable and Sustainable Energy Reviews*”, com 14 publicações e impacto de 222, “*Bioresource Technology*”, com dez artigos e impacto de 251, e “*Carbohydrate Polymers*”, com oito publicações e impacto de 172. Desta forma, reforça-se a significância das pesquisas sobre o assunto, sendo publicadas em revista científicas consolidadas.

Quanto às possibilidades de reutilização dos resíduos da bananicultura apresentadas nos artigos, os resultados são apresentados na Figura 4.

Figura 3: Quantidade de publicações para cada alternativa de reuso identificadas na análise bibliométrica.



Fonte: dos autores.

Assim, destacam-se o uso como material adsorvente (37 publicações), na síntese de biocombustíveis (33 publicações) e como matéria-prima na fabricação de compósitos (32 publicações). Além disso, a produção de biofertilizantes, a alimentação de ruminantes, a exploração no artesanato e como material precursor na síntese de papéis condutores foram outras possibilidades para a valorização dos resíduos identificados na análise dos artigos.

3.1 Materiais Adsorventes

Os principais métodos para remoção de contaminantes das fases gasosa e aquosa são tratamento biológico, floculação, separação por membrana, precipitação química e adsorção com carbono. Entre estes processos, a adsorção com carbono mostra-se muito eficaz na remoção de variados poluentes. No entanto, o elevado custo desse método em larga escala levou a pesquisas com materiais adsorventes alternativos (ANASTOPOULOS et al., 2019; DAI et al., 2018; GEREMIAS et al., 2012).

Resíduos agrícolas possuem componentes com estruturas porosas, ramificadas, contendo carboxilas, hidroxilas e outros grupos reativos. Assim, esses materiais podem ser usados como adsorventes de poluentes, como metais pesados e agrotóxicos. Nos últimos anos, elevado número de pesquisas foram desenvolvidas aproveitando os resíduos lignocelulósicos da bananicultura como biomassa adsorvente para o tratamento de poluentes (AKBAR et al., 2019; BELLO et al., 2018; DAI et al.,

2018; JAIN; MALIK; YADAV, 2016; MAHMOOD-UL-HASSAN et al., 2015; NGUYEN et al., 2013; SINGH et al., 2018).

Efluentes da indústria têxtil e de impressão contendo grande quantidade de azul de metileno foram tratados com resíduos da bananicultura, sendo estes eficazes na remoção do poluente das águas (HAMEED; MAHMOUD; AHMAD, 2008; RAFATULLAH et al., 2010). No tratamento de águas contaminadas com metais pesados, como chumbo, níquel, zinco e cromo, evidenciou-se que os resíduos agrícolas do cultivo de banana apresentaram capacidades iguais ou até maiores de adsorção em comparação com os adsorventes convencionais (ANASTOPOULOS et al., 2019; BELLO et al., 2018; KUMAR; MYLAPILLI; REDDY, 2019; LIU et al., 2019; NGUYEN et al., 2013). Na remoção do carbofurano (um dos pesticidas carbamatos mais tóxicos existentes) de água contaminadas, a utilização de pseudocaule da bananeira combinado com carvão ativado apresentou-se como uma eficiente opção (AHMAD; DANISH, 2018).

3.2 Biocombustíveis

A fabricação de biocombustíveis, sobretudo bioetanol proveniente da biomassa lignocelulósica, tem se destacado nas últimas décadas mediante pesquisas objetivando otimizar o processo de produção (SILVA et al., 2005). Assim, a abundância de resíduos lignocelulósicos, como os derivados da bananicultura, e a busca por menor dependência de combustíveis fósseis, tem aumentado o interesse na utilização da biomassa como matéria-prima para produção de biocombustíveis (BHATIA; JOHRI; AHMAD, 2012; DAS; SARMAH; BHATTACHARYYA, 2015; KUMAR; SHARMA, 2017; OFORI-BOATENG; LEE, 2013; PADAM et al., 2014).

O bioetanol, também chamado de etanol de segunda geração e etanol celulósico, é sintetizado majoritariamente mediante hidrólise dos polímeros celulose e hemicelulose por ação de enzimas e/ou produtos químicos. Após a hidrólise ocorre a fermentação alcoólica, através de reações catalisadas por enzimas produzidas por microrganismos anaeróbicos (BHATIA; JOHRI; AHMAD, 2012; LUN et al., 2018).

Desta forma, a digestão anaeróbica da biomassa gerada na bananicultura é uma das alternativas com maior potencial para valorização desses resíduos, tendo em vista a eficiência do processo e a elevada demanda comercial pelos biocombustíveis sintetizados. (GUERRERO; BALLESTEROS; BALLESTEROS, 2018; GUMISIRIZA et al., 2017). Destaca-se que a produção e consumo de bioetanol em detrimento de derivados do petróleo pode contribuir significativamente para a redução da emissão atmosférica de dióxido de carbono e outros poluentes (INGALE; JOSHI; GUPTA, 2014).

Em relação aos avanços na otimização do processo de produção de biocombustíveis, destaca-se a utilização de culturas de cogumelo ostra (*Pleurotus ostreatus*) para produção de enzimas ligninolíticas, que atuam na degradação da lignina presente nos resíduos da bananicultura, facilitando assim a hidrólise da celulose e hemicelulose (THAKUR; SHRIVASTAVA, 2013). A utilização de leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae* tem se acentuado no processo de fermentação alcoólica dos monossacáridos oriundos da biomassa da bananicultura (sobretudo a glicose derivada da celulose), em especial pelo elevado rendimento ($\approx 84\%$) na produção de bioetanol a partir do hidrolisado celulósico (INGALE; JOSHI; GUPTA, 2014; THAKUR; SHRIVASTAVA, 2013).

3.3 Compósitos e Biopolímeros

A utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibras celulósicas oriundas de resíduos agrícolas tem ganhado notoriedade na indústria, sobretudo como substituinte da madeira maciça na construção civil. Além disso, tem sido usado em componentes automotivos, aeroespaciais e artigos esportivos. Isto se deve sobretudo a determinadas propriedades desses materiais, como elevada

resistência mecânica, resistência à corrosão e por possuírem densidade inferior a materiais similares (HAUSA et al., 2016; VÄISÄNEN et al., 2016).

Outra alternativa para destinação desses resíduos é na síntese de biopolímeros, sobretudo plásticos biodegradáveis. A utilização de resíduos da bananicultura, em especial o pseudocaule, como matéria-prima na produção de biopolímeros é considerada uma possibilidade promissora em decorrência da abundância desse recurso e pelo potencial na substituição de polímeros derivados do petróleo, principalmente na fabricação de embalagens (BRINCHI et al., 2013; CORDEIRO et al., 2012; KHALIL et al., 2016; SANGO et al., 2018).

3.4 Biofertilizantes

O aproveitamento dos resíduos da bananicultura na produção de biofertilizantes ganha destaque nos últimos anos após pesquisas evidenciarem a eficiência destes no aumento da germinação e na aceleração do crescimento de determinadas culturas de vegetais (HUSSEIN et al., 2019; SADH; DUHAN; DUHAN, 2018). Assim, a síntese de biofertilizantes se baseia na extração de nutrientes presentes na biomassa, em especial da casca da banana, e sua disposição às plantas em forma micro ou nano granulada (HUSSEIN et al., 2019; PADAM et al., 2014; SADH; DUHAN; DUHAN, 2018). Estudo feito por HUSSEIN et al. (2019) objetivando produzir nanofertilizantes a partir da casca da banana, identificou-se que estes continham quantidades significativas de potássio quelado, ferro quelado, triptofano, ureia, aminoácidos, proteína e ácido cítrico, possibilitando assim um aumento na taxa de germinação de sementes de tomates em substratos que continham nanofertilizantes em relação a substratos sem nanofertilizantes (HUSSEIN et al., 2019).

O cultivo de banana em sistemas agroflorestais, a fim de aumentar a eficiência do uso da área e da água, vem ganhando notoriedade especialmente na agricultura familiar (DE PAULA et al., 2015). Os resíduos da bananicultura nesses sistemas são empregados sobretudo como fonte de água (aproximadamente 90% da composição do pseudocaule da bananeira) e na adubação orgânica, sendo assim também uma alternativa promissora para reutilização desses resíduos (VAN ASTEN et al., 2011).

3.5 Alimento para Ruminantes

Algumas pesquisas apresentam resultados promissores sobre a capacidade de conversão de resíduos da bananicultura, em especial pseudocaule e cascas de banana, em alimentos para animais (ANGULO et al., 2012a; PADAM et al., 2014; SALEMDEEB et al., 2016). Em estudos sobre o uso de restos de frutas, incluindo cascas de banana, na alimentação de vacas leiteiras, constatou-se que estes resíduos podem ser incluídos em proporções entre 6% e 18% da dieta do animal sem ocasionar alterações na quantidade e na qualidade do leite produzido (ANGULO et al., 2012a, 2012b). Assim, a utilização da matéria-prima disponível, como resíduos de produção agrícola, pode reduzir a necessidade de aquisição de alimentos (rações e concentrados) para os animais, barateando o processo e possibilitando uma destinação mais adequada dos resíduos (Angulo *et al.*, 2012a; Padam *et al.*, 2014).

3.6 Papel Condutor e Artesanato.

Estudos recentes apontam que a celulose presente em pseudocaulos da bananeira pode ser associada a nanotubos de carbono de parede múltipla carboxilada mediante hidrólise ácida. Essa associação fornece um material com propriedades que possibilitam a construção de eletrodos flexíveis ideais para ancorar moléculas e partículas sensíveis em aplicações específicas, como biossensores ou dispositivos eletrônicos (MONDAL, 2016; NOREMBERG et al., 2017).

Além disso, fibras das folhas e do pseudocaule da bananeira podem ser empregadas na elaboração de artefatos artesanais, como cestos, tapetes, cadeiras, além de servir como matéria-prima na construção de moradias para população de baixa-renda (BARBOSA, 2014).

4. Conclusões

O cultivo de banana ocupa grandes extensões territoriais, demandando mundialmente mais de cinco milhões de hectares. A banana é a segunda fruta mais consumida no mundo, caracterizando importante fonte nutricional e sendo, em determinadas regiões mais pobres e vulneráveis, essencial na manutenção da segurança alimentar. A bananicultura gera grande quantidade de resíduos lignocelulósicos, especialmente o pseudocaule e as folhas. Quando descartados inadequadamente esses resíduos podem causar e/ou agravar problemas ambientais, como poluição de águas, emissão de gases nocivos e proliferação de vetores de doenças. Pesquisas vem sendo desenvolvidas propondo o reaproveitamento desses resíduos.

A análise temporal quantitativa da bibliografia selecionada nas bases de dados evidenciou número crescente de publicações ao longo da última década tratando da reutilização dos resíduos da bananicultura, havendo assim um aumento no interesse por essa temática por parte dos pesquisadores. A análise qualitativa revelou que a maioria dos estudos são publicados em periódicos científicos de alto impacto.

Dentre as potencias alternativas para reaproveitamento dos resíduos, as que apresentaram maior número de publicações foram as que tratavam da sua utilização como material adsorvente para remoção de contaminantes, na síntese de biocombustíveis e como matéria-prima para produção de compósitos e biopolímeros. Também foi identificado estudos propondo a utilização da biomassa gerada na bananicultura como alimento para ruminantes e na produção de biofertilizantes, matérias condutores e artefatos artesanais. Destaca-se assim que essas propostas se caracterizam como possíveis meios para atribuir maior valor agregado a esses resíduos e para, conseqüentemente, estimular seu reaproveitamento.

Referências

- AHMAD, T.; DANISH, M. Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 330–348, 2018.
- ANASTOPOULOS, I. et al. Removal of heavy metals by leaves-derived biosorbents. **Environmental Chemistry Letters**, v. 17, p. 755–766, 2019.
- ANGULO, J. et al. Nutritional evaluation of fruit and vegetable waste as feedstuff for diets of lactating Holstein cows. **Journal of Environmental Management**, v. 95, p. 210–214, 2012a.
- ANGULO, J. et al. Quantitative and nutritional characterization of fruit and vegetable waste from marketplace : A potential use as bovine feedstuff? **Journal of Environmental Management**, v. 95, p. 203–209, 2012b.
- BARBOSA, L. L. Capacity Building through Design Innovation with Vegetable Fibres for Temporary Shelters. **Procedia Economics and Finance**, v. 18, p. 230–237, 2014.
- BELLO, K. et al. A study on adsorption behavior of newly synthesized banana pseudo-stem derived superabsorbent hydrogels for cationic and anionic dye removal from effluents. **Carbohydrate Polymers**, v. 181, p. 605–615, 2018.
- BHATIA, L.; JOHRI, S.; AHMAD, R. An economic and ecological perspective of ethanol production from renewable agro waste : a review. **AMB Express**, v. 2, p. 1–19, 2012.
- BRINCHI, L. et al. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass : Technology and applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 94, n. 1, p. 154–169, 2013.

- COLTRO, L.; KARASKI, T. U. Environmental indicators of banana production in Brazil: Cavendish and Prata varieties. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 363–378, 2019.
- CORDEIRO, N. et al. Chemical composition and pulping of banana pseudo-stems. **Industrial Crops and Products**, v. 19, n. 2, p. 147–154, 2004.
- CORDEIRO, N. et al. Monitoring surface properties evolution of thermochemically modified cellulose nanofibres from banana pseudo-stem. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 1, p. 125–131, 2012.
- DAI, Y. et al. Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review. **Chemosphere**, v. 211, p. 235–253, 2018.
- DAS, O.; SARMAH, A. K.; BHATTACHARYYA, D. A sustainable and resilient approach through biochar addition in wood polymer composites. **Science of the Total Environment**, v. 512–513, p. 326–336, 2015.
- DE PAULA, P. D. et al. Decomposição das podas das leguminosas arbóreas *Gliricidia sepium* e *Acacia angustissima* em um sistema agroflorestal. **Ciencia Florestal**, v. 25, n. 3, p. 791–800, 2015.
- EKESA, B. Roots , Tubers and Bananas Contributions to Food Security Article. **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**, v. 3, p. 231-25, 2019.
- GEREMIAS, R.; LAUS, R.; FÁVERE, V.; PEDROSA, R. Adsorção de íons Cu (II), Mn (II), Zn (II) e Fe (III), utilizando rejeito de mineração de carvão como adsorvente. **Revista Brasileira De Ciências Ambientais**, v. 25, p. 48-59, 2012.
- GUERRERO, A. B.; BALLESTEROS, I.; BALLESTEROS, M. The potential of agricultural banana waste for bioethanol production. **Fuel**, v. 213, n. April 2017, p. 176–185, 2018.
- GUMISIRIZA, R. et al. Biomass waste-to-energy valorisation technologies: a review case for banana processing in Uganda. **Biotechnology for biofuels**, v. 10, p. 11, 2017.
- HAFSA, J. et al. Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing Eucalyptus globulus essential oil. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 356–364, 2016.
- HAMEED, B. H.; MAHMOUD, D. K.; AHMAD, A. L. Sorption equilibrium and kinetics of basic dye from aqueous solution using banana stalk waste. **Journal of Hazardous Materials**, v. 158, n. 2–3, p. 499–506, 2008.
- HUSSEIN, H. S. et al. Preparation of nano-fertilizer blend from banana peels. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 43, n. 1, p. 1–9, 2019.
- INGALE, S.; JOSHI, S. J.; GUPTA, A. Production of bioethanol using agricultural waste : Banana pseudo stem. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 45, n. 3, p. 885–892, 2014.
- JAIN, C. K.; MALIK, D. S.; YADAV, A. K. Applicability of plant based biosorbents in the removal of heavy metals: a review. **Environmental Processes**, v. 3, n. 2, p. 495–523, 2016.
- KHALIL, H. P. S. A. et al. 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.
- KUMAR, A. K.; SHARMA, S. Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 4, n. 1, p. 7, 2017.
- KUMAR, A.; MYLAPILLI, S. V. P.; REDDY, S. N. Thermogravimetric and kinetic studies of metal (Ru/Fe) impregnated banana pseudo-stem (*Musa acuminata*). **Bioresource Technology**, v. 285, p. 121-132, 2019.
- LEOBET, J. **Casca de banana (*Musa cavendishii*) como fonte de energia e caracterização do resíduo mineral fixo**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- LI, K. et al. Analysis of the chemical composition and morphological structure of banana pseudo-stem. **BioResources**, v. 5, n. 2, p. 576–585, 2010.
- LIU, Y. et al. Carboxyl-functionalized lotus seedpod: A highly efficient and reusable agricultural waste-based adsorbent for removal of toxic Pb²⁺ ions from aqueous solution. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 568, p. 391–401, 2019.
- LUN, K. et al. Bioresource Technology Trends in food waste valorization for the production of chemicals ,

- materials and fuels : Case study South and Southeast Asia. **Bioresource Technology**, v. 248, p. 100–112, 2018.
- MAHMOOD-UL-HASSAN, M. et al. Removal of Cd, Cr, and Pb from aqueous solution by unmodified and modified agricultural wastes. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 2, p. 201-209, 2015.
- MONDAL, S. Preparation, properties and applications of nanocellulosic materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 163, p. 301-316, 2016.
- MWAURA, F. M.; MUWANIKI, F. R. Providing irrigation water as a public utility to enhance agricultural productivity in Uganda. **Utilities Policy**, v. 55, n. February, p. 99–109, 2018.
- NGUYEN, T. A. H. et al. Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater. **Bioresource Technology**, v. 148, p. 574–585, 2013.
- NOREMBERG, B. S. et al. From banana stem to conductive paper: A capacitive electrode and gas sensor. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 240, p. 459–467, 2017.
- OFORI-BOATENG, C.; LEE, K. T. Comparative thermodynamic sustainability assessment of lignocellulosic pretreatment methods for bioethanol production via exergy analysis. **Chemical Engineering Journal**, v. 228, p. 162–171, 2013.
- OGATA, B. H. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em refinarias**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Universidade de São Paulo, 2013.
- PADAM, B. S. et al. Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 12, p. 3527–3545, 2014.
- PALACIOS, S. et al. Comparison of physicochemical pretreatments of banana peels for bioethanol production. **Food Science and Biotechnology**, v. 26, n. 4, p. 993–1001, 2017.
- PEREIRA, N. R. L., DOS ANJOS, F. E., MAGNAGO, R. F. Artigo Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura : Uma Revisão Sobre os Processos Químicos de Extração da Celulose. **Revista Virtual de Química**. v. 11, n. 4, p. 1165–1179, 2019.
- RAFATULLAH, M. et al. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, n. 1–3, p. 70–80, 2010.
- SABIITI, G. et al. Adapting Agriculture to Climate Change: Suitability of Banana Crop Production to Future Climate Change Over Uganda. **Limits to Climate Change Adaptation**, v.1, p. 175–190, 2017.
- SADH, P. K.; DUHAN, S.; DUHAN, J. S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 5, n. 1, p. 1–15, 2018.
- SALEMDEEB, R. et al. Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: a comparative analysis of food waste management options. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 871-880, 2017.
- SALVACION, A. R. Effect of climate on provincial-level banana yield in the Philippines. **Information Processing in Agriculture**, v. 7, n. 1, 2019.
- SALVACION, A. R. et al. Banana suitability and Fusarium wilt distribution in the Philippines under climate change. **Spatial Information Research**, v. 27, n. 3, p. 339–349, 2019.
- SANGO, T. et al. Step – wise multi – scale deconstruction of banana pseudo – stem (*Musa acuminata*) biomass and morpho – mechanical characterization of extracted long fibres for sustainable applications. **Industrial Crops & Products**, v. 122, p. 657–668, 2018.
- SANTA-MARIA, M. et al. Assessing the Feasibility of Biofuel Production from Lignocellulosic Banana Waste in Rural Agricultural Communities in Peru and Colombia. **Bioenergy Research**, v. 6, n. 3, p. 1000–1011, 2013.
- SANTOS, M. R. DOS et al. Precocity, yield and water-use efficiency of banana plants under planting densities and irrigation depths, in semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1–10, 2019.
- SILVA, C.; GARrafa, M.; NAVERENHO, P.; GADO, R.; YOSHIMA, S. A biomassa como alternativa energética para o Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.2, p. 25-36, 2005.

SINGH, N. B. et al. Water purification by using Adsorbents: A Review. **Environmental Technology and Innovation**, v. 11, p. 187–240, 2018.

THAKUR, S.; SHRIVASTAVA, B. Degradation and selective ligninolysis of wheat straw and banana stem for an efficient bioethanol production using fungal and chemical pretreatment. **3 Biotech**, v 3., p. 365–372, 2013.

VÄISÄNEN, T. et al. Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites : A review. **Waste Management**, v. 54, p. 62-73, 2016.

VAN ASTEN, P. J. A. et al. Agronomic and economic benefits of coffee-banana intercropping in Uganda's smallholder farming systems. **Agricultural Systems**, v. 104, n. 4, p. 326–334, 2011.

VILJOEN, A. et al. Biotechnology for sustainable banana and plantain production in Africa: The South African contribution. **South African Journal of Botany**, v. 70, n. 1, p. 67–74, 2004.

YAHYA, M. et al. Reuse of Selected Lignocellulosic and Processed Biomasses as Sustainable Sources for the Fabrication of Nanocellulose via Ni(II)-Catalyzed Hydrolysis Approach: A Comparative Study. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 7, p. 2825–2844, 2018.

Capítulo II

Resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sobre os processos químicos de extração da celulose

Pereira, N. R. L.*; Anjos, F. E.; Magnago, R. F

Lignocellulosic residues of banana cultivation: a review of the cellulose extraction chemical processes

Abstract:

Banana cultivation is a generator of large amounts of lignocellulosic residues. In Brazil, the fifth largest banana producer in the world, most of these residues are abandoned in plantations, being means of proliferation of vectors and sources of gases harmful to the environment. The cellulose extraction is an important alternative to allocate higher added value to these residues, promoting their reuse. The cellulose extraction process involves the removal of amorphous materials from lignocellulosic materials, especially the lignin. Thus, this study proposed to identify cellulose extraction processes, aiming to assist in the advancement of scientific research and projects that promote the use of cellulose present in these residues. For this purpose, a bibliometric research was conducted in the Science Direct and Springer databases. In the analysis of the material it was identified that the process used for the fragmentation of hemicellulose and lignin is hydrolysis (alkaline, acidic and enzymatic), under controlled conditions.

Keywords: Biomass reuse; Delignification; Hydrolysis.

Resumo:

A bananicultura é geradora de grande quantidade de resíduos lignocelulósicos. No Brasil, quinto maior produtor mundial de banana, a maioria desses resíduos são abandonados nas plantações, sendo meios de proliferação de vetores e fontes de gases nocivos ao meio ambiente. A extração da celulose é uma alternativa importante para atribuir-se maior valor agregado a esses resíduos, promovendo seu reaproveitamento. O processo de extração da celulose envolve a remoção dos componentes amorfos dos materiais lignocelulósicos, especialmente a lignina. Assim, esse estudo propôs identificar processos de extração da celulose, objetivando auxiliar no avanço de pesquisas científicas e projetos que promovam a utilização da celulose presente nesses resíduos. Para tanto, foi realizado uma pesquisa bibliométrica nas bases de dados *Science Direct* e *Springer*. Na análise do material identificou-se que o processo utilizado para a fragmentação da hemicelulose e da lignina é a hidrólise (alcalina, ácida e enzimática), em condições controladas.

Palavras-chave: Reutilização de biomassa; Deslignificação; Hidrólise.

* Universidade do Sul de Santa Catarina, Departamento de Ciências Ambientais, Av. Pedra Branca, 25 - Cidade Universitária, 88137-270, Palhoça-SC, Brasil.
nathan.pereira@unisol.br

Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura: Uma Revisão Sobre os Processos Químicos de Extração da Celulose

Nathan Roberto Lohn Pereira^a, Felipe Eduardo dos Anjos^b, Rachel Faverzani Magnago^a

^a Universidade do Sul de Santa Catarina, Departamento de Ciências Ambientais, Av. Pedra Branca, 25 - Cidade Universitária, 88137-270, Palhoça-SC, Brasil.

^b Instituto Federal de Santa Catarina - Campus São José, Rua José Lino Kretzer, 608 - Praia Comprida, 88103-310, São José-SC, Brasil.

* nathan.pereira@unisol.br

1) Introdução

2) A Química dos Compostos Lignocelulósicos

2.1) Celulose

3 Biorrefinarias: a valorização dos resíduos lignocelulósicos.

4) Método

5) Resultados

5.1) Pré-Tratamento

5.2) Hidrólise Alcalina

5.3) Hidrólise Ácida

5.4) Hidrólise Enzimática

6) Considerações Finais

1 Introdução

A Banana (*Musa* sp.) é a segunda fruta mais consumida no mundo¹. A produção mundial anual é de aproximadamente 114 milhões de toneladas, concentrando-se em regiões de clima tropical e subtropical¹⁻³. O Brasil é o quinto maior produtor, com seis milhões de toneladas cultivadas anualmente⁴.

A bananicultura é fonte de grande quantidade de resíduos orgânicos, pois aproveitam-se os frutos mas descarta-se as demais partes⁵. As partes aéreas da bananeira – pseudocaule e folhas – morrem após a frutificação e são cortadas para facilitar o crescimento de uma nova matriz produtora^{5,6}. Assim, são gerados por safra cerca de 220 toneladas de resíduos por hectare

plantado^{6,7}. No Brasil há em torno de 470 mil hectares de terras destinados à bananicultura, correspondendo a geração anual de mais de 100 milhões de toneladas de resíduos⁴.

O pseudocaule e as folhas cortadas são em maioria abandonados nas próprias plantações, caracterizando meios de proliferação de vetores, como mosquitos e moscas, além do processo de decomposição que gera gases nocivos, como metano, amônia e peróxido de hidrogênio^{6,8,9}. Em decorrência destes problemas, ações que promovam o reaproveitamento dos resíduos da bananicultura são necessárias e iminentes.

O pseudocaule e as folhas da bananeira são compostos majoritariamente por água (≈80%). Em massa seca, são formados por celulose (≈35% em massa), hemicelulose (≈20% em massa), lignina (≈10% em massa), extrativos (≈12% em massa), proteínas (≈5% em massa), amido (≈2% em massa), outros (≈8% em massa), variando por espécie da planta^{2,5,10,11}.

A celulose, formada por monômeros de glicose, é amplamente utilizada como matéria-prima na fabricação de papel¹². Além disso, é empregada como agente

de reforço de compósitos^{13,14}, na síntese de acetato de celulose para indústria de fármacos¹⁵, de membranas semipermeáveis para extração de metais pesados¹⁶, e na fabricação de biocombustíveis^{7,17}.

Desta forma, a extração da celulose apresenta-se como importante alternativa para agregar-se valor aos resíduos lignocelulósicos. Assim, este trabalho consiste numa revisão literária sobre os processos químicos empregados à separação da celulose de resíduos lignocelulósicos da bananicultura. Propõe-se analisar esses processos, sobretudo quanto à eficiência no isolamento da celulose e em relação aos reagentes e recursos necessários. Desta forma, tem-se como objetivo auxiliar no avanço de pesquisas científicas e projetos que promovam a utilização da celulose presente em resíduos lignocelulósicos.

2) A Química dos Compostos Lignocelulósicos

Os resíduos lignocelulósicos são complexos orgânicos na forma de biomassa vegetal. A parede celular das plantas é constituída majoritariamente

de celulose, hemicelulose e lignina^{2,5,18,19}.

A hemicelulose é formada por uma classe heterogênea de polissacarídeos de baixo peso molecular, como pentoses, hexoses e ácidos urônicos, atuando como um componente de ligação entre a lignina e a celulose^{18,19}.

Os carboidratos que compõem a hemicelulose estão ligados entre si por ligações glicosídicas, formando uma estrutura principal da qual surgem ramificações laterais de cadeias curtas de outros compostos. A xilose é o principal componente da hemicelulose, representando até 25% de sua composição^{5,19}.

A lignina é um polímero amorfo, altamente complexo e ramificado, com estruturas aromáticas e alifáticas^{2,8,18,19}.

O processo de síntese da lignina se dá pelas reações entre três estruturas precursoras: o álcool *p*-cumarílico, o álcool coniferílico e o álcool sinapílico¹⁸.

As ligações éteres predominam na união entre as unidades da lignina, que apresenta um grande número de interligações^{2, 18}.

2.1) Celulose

A celulose é um polímero natural de glicose. É o material orgânico mais abundante do planeta, representando 20% à 40% do peso seco da parede celular dos vegetais. Sua produção anual é de mais de 50 bilhões de toneladas^{5,8,18}.

A estrutura da celulose apresenta regiões altamente ordenadas, estabilizadas por ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares. Também apresenta regiões amorfas, onde as cadeias apresentam uma orientação altamente ramificada^{18,20,21}.

As unidades de celulose são unidas por ligações glicosídicas do tipo β -1-4. Os monômeros de glicose se dispõem paralelamente, formando ligações de hidrogênio entre si^{18,21}. Como apresentado na **Fig. 1**, cada molécula de glicose apresenta três grupos hidroxila e as cadeias de celulose tendem a formar ligações de hidrogênio intramolecular e intermolecular, sendo isso responsável pela rigidez da cadeia de celulose^{18,21}.

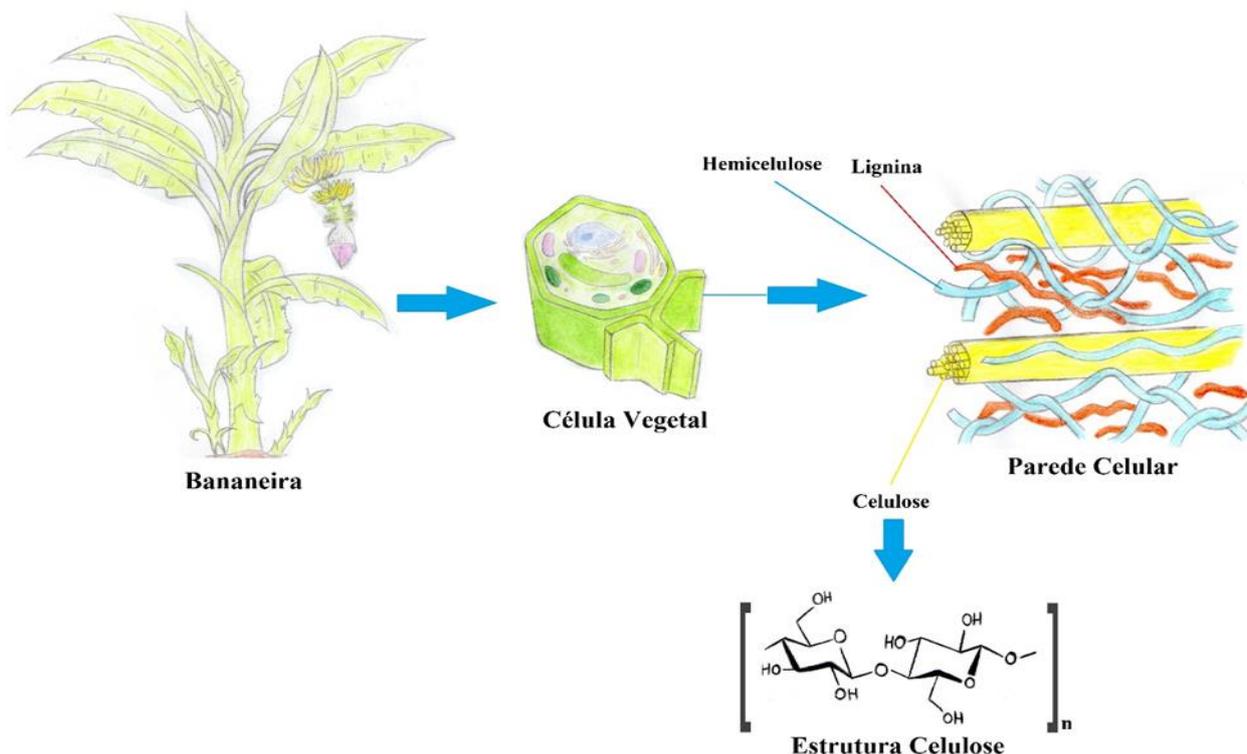


Figura 1: A parede celular dos vegetais, composta majoritariamente por celulose, hemicelulose e lignina. Estes componentes apresentam-se associados por ligações de hidrogênio, donde a celulose encontra-se na forma fibrosa. Adaptado de Silva et al. (2015).

Ainda na **Fig. 1**, a celulose organiza-se na parede vegetal na forma de fibras que são mantidas coesas por uma matriz constituída de hemicelulose e lignina. Essa estrutura é responsável por fornecer às células das plantas rigidez, impermeabilidade, resistência contra ataques microbianos e estresse oxidativo^{2,5,18,21}.

A estrutura fibrosa da celulose é uma das principais características que contribui para seu uso nos mais diversos ramos da indústria, como na fabricação de papel, na produção de tecidos, adesivos, bioplásticos, entre outros^{22,23}.

Assim, a obtenção da celulose é um processo muito explorado, sendo essencial para esses segmentos da indústria^{11,21,23}.

A principal rota de obtenção da celulose na indústria é o processo Kraft, onde a biomassa, majoritariamente madeira, é tratada com NaOH e Na₂S (processo de polpação), objetivando dissolver a lignina²⁴. A principal vantagem do processo Kraft consiste na elevada eficiência do processo, que permite a recuperação de cerca de 97% dos reagentes químicos utilizados na polpação^{22,25-27}.

No processamento da madeira para fabricação de papel destaca-se também o tratamento termomecânico, conhecido como TMP (*Thermomechanical pulping*), que submete cavacos de madeira a um aquecimento com vapor (≈ 140 °C), seguido pelo processo de desfibramento em um refinador a disco^{28,29}.

3 Biorrefinarias: a valorização dos resíduos lignocelulósicos

No processo de valorização dos resíduos lignocelulósicos destacam-se as biorrefinarias. Biorrefinarias são instalações que utilizam biomassa como matéria-prima para síntese de materiais com maior valor agregado, como biocombustíveis, insumos químicos, rações, entre outros produtos³⁰⁻³⁴.

Assim, a otimização do uso da biomassa, baseado nos princípios da bioeconomia e economia circular, busca a utilização de sistemas integrados e sustentáveis, de acordo com parâmetros técnicos que considerem o ciclo de vida dos produtos, a adoção de processos biotecnológicos em detrimento de tratamentos químicos, o desenvolvimento socioeconômico regional, a mitigação da emissão de

gases do efeito estufa, entre outros^{18,30,33}.

O aumento na produção de biocombustíveis a partir de *commodities* agrícolas, como milho e cana-de-açúcar, tem evidenciado o risco de alta no preço dos alimentos. Para o milho, devido ao desvio para a fabricação de biocombustíveis, já no caso da cana-de-açúcar, em razão da utilização de áreas antes cultivadas com alimentos³⁴⁻³⁶. Assim, a possibilidade de utilização de resíduos lignocelulósicos em detrimento de *commodities* tem se destacado nos últimos anos, sobretudo devido à ausência de competição com produção de alimentos, da abundância de matéria-prima (resíduos) e da prerrogativa de se aproveitar todas as partes fornecidas por uma planta^{34,35}.

No Brasil, ressalta-se sobretudo na última década a instalação de biorrefinarias destinadas ao processamento do bagaço da cana-de-açúcar e de resíduos de madeira^{18,36}. A viabilidade na construção de biorrefinarias voltadas ao tratamento dos resíduos lignocelulósicos da bananicultura, especialmente para a síntese de biocombustíveis, fomentaram pesquisas que

entre os termos. Na segunda etapa os resultados das buscas foram filtrados em relação ao tipo de documento, sendo selecionados apenas artigos (Filtro 2, **Fig. 2**), tendo em vista que estes passam por um rigoroso processo de avaliação e revisão. Em um terceiro momento os artigos foram selecionados pelo período de publicação, de 2016 à 2018 (Filtro 3, **Fig. 2**).

A quarta etapa consistiu na análise do resumo dos artigos selecionados (Filtro 4, **Fig. 2**), identificando quais apresentavam relação com o objetivo da pesquisa, ou seja, que relatavam processos de extração da celulose de resíduos lignocelulósicos da bananicultura. A última etapa de seleção de materiais consistiu na leitura e análise na íntegra dos artigos. Estes foram analisados quanto aos processos de extração da celulose, destacando-se a eficiência do processo; reagentes,

materiais e equipamentos utilizados; entre outros aspectos.

5) Resultados

Como apresentado na **Fig. 3A**, o resultado da pesquisa na base de dados *Springer* utilizando as palavras-chaves “*Cellulose*”, “*Banana*” e “*Residue*” apresentou 1858 resultados, enquanto na base *Science Direct* 2925 resultados. Quando selecionados apenas artigos, tiveram-se 886 no *Springer* e 1755 no *Science Direct*. Restringindo o período de publicação dos artigos para 2016-2018, 294 resultados foram identificados no *Springer* e 616 no *Science Direct*.

Na última etapa de seleção, ainda na **Fig. 3A**, que consistiu na análise do resumo dos artigos, foram extraídos 13 artigos no *Springer* e 26 no *Science Direct*, havendo assim 39 artigos que mencionavam processos de extração da celulose de resíduos lignocelulósicos da bananicultura.

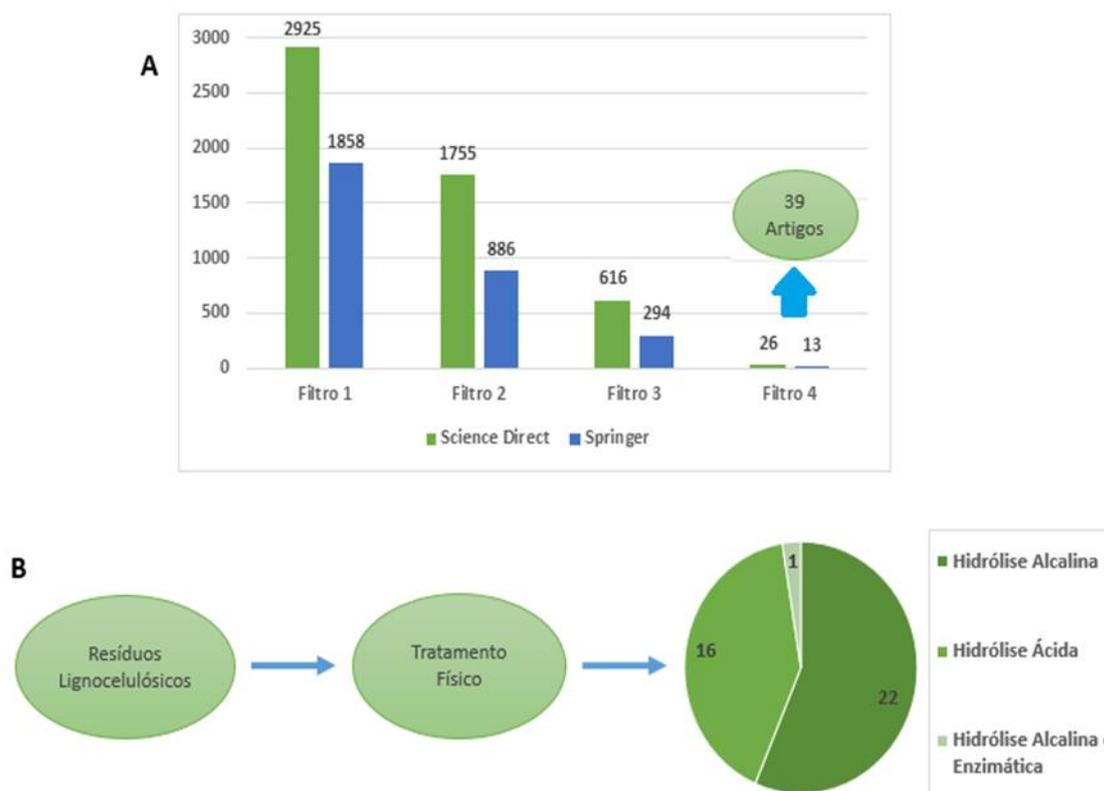


Figura 3: A) Resultados da seleção de bibliografia nas Bases de Dados *Science Direct* e *Springer* utilizando critérios de filtragem. **B)** Processos para a extração da celulose identificados na análise dos artigos: 22 artigos citam a hidrólise alcalina, 16 hidrólise ácida e um hidrólise alcalina seguida de tratamento enzimático.

Na leitura dos artigos, constatou-se que foram empregados diferentes tipos de hidrólise para extração da celulose (**Fig. 3 B**): 22 citaram a hidrólise alcalina; 16 a hidrólise ácida; e um a hidrólise alcalina seguida da enzimática.

Além disso, como consta na **Fig. 3B**, a maioria dos procedimentos realizaram algum tipo de pré-tratamento físico, como secagem e moagem, dos resíduos lignocelulósicos para em seguida realizar o tratamento químico.

5.1) Pré-tratamento: Secagem e Moagem

A secagem do resíduo lignocelulósico objetiva diminuir a quantidade de água no meio para possibilitar uma eficiente moagem do resíduo. A moagem, com a formação de pó, objetiva aumentar a porosidade do substrato e conseqüentemente facilitar a ação do agente hidrolítico sobre a hemicelulose e lignina presentes no meio^{5,14,20,21}.

Os métodos descrito nos artigos variam em relação à:

temperatura e tempo de secagem; equipamentos; técnicas de moagem; entre outros aspectos. O processo mais utilizado consta a seguir: o resíduo foi imerso em solução de metabissulfito de potássio (1% peso/volume – p/v) durante 24 horas (h), para inibir a oxidação. Em seguida, o resíduo foi seco em estufa de convecção forçada a 60 °C por 24 h. Após a secagem o material foi triturado em um moinho de facas e peneirado em uma peneira de malha, que fornece micropartículas de 24,5- μm ^{5,14,20,21}.

Em seguida o farelo passa por tratamento(s) químico(s) para uma efetiva deslignificação do resíduo. A deslignificação, que objetiva remover os componentes amorfos, também ocasiona o branqueamento da fibra celulósica, lhe atribuindo maior valor agregado^{5,14,21,42}.

5.2) Hidrólise Alcalina

Os tratamentos de resíduos lignocelulósicos baseados na hidrólise proporcionam a fragmentação da lignina e da hemicelulose^{1,19,20}. Desta forma, na hidrólise (alcalina, ácida ou enzimática), em condições controladas, tem-se a quebra mediante ataques

nucleofílicos em regiões das moléculas de lignina e hemicelulose, que passam a ser dissolvidas no meio reacional, restando a fibra celulósica insolúvel que pode ser filtrada^{19,21,42-44}.

A hidrólise da hemicelulose e da lignina precede a da celulose, sobretudo pela disposição desta na forma de fibras altamente organizadas que dificultam a ação hidrolítica^{19,44,45}. Todavia, vale ressaltar que no tratamento alcalino a basicidade do meio reacional deve ser controlada para não ocasionar a quebra das ligações de hidrogênio das estruturas de celulose^{19,21,45}.

Na análise dos artigos identificou-se que a concentração mais utilizada é a de 5% p/v do reagente alcalino, seja hidróxido de sódio ou potássio (NaOH ou KOH). O tempo de exposição do resíduo ao agente hidrolítico varia de 12 h à 20 h. Nestas condições, a remoção da lignina e da hemicelulose é quase total, com índices superiores a 80% para a hemicelulose e 90% para a lignina^{5,14,20,21}.

Outro ponto abordado nos artigos é o escurecimento do meio reacional após a hidrólise alcalina. A lignina residual apresenta unidades de hidroxifenilpropano, componente com

caráter fenólico que é o principal responsável pelo escurecimento da solução e é evidenciado após o processo de hidrólise^{20,21}. Todos os artigos que mencionaram tratamento alcalino realizaram na sequência uma etapa de branqueamento da biomassa com clorito de sódio (NaClO_2), objetivando oxidar os grupos cromóforos da lignina residual^{14,21}. O NaClO_2 também auxilia no processo de fragmentação da lignina, dissolvendo parte da lignina residual resistente a hidrólise alcalina controlada²¹.

Assim, o método descrito nos artigos varia em relação a base utilizada (KOH ou NaOH); sua concentração (valores 5% à 10% p/v); duração do processo (12 h à 20 h); entre outros aspectos. O método mais utilizado é descrito a seguir: primeiramente o farelo lignocelulósico foi tratado com solução de KOH a 5% (p/v), sob agitação, por 14 h, à temperatura ambiente. Em seguida, o resíduo insolúvel foi submetido ao branqueamento com NaClO_2 a 1% p/v, à 70 °C por 1 h. Para garantir a deslignificação efetiva do resíduo, os autores sugerem um segundo tratamento com solução de KOH, nas

mesmas condições da primeira etapa^{5,14,20,21}.

Os tratamentos alcalinos permitem menor degradação de carboidratos quando comparados a tratamentos ácidos, evidenciando assim riscos menores de degradação da estrutura fibrosa da celulose^{19,42}. Além disso, a hidrólise alcalina apresenta-se mais eficiente na quebra das ligações entre celulose, hemicelulose e lignina. Assim, o tratamento alcalino permite eliminar fração significativa de lignina (>90%) e de hemicelulose (>80%), mantendo inalterada a estrutura fibrosa da celulose^{21,42}.

Portanto, ressalta-se que o tratamento alcalino, por não oferecer grandes riscos a fragmentação da celulose, é mais empregado em processos que visam preservar a estrutura fibrosa, como na fabricação de papel e na extração de celulose para síntese de derivados, como acetato de celulose^{1,42}.

5.3) Hidrólise Ácida

A cinética da hidrólise da região amorfa dos resíduos lignocelulósicos é mais rápida que da região cristalina em razão da maior permeabilidade das estruturas ramificadas^{8,19,46-48}. Desta forma, como

na hidrólise alcalina, a hidrólise ácida utilizada na extração da celulose demanda concentrações precisas do agente hidrolítico para não ocasionar o rompimento das ligações de hidrogênio e das ligações glicosídicas das fibras de celulose^{17,47,48}.

A hidrólise ácida mostra-se eficiente na quebra das ligações glicosídicas da hemicelulose, fragmentando praticamente todo esse componente (>90%). Todavia, é menos eficiente na quebra da lignina quando comparado ao tratamento alcalino^{21,45,47-50}.

Variações nos métodos de hidrólise ácida ocorrem em relação ao ácido utilizado (ácido sulfúrico (H₂SO₄) ou ácido clorídrico (HCl)) como agente hidrolítico; a concentração do ácido (valores 1% à 10% p/v); a temperatura do processo (50 °C à 120 °C) e a duração do processo (1 h à 2 h)^{45,47-50}.

O método mais utilizado identificado nos artigos foi o com solução de H₂SO₄ 1% (p/v). Neste processo, após a adição do resíduo à solução ácida, a mistura foi aquecida à 80 °C, durante 1 h, sob agitação. Depois a mistura foi resfriada em banho de gelo, seguida de lavagens sucessivas da polpa celulósica com água deionizada^{43,48}.

Desta forma, como o tratamento ácido oferece riscos maiores para a quebra das ligações glicosídicas β -1-4 da celulose quando comparado ao tratamento com base, é o método mais indicado à procedimentos que não necessitem da manutenção da forma fibrosa da celulose, como na fabricação de biocombustíveis⁴⁷⁻⁵¹.

5.4) Hidrólise Enzimática

A hidrólise enzimática utiliza enzimas para catalisar a quebra de ligações específicas. A especificidade da ação enzimática é uma das principais vantagens em relação a hidrólise ácida ou básica^{14,21,52,53}.

Desta forma, a hidrólise enzimática é um processo que oferece condições mais suaves quando comparada com hidrólise ácida ou básica. Além disso, pode ser considerado um processo ambientalmente correto^{14,42}.

Na análise bibliográfica, identificou-se que a enzima xilanase foi utilizada principalmente por hidrolisar o polissacarídeo xilana, principal componente da hemicelulose^{14,21}. As xilanases são uma mistura de endoenzimas e exoenzimas, donde a endo-(1,4)- β -D-xilanase atua quebrando de forma aleatória as ligações

glicosídicas ao longo da cadeia de xilana, enquanto a *exo*-(1,4)- β -D-xilanase opera nas extremidades da cadeia removendo os resíduos de xilose de terminais não redutores^{21,54}.

A xilanase também possui potencial no branqueamento de polpas lignocelulósicas, substituindo ou reduzindo o uso de produtos químicos. Entretanto, um dos fatores limitantes para a difusão desse tipo de tratamento é o alto custo da produção de enzimas^{14,52-55}. Pesquisas que objetivam baratear a produção e extração de enzimas, como a xilanase, encontram-se em evidência no campo científico, buscando-se viabilizar sua utilização em processos de escala industrial^{14,52,55}.

A hidrólise enzimática é influenciada por fatores que regulam o desenvolvimento das enzimas, tais como temperatura e pH^{53,55}. Para as xilanases, a faixa de temperatura com maior atividade

enzimática é entre 50 °C e 70 °C e o pH entre 4 a 7^{21,53,55}.

A hidrólise com enzimas xilanolíticas mostra-se eficiente sucedendo o tratamento alcalino. Assim, o método alcalino hidrolisa parte significativa da lignina (>90%) e da hemicelulose (>80%) e a xilanase fragmenta a hemicelulose restante, auxiliando no branqueamento da polpa celulósica^{14,21,53}. Desta forma, o processo consiste primeiramente no tratamento alcalino do farelo (KOH 5%), seguido da hidrólise com a enzima xilanase (30 Ux/g), finalizando com a filtração da polpa celulósica^{21,53}.

Assim, os métodos de extração da celulose de resíduos da bananicultura identificados na pesquisa bibliométrica empregam diferentes tipos de hidrólise. Na **Fig. 4** apresenta-se um fluxograma com um resumo dos principais procedimentos identificados na análise dos artigos.

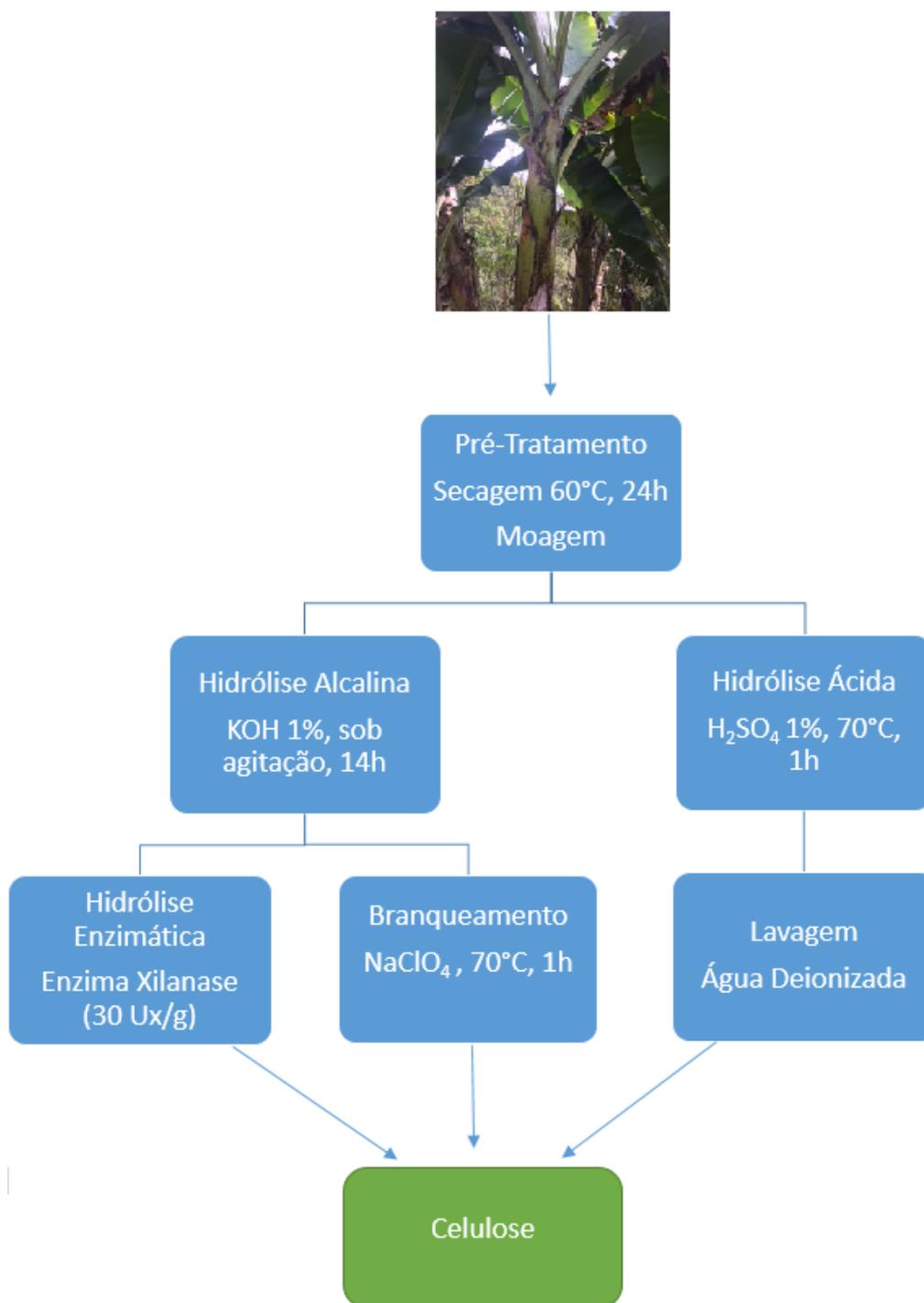


Figura 4 Fluxograma com os processos para a extração da celulose de resíduos lignocelulósicos da bananicultura. Inicialmente o resíduo passa por um tratamento físico; em seguida há três possibilidades de tratamento químico: 1) Hidrólise Alcalina e Branqueamento; 2) Hidrólise Alcalina e Enzimática; 3) Hidrólise Ácida e Lavagem da Polpa Celulósica.

Dessa forma, verifica-se que são métodos derivados dos processos mais consolidados na indústria da celulose, com o uso de bases inorgânicas e ácidos fortes diluídos. Entretanto, vale ressaltar a difusão de novos métodos de extração da celulose, com a utilização de solventes orgânicos (processo Organosolv) e de CO₂ supercrítico^{49,56,57}.

O processo Organosolv, empregado sobretudo na deslignificação da madeira, utiliza solventes orgânicos recuperáveis (acetona, metanol, etanol, entre outros) para separar a lignina⁵⁶⁻⁵⁹. O método consiste no cozimento da biomassa com o solvente Organosolv, à temperatura e pressão elevadas, e posterior recuperação da celulose e da lignina. O solvente orgânico é recuperado por evaporação e/ou destilação, sendo reutilizado no processo. Estudos evidenciam o potencial do método Organosolv na deslignificação de resíduos lignocelulósicos da bananicultura⁵⁶⁻⁶⁰.

O método empregando CO₂ supercrítico combinado a solventes como amônia ou etanol-água promove a deslignificação e aumenta a área de superfície acessível

do substrato celulósico, favorecendo o tratamento enzimática da celulose para síntese de biocombustíveis e derivados⁶¹⁻⁶⁴.

6) Considerações Finais

A destruição das regiões amorfas dos resíduos lignocelulósicos pode ser realizado por tratamento químico (hidrólise alcalina ou ácida) e por hidrólise com enzimas xilanolíticas. Estes processos devem ser realizados sob condições controladas, tendo em vista que se busca preservar a estrutura da celulose.

O tratamento alcalino é o mais utilizado e mostra-se vantajoso em relação ao tratamento ácido sobretudo por ocasionar a fragmentação efetiva tanto da lignina (>90%) quanto da hemicelulose (>80%), além de oferecer riscos menores de quebras das ligações existentes entre as moléculas de celulose. Todavia, o processo alcalino ocasiona o escurecimento da polpa celulósica, na medida em que fragmenta a lignina, havendo assim a necessidade de uma etapa de branqueamento.

O tratamento ácido destaca-se por demandar uma quantidade menor do

agente hidrolítico em relação a hidrólise alcalina (solução de 1% p/v do ácido, enquanto o tratamento alcalino necessita de solução 5% p/v da base). Em contraponto, a hidrólise ácida não é tão eficiente na remoção da lignina quando comparada ao tratamento alcalino.

A hidrólise enzimática distingue-se pela especificidade do processo e por empregar a enzima xilanase para a fragmentação da hemicelulose, em vez de reagentes químicos. Porém, o elevado custo no isolamento de enzimas tem sido um obstáculo para a difusão desse processo. Adotar microrganismos produtores de enzimas xilanolíticas, em detrimento da aquisição de enzimas isoladas, é uma alternativa para baratear o processo e viabilizá-lo em escala industrial.

Dessa forma, para obtenção da celulose fibrosa dos resíduos lignocelulósicos da bananicultura, o método mais eficiente é o tratamento alcalino, seguido de branqueamento. Entretanto, a hidrólise enzimática está ganhando destaque, configurando um método com grande potencial de melhoria em termos de custo-benefício e eficiência. A hidrólise ácida, por fornecer riscos maiores para

a fragmentação da estrutura fibrosa da celulose e por ser menos eficiente na remoção da lignina, é menos indicado para processos que exijam a manutenção da forma fibrosa da celulose. Todavia, é o processo mais adequado para procedimentos favorecidos pela quebra da estrutura, como a fabricação de bioetanol.

Portanto, existem alternativas eficientes para a extração da celulose dos materiais lignocelulósicos e para, conseqüentemente, agregar-se valor a esses resíduos amplamente gerados pela bananicultura. A adaptação desses processos à escala industrial, como ocorre em biorrefinarias, deve ser incentivada para promover o (re)aproveitamento desses resíduos e assim mitigar os problemas causados pela ausência de tratamento.

Referências Bibliográficas

- ¹Palacios, S.; Ruiz, H. A.; Ramos-Gonzalez R.; Martinez, J.; Segura, E.; Aguilar, M.; Aguilera, A.; Michelena, G.; Aguilar, C.; Alyina, A. Comparison of physicochemical pretreatments of banana peels for bioethanol production. *Food Sci Biotechnol.* **2017**, *26*, 993. [[CrossRef](#)]
- ²Yahya, M.; Chen Y. W.; Lee, H. V.; Hassan, W. H. W. Reuse of Selected Lignocellulosic and Processed Biomasses as Sustainable Sources for the Fabrication of Nanocellulose via Ni(II)-Catalyzed Hydrolysis Approach: A Comparative Study. *Journal of Polymers and the Environment.* **2018**, *26*, 285. [[CrossRef](#)]

- ³ Wobiwo, F. A.; Emaga, T. H.; Fokou, E.; Boda, M.; Gillet, S.; Deleu, M.; Richel, A.; Gerin, P. A. Comparative biochemical methane potential of some varieties of residual banana biomass and renewable energy potential. *Biomass Convers Biorefin.* **2017**, *7*, 167. [CrossRef]
- ⁴ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 5 setembro 2018.
- ⁵ Pelissari, F. M.; Sobral, P. J. A.; Menegalli, F. C. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from banana peels. *Cellulose.* **2014**, *21*, 417. [CrossRef]
- ⁶ Faradilla, R. H. F.; Lee, G.; Roberts, J.; Martens, M.; Stenzel, M.; Arcot, J. Effect of glycerol, nanoclay and graphene oxide on physicochemical properties of biodegradable nanocellulose plastic sourced from banana pseudo-stem. *Cellulose.* **2018**, *25*, 399. [CrossRef]
- ⁷ Ingale, S.; Joshi, S. J.; Gupte, A. Production of bioethanol using agricultural waste: banana pseudo stem. *Brazilian Journal of Microbiology.* **2014**, *45*, 885. [CrossRef]
- ⁸ Li, K.; Fu, S.; Zhan, H.; Zhan, Y.; Lucia, L. A.; Analysis of the chemical composition and morphological structure of banana pseudo-stem. *BioResources.* **2010**, *5*, 576. [Link]
- ⁹ Xu, S. Y.; He, Z. P.; Tan, W.; Zhang, Y. C. Study on Biological Materials with the Dehydration Technology and Equipment of Banana Stems. *Applied Mechanics and Materials.* **2013**, *327*, 99. [CrossRef]
- ¹⁰ Cordeiro, N.; Belgacem, M. N.; Torres, I. C.; Moura, J. C. V. P. Chemical composition and pulping of banana pseudo-stems. *Industrial Crops and Products.* **2004**, *19*, 147. [CrossRef]
- ¹¹ Oliveira, L.; Cordeiro, N.; Evtugin, E. V.; Torres, I. C.; Silvestre, A. J. D. Chemical composition of different morphological parts from “Dwarf Cavendish” banana plant and their potential as a non-wood renewable source of natural products. *Industrial Crops and Products.* **2007**, *26*, 163. [CrossRef]
- ¹² Ververis, C.; Georghiou, K.; Christodoulakis, N. C.; Santas, P.; Santas, R. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Industrial Crops and Products.* **2004**, *19*, 245. [CrossRef]
- ¹³ Nechyporchuk, O.; Belgacem, M. N.; Bras, J. Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances. *Industrial Crops and Products.* **2016**, *93*, 2. [CrossRef]
- ¹⁴ Tibolla, H.; Pelissari, F. M.; Rodrigues, M. I.; Menegalla, F. C.; Cellulose nanofibers produced from banana peel by enzymatic treatment: Study of process conditions. *Industrial Crops and Products.* **2016**, *95*, 664. [CrossRef]
- ¹⁵ Bifare, E. N.; Khan, S. B.; Alamry, K. A.; Asiri, A. M.; Akhtar, K. Cellulose Acetate Based Nanocomposites for Biomedical Applications: A Review. *Current Pharmaceutical Design.* **2016**, *22*, 3007. [CrossRef][PubMed]
- ¹⁶ Sulastri, A.; Rahmidar, L. Fabrication of Biomembrane from Banana Stem for Lead Removal. *Indonesian Journal of Science & Technology.* **2016**, *1*, 115. [CrossRef]
- ¹⁷ Thakur, S.; Shrivastava, B.; Ingale, S.; Kuhad, R. C.; Gupte, A. Degradation and selective ligninolysis of wheat straw and banana stem for an efficient bioethanol production using fungal and chemical pretreatment. *3 Biotech.* **2013**, *3*, 365. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁸ Ogata, B. H. Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em refinarias. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. [Link]
- ¹⁹ Lehninger, A.L.; Nelson, David L.; COX, Michael M. *Princípios de Bioquímica de Lehninger.* Porto Alegre: Artmed, 2011. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

- ²⁰ Tibolla, H.; Pelissari, F. M.; Rodrigues, M. I.; Menegallia, F. C.; Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and mechanical treatments: characterization and cytotoxicity assessment. *Food Hydrocolloids*. **2017**, *75*, 192. [[CrossRef](#)]
- ²¹ Tibolla, H.; Produção de nanofibras de celulose por hidrólise enzimática. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2014. [[Link](#)]
- ²² Alves, E. D.; Pinheiro, O. S.; Costa, A. O. S.; Costa Junior, O. F. Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. *Revista Liberato*. **2015**, *16*, 26. [[CrossRef](#)]
- ²³ Alashwal, B. Y.; Bala, M. S.; Gupta, A.; Sharma, S.; Mishra, P. Improved properties of keratin-based bioplastic film blended with microcrystalline cellulose: A comparative analysis. *Journal of King Saud University – Science*. **2019**, *1*, 1. [[CrossRef](#)]
- ²⁴ Cardoso, G. V.; Foelkel, C. E. B.; Frizzo, S. M. B.; Rosa, C. A. B.; Assis, T. F.; Oliveira, P. Efeito do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* Labill. no desempenho da polpação kraft. *Revista Ciência Florestal*. **2011**, *21*, 1. [[CrossRef](#)]
- ²⁵ Caballero, J. A.; Font, R.; Marcilla, A. Kinetic study of the secondary thermal decomposition of Kraft lignin. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. **1996**, *38*, 131. [[CrossRef](#)]
- ²⁶ Chalmers, I. R. Paper Products: Container Board. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. **2001**, *2*, 6696. [[CrossRef](#)]
- ²⁷ Stein, F. R. Modelagem de produção industrial de celulose Kraft com modelos aditivos generalizados e redes neurais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. [[Link](#)]
- ²⁸ Irvini, G. M. The significance of the glass transition of lignin in thermomechanical pulping. *Wood Science and Technology*. **1985**, *19*, 139. [[CrossRef](#)]
- ²⁹ Gustafsson, J.; Lehto, J. H.; Tienviere, T.; Ciovica, L.; Peltonen, J. Surface characteristics of thermomechanical pulps; the influence of defibration temperature and refining. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. **2003**, *225*, 95. [[CrossRef](#)]
- ³⁰ Vichi, F. M.; Marsor, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. *Química Nova*. **2009**, *32*, 757. [[CrossRef](#)]
- ³¹ Rodrigues, J. A. R. Do engenho à biorrefinaria. A usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. *Química Nova*. **2011**, *34*, 1242. [[CrossRef](#)]
- ³² Muñoz-Muñoz, D.; Pantoja-Matta, A. J.; Cuatin-Guarin, M. F. Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. **2014**, *12*, 10. [[Link](#)]
- ³³ Cherubini, F. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*. **2010**, *51*, 1412. [[CrossRef](#)]
- ³⁴ Grasel, F. S.; Stiehl, A. C. R.; Bernardi, L. P.; Herpich, T.; Behrens, M.; Andrade, J.; Schultz, J.; Mandrich, A. S. Inovação em Biorrefinarias I. Produção de Etanol de Segunda Geração a partir de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum*) e Bagaço de Cana-de-Açúcar (*Saccharum officinarum*). *Revista Virtual de Química*. **2017**, *9*, 4. [[CrossRef](#)]
- ³⁵ Santos, V. E. N. Proposta metodológica para criação de biorrefinaria de bagaço de cana produtora de bioplataformas químicas: um ensaio preliminar como parte de um sistema de simbiose industrial em Campos dos Goytacazes – RJ. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. [[Link](#)]
- ³⁶ Longe Jr.; D. Biorrefinaria da madeira eucalipto associada à indústria de celulose e papel. *Tese de doutorado*, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013. [[Link](#)]
- ³⁷ Guerrero, A. B.; Aguado, P. L.; Sánchez, J.; Curt, M. D. GIS-Based Assessment of

Banana Residual Biomass Potential for Ethanol Production and Power Generation: A Case Study. *Waste Biomass Valor.* **2016**, *7*, 405. [[CrossRef](#)]

³⁸ Gumisiriza, R.; Hawumba, J. F.; Okure, M.; Hensel, O. Biomass waste-to-energy valorization technologies: a review case for banana processing in Uganda. *Biotechnology for Biofuels.* **2010**, *10*, 1. [[CrossRef](#)][[PubMed](#)]

³⁹ Ercole, F. F.; Melo, L. S.; Alcoforado, C. L. G. C.; Revisão integrativa versus revisão sistemática. *Revista Mineira de Enfermagem.* **2014**, *18*, 1. [[CrossRef](#)]

⁴⁰ Sítio da Base de Dados *Science Direct*. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>> Acesso em: 23 agosto 2018.

⁴¹ Sítio da Base de Dados *Springer*. Disponível em: <<https://link.springer.com/>> Acesso em: 23 agosto 2018.

⁴² Shimizu, F. L.; Monteiro, P. Q.; Ghiraldi, P. H. C.; Melatia, R. B.; Pagnocca, F. C.; Souza, W.; Sant'Anna, C. Acid, alkali and peroxide pretreatments increase the cellulose accessibility and glucose yield of banana pseudostem. *Industrial Crops and Products.* **2018**, *115*, 62. [[CrossRef](#)]

⁴³ Khawas, P.; Das, A. J.; Deka, S. C. Production of renewable cellulose nanopaper from culinary banana (Musa ABB) peel and its characterization. *Industrial Crops and Products.* **2016**, *86*, 102. [[CrossRef](#)]

⁴⁴ Ávila, P. S.; Estudo dos processos de extração alcalina e hidrólise enzimática para produção de polpa solúvel grau acetato. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2015. [[Link](#)]

⁴⁵ Filho, L. C. G.; Utilização do pseudocaule de bananeira como substrato da fermentação alcoólica: avaliação de diferentes processos de despolimerização. *Dissertação de Mestrado*, Universidade da Região de Joinville, Santa Catarina, 2011. [[Link](#)]

⁴⁶ Harini, K.; Ramya, K.; Sukumar, M. Extraction of nano cellulose fibers from the banana peel and bract for production of acetyl and lauroyl cellulose. *Carbohydrate Polymers.* **2018**, *201*, 329. [[CrossRef](#)]

⁴⁷ Taherzadeh, M.J., Karimi, K. Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. *International Journal of Molecular Science.* **2008**, *9*, 1621. [[CrossRef](#)]

⁴⁸ Souza, E. L.; Sellin, N.; Marangoni, C.; Souza, O. The Influence of Different Strategies for the Saccharification of the Banana Plant Pseudostem and the Detoxification of Concentrated Broth on Bioethanol Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology.* 2017, *183*, 943. [[CrossRef](#)]

⁴⁹ Kumar, A. K.; Sharma, S. Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review. *Bioresources and Bioprocessing.* **2017**, *4*, 7. [[CrossRef](#)]

⁵⁰ Souza, O.; Schulz, M. A.; Fischer, G. A. A.; Wagner, T. M.; Sellin, N. Energia alternativa de biomassa: bioetanol a partir da casca e da polpa de banana. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental.* **2012**, *16*, 8. [[CrossRef](#)]

⁵¹ Montagnoli, M. S.; Souza, O.; Furigo Jr., A. Produção de Etanol de 2G de pseudocaule de bananeira por cocultura microbiana. *XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química.* **2018**, *1*, 5. [[CrossRef](#)]

⁵² Pirota, R. D. P. B.; Tonelotto, M.; Delabona, P. S.; Tremacoldi, C. R.; Farinas, C. S. Caracterização de fungos isolados da região Amazônica quanto ao potencial para produção das enzimas envolvidas na conversão da biomassa vegetal. *Ciência Rural.* **2015**, *45*, 9. [[CrossRef](#)]

⁵³ Motta, V. T.; *Bioquímica*. 2ª ed. MedBook: São Paulo, 2011.

⁵⁴ Wong, K. K.; Tan, L. U.; Saddler, J. N. Multiplicity of beta-1,4-xylanase in microorganisms: functions and applications. *Microbiological Review.* **1988**, *52*, 305. [[PubMed](#)]

- ⁵⁵ Ferreira, F. L.; Dall'Antonia, C. B.; Shiga, E. A.; Alvim, L. J.; Pessoni, R. A. B. Sugarcane bagasse as a source of carbon for enzyme production by filamentous fungi. *Hoehnea*. **2018**, *45*, 134. [[CrossRef](#)]
- ⁵⁶ Li, M. F.; Sun, S. N.; Xu, F.; Sun, R. C. Organosolv Fractionation of Lignocelluloses for Fuels, Chemicals and Materials: A Biorefinery Processing Perspective. *Biomass Conversion*. **2012**, *1*, 341. [[CrossRef](#)]
- ⁵⁷ Cybulska, Y.; Brudecki, G. P.; Zembrzuska, J.; Schmidt, J. E.; Lopez, C. G. B.; Thomsen, M. H. Organosolv delignification of agricultural residues (date palm fronds, *Phoenix dactylifera* L.) of the United Arab Emirates. *Applied Energy*. **2017**, *185*, 1040. [[CrossRef](#)]
- ⁵⁸ Costa, S.; Rugiero, I.; Uria, C. L.; Pedrini, P.; Tamburini, E. Lignin Degradation Efficiency of Chemical Pre-Treatments on Banana Rachis Destined to Bioethanol Production. *Biomolecules*. **2018**, *8*, 141. [[CrossRef](#)][[PubMed](#)]
- ⁵⁹ Ramos, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. *Química Nova*. **2003**, *26*, 863. [[CrossRef](#)]
- ⁶⁰ Zhang, Z.; Harrison, M. D.; Rackemann, D. W.; Doherty, W. O. S.; O'HARA, I. M. Organosolv pretreatment of plant biomass for enhanced enzymatic saccharification. *Green Chemistry*. **2016**, *18*, 360. [[CrossRef](#)]
- ⁶¹ Lü, H.; Ren, M.; Zhang, M.; Chen, Y. Pretreatment of Corn Stover Using Supercritical CO₂ with Water-Ethanol as Co-solvent. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. **2013**, *21*, 551. [[CrossRef](#)]
- ⁶² Zheng, Y.; Lin, H. M.; Wen, J.; Cao, N.; Yu, X.; Tsao, G. T. Supercritical carbon dioxide explosion as a pretreatment for cellulose hydrolysis. *Biotechnology Letters*. **1995**, *17*, 845. [[CrossRef](#)]
- ⁶³ Cha, Y. L.; Yang, J.; Ahn, J. W.; Moon, Y. H.; Yoon, Y. M.; Yu, G. D.; An, G. H.; Choi, I. H. The optimized CO₂-added ammonia explosion pretreatment for bioethanol production from rice straw. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. **2014**, *37*, 1907. [[CrossRef](#)][[PubMed](#)]
- ⁶⁴ Silveira, M. H. L. Pré-tratamento de bagaço de cana com CO₂ supercrítico na presença de etanol e líquido iônico: pré-otimização das variáveis do processo e avaliação da acessibilidade dos substratos produzidos. *Tese de doutorado*, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. [[Link](#)]

Referência Figura Adaptada

Silva, A. L. C.; Benini, S. M.; Dias, L. S. *Fórum ambiental: uma visão da multidisciplinar da questão ambiental*. 1ª ed. ANAP: Tupã, 2015

Capítulo III

Membranas de acetato de celulose a partir da celulose obtida do pseudocaule de bananeira incorporadas a extratos do fruto de *Butia catarinensis*.

Nathan Roberto Lohn Pereira

Bruna Lopes

Igor Valezan Fagundes

Rachel Faverzani Magnago

Universidade do Sul de Santa Catarina, Departamento de Ciências Ambientais,
Av. Pedra Branca, 25 - Cidade Universitária, 88137-270, Palhoça - SC, Brasil.

Resumo

A celulose presente no pseudocaule da bananeira foi extraída e acetilada para produção de membranas com potencial uso como embalagem de alimentos. Extratos da semente e da polpa do fruto de *Butia catarinensis* foram caracterizados por cromatografia e incorporados as membranas, que foram avaliadas quanto a resistência mecânica, propriedades térmicas e de intumescimento. O processo de extração da celulose proporcionou um material com cerca de 92,17% de celulose, pureza suficiente para a síntese de triacetato (GS = 2,85) e para formação de membranas via inversão de fases. A pureza do material e a acetilação da celulose, assim como a incorporação dos extratos as membranas, foram evidenciadas pelos espectros de FTIR. Os extratos de Butiá, incorporados as membranas na proporção 5%, eram formados majoritariamente por ácidos graxos saturados com significativa ação antimicrobiana. Os extratos atuaram como plastificantes, diminuindo o módulo de elasticidade e o alongamento na ruptura das membranas. A incorporação dos extratos não alterou significativamente a estabilidade térmica do material e aumentou a hidrofiliabilidade, possivelmente devido à presença de grupos funcionais de ácido carboxílico na superfície das membranas. Desta forma, os resultados obtidos apontam que as membranas produzidas são consideradas boas candidatas para uso no sistema de embalagem de alimentos.

Palavras-chave: resíduos lignocelulósicos; extração da celulose; ácidos graxos saturados; plastificantes; embalagem de alimentos.

1. Introdução

A bananicultura é fonte de grande quantidade de resíduos orgânicos, sendo gerados por safra cerca de 220 toneladas de resíduos por hectare plantado (Faradilla et al., 2018; Ingale, Joshi, & Gupte, 2014). O pseudocaule e as folhas cortadas são em maioria abandonados nas próprias plantações, caracterizando meios de proliferação de vetores. Assim, ações que promovam o reaproveitamento dos resíduos da bananicultura são necessárias e eminentes (Faradilla et al., 2018; Li, Fu, Zhan, Zhan, & Lucia, 2010; Sango et al., 2018).

A utilização de resíduos lignocelulósicos no desenvolvimento de tecnologias de embalagens, dito bioembalagens, é atraente devido a abundância de origem de matéria-prima e pelas propriedades mecânicas e com nanodimensões dos biopolímeros que possibilitam uma ampla gama de possíveis propriedades a serem exploradas. Dentre as bioembalagens, destacam-se as compostas por acetato de celulose (AC) (Candido, Godoy, & Gonçalves, 2017; Cerqueira, Rodrigues Filho, Carvalho, & Valente, 2010; Shaikh, Pandare, Nair, & Varma, 2009).

Geralmente as embalagens têm ação passiva em relação ao alimento, atuando simplesmente como uma barreira entre ele e o ambiente externo. Contudo, a incorporação de extratos ativos pode promover interações desejáveis com os alimentos, como atividade antioxidante e antimicrobiana (Cui et al., 2018; Dantas et al., 2014). Embalagens ativas podem retardar, reduzir ou mesmo inibir o crescimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes, permitindo aos produtores reduzir o uso de aditivos sintéticos adicionados diretamente à comida (Dantas et al., 2014; Marrez, Abdelhamid, & Darwesh, 2019).

O *Butia catarinensis* Noblick e Lorenzi é uma espécie endêmica da região litorânea dos estados brasileiros de Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), onde os frutos e folhas desta planta desempenham um importante papel socioeconômico (P. N. Cruz et al., 2017; Jessica F. Hoffmann, Barbieri, Rombaldi, & Chaves, 2014). É considerada uma espécie em risco de extinção de ambientes naturais, sobretudo em razão do processo de urbanização e consequente desmatamento das regiões de restinga. O óleo da amêndoa do *Butia catarinensis* possui efetiva atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli*

e *Bacillus cereus*, sugerindo assim elevado potencial à incorporação de embalagens de AC (P. N. Cruz et al., 2017). Entretanto, vale ressaltar que a adição de extratos pode afetar as propriedades térmicas e mecânicas de bioembalagens, tais como resistência a tração, estabilidade térmica e intumescimento (Dantas et al., 2014; Ghaemi et al., 2012; Marrez, Abdelhamid, & Darwesh, 2019). A análise dessas propriedades é essencial para caracterizar e avaliar a viabilidade na produção e comercialização dessas embalagens. Desta forma, propõe-se caracterizar membranas de AC produzidas a partir da celulose extraída do pseudocaule da bananicultura e incorporadas com extratos da semente e da polpa do fruto de Butiá.

2. Materiais e Métodos

O pseudocaule de bananeira (*Musa acuminata*) foi obtido em uma propriedade na cidade de São Pedro de Alcântara (latitude: 27°57'45"S; longitude: 48°47'32"W), Santa Catarina (SC), Brasil. Os frutos de *Butia catarinensis* Noblick & Lorenzi foram colhidos em uma propriedade na cidade de Laguna (28°30'21"S, 48°45'15"W), SC, Brasil.

2.1 Extração e Acetilação da Celulose

O teor de umidade do pseudocaule da bananeira foi determinado segundo o método 925.09 (AOAC, 2005). O conteúdo de celulose, hemicelulose e lignina foram calculados conforme os procedimentos descritos por Soest, Robertson & Lewis (1991) e Aziah et al. (2011). Extrações sob refluxo com uma hora de duração foram conduzidas para determinar Fibra em Detergente Neutro (FDN) e Fibra em Detergente Ácido (FDA). Os resíduos das filtrações foram lavados com água destilada e etanol, e depois secos em estufa até peso constante. A diferença de peso entre o material "pré-extração" e a amostra seca foram utilizadas para calcular o conteúdo de FDN e FDA. Para determinar o teor de lignina as amostras secas foram adicionadas a solução de ácido sulfúrico (72%), à 20 ° C por 3 h. Após lavagem com água destilada e filtragem, os resíduos foram secos em estufa até peso constante. Assim, calculou-se o teor de celulose e

hemicelulose a partir da quantidade de FDN, FDA e lignina, como consta a seguir:

Hemicelulose = FDN - FDA

Celulose = FDA - lignina.

2.1.1 Extração da Celulose

Os procedimentos utilizados para extrair a celulose do pseudocaule da bananeira foram representados na Figura 1.



Figura 1: Etapas para extração da celulose do pseudocaule da bananeira.

Primeiramente o material *in natura* foi picado e seco em estufa a 80 °C por 24 h. Em seguida foi triturado e peneirado em uma peneira de 150 mesh. Foram pesados 15 g do farelo e adicionados a 80 mL de solução de hidróxido de potássio 5%, a 70 °C, durante 50 min, sob agitação. Em seguida, elevou-se a temperatura até 90 °C e adicionou-se 30 mL de solução de peróxido de

hidrogênio 4%. Após 25 minutos filtrou-se a mistura e a fase sólida passou por segunda etapa de branqueamento com 60 mL de peróxido 4%, a 90 °C, por 20 min. Em seguida a mistura foi filtrada e a fase sólida lavada com água destilada. Por fim o material foi tratado com 70 mL de ácido clorídrico 1%, a 80 °C, durante 50 min. A mistura foi filtrada e fase sólida lavada com água destilada até pH neutro. O material foi seco em estufa à 80 °C durante 24 h para determinação do rendimento.

2.1.2 Síntese e Caracterização de Acetato de Celulose (AC)

A acetilação foi adaptada de Westrup et al. (2014), donde 10 g da amostra, 75 mL de anidro acético, 50 mL de ácido acético e 10 gotas de ácido sulfúrico foram adicionados a um balão de 250 mL equipado com um condensador de refluxo e um agitador magnético, durante 3 h a 70 ° C. As fibras acetiladas foram separadas por filtração, lavadas até pH neutro e secas num forno a 50 °C por 24 h . Pesou-se o material obtido para determinação do rendimento.

Para determinação do grau de substituição (GS) foram adicionados 5 mL de NaOH 0,25 mol·L⁻¹ e 5 mL de etanol a 0,1 g do AC produzido. Após 24 horas foram adicionados 10 mL de HCl (0,25 mol·L⁻¹), ficando em repouso por mais 30 min. Em seguida a solução foi retrotitulada com NaOH padronizado com biftalato de potássio, utilizando fenolftaleína como indicador. A determinação do GS por via química baseia-se na determinação da porcentagem de grupos acetil (GA) que foram substituídos na cadeia celulósica. Assim, o GS foi determinado a partir do valor de GA pela equação:

$$\%GA = \{[(V_{bi} + V_{bt}) \cdot \mu_b - (V_a \cdot \mu_a)] \cdot M \cdot 100\} \div mac$$

Onde:

V_{bi} = volume de NaOH adicionado ao sistema (L)

V_{bt} : volume de NaOH gasto em titulação (L)

μ_b : concentração de NaOH (mol·L⁻¹)

V_a : volume de HCl adicionado ao sistema (L)

μ_a : concentração de HCl (mol·L⁻¹)

M: peso molar do grupo acetil (43 g·mol⁻¹)

mac: peso da amostra de acetato de celulose (g)

2.2 Obtenção e caracterização de extratos do fruto do *Butia catarinensis*

Foram determinados o diâmetro longitudinal e o diâmetro equatorial dos frutos utilizando um paquímetro digital Calliper 0-150mm. O teor de umidade da polpa e da semente foram determinados conforme o método 925.09 (AOAC, 2005).

As amostras secas foram trituradas. Para a extração foram pesados 5 g do pó da amostra (polpa ou semente) e adicionado ao aparato Soxhlet, com 250 mL de solvente hexano e duração de cinco ciclos. Após a extração, o solvente foi evaporado usando um evaporador rotativo a vácuo a 40 °C. Pesou-se o material para calcular o rendimento e o extrato foi armazenado a 4 °C no escuro até realização da análise cromatográfica. O perfil de ácidos graxos dos extratos foi determinado conforme o método 996.06 (AOAC, 2002), em um cromatógrafo gasoso Shimadzu GC-2014, no laboratório de Análises LABCAL da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, Brasil).

2.3 Produção de Membranas de Acetato de Celulose

Primeiramente 1,500 g de AC foram misturados com 30 mL de diclorometano e agitados durante 20 minutos. A solução foi espalhada em uma placa de Petri para evaporação do solvente. Depois disso a placa foi imersa em banho de coagulação por uma hora, a fim de completar o processo de inversão de fase e à liberação da membrana da superfície da placa. Para as membranas incorporadas com extratos foram adicionados $\approx 1,425$ g de AC e $\approx 0,075$ g do extrato (5% em massa) também a 30 mL de diclorometano.

2.4 Caracterização das Membranas

2.4.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise qualitativa de grupos funcionais presentes no farelo do pseudocaule, no AC e nas membranas foi realizada por FTIR em um espectrofotômetro da marca Bruker, modelo Alpha. A varredura foi realizada no intervalo de comprimento de onda de 400-4000 cm^{-1} .

2.4.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise das amostras foi realizada sob uma atmosfera de nitrogênio a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min dentro de uma faixa de temperatura de 20 ° C a 900 °C usando um dispositivo TGA Q5000 (TA Instruments).

2.4.3 Espessura e Resistência Mecânica

A espessura foi analisada medindo os valores de 5 pontos aleatórios em diferentes segmentos das membranas, utilizando-se micrômetro com resolução de 0,001 mm (Mitutoyo, Série 103). Os ensaios de tração uniaxial foram realizados de acordo com a norma ASTM D-882, em uma máquina de ensaio universal da EMIC®, modelo DL-30000, operando a uma velocidade de 25 mm·min⁻¹ e equipada com uma célula de carga com capacidade de 500 N. Tiras de filme das membranas (50 mm de comprimento, 10 mm de largura e faixa de espessura de 0,100 a 0,120 mm) foram usadas para determinar o módulo de Young, resistência final e alongamento na ruptura.

2.4.4 Propriedades de Intumescimento

Os procedimentos para determinar o teor de água (WC) e o grau de intumescimento (Sw) das membranas foram adaptados de Marrez, Abdelhamid, & Darwesh (2019). O teor de água foi obtido por imersão de frações de 1cm² das membranas em água destilada por 48 h em temperatura ambiente e usando a equação a seguir:

$$WC = (W1 - W0 / W1) \times 100$$

Onde W1 e W0 são o peso das amostras intumescidas e secas, respectivamente. O Sw foi calculado usando a seguinte equação:

$$Sw = (W1 - W0 / W0)$$

O WC e o Sw foram determinados para cada hora nas oito primeiras horas da imersão, em seguida após 24 h e 48 h.

2.5 Análise Estatística

As análises de variância (ANOVA) foram realizadas utilizando-se o programa Statistica® (Statsoft, USA). As diferenças significativas entre as médias foram identificadas através do teste de Tukey ($p < 0,05$).

3. Resultados e Discussões

3.1 Extração e Acetilação da Celulose

O teor de umidade do pseudocaule da bananeira foi de 92,01% ($\pm 0,65$), valor característico desse material (Li et al., 2010; Liebl et al., 2019). A composição química do pseudocaule, em massa seca, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química do pseudocaule da bananeira.

(%)	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Cinza
Banana pseudostem	37,93 \pm 1,55	16,55 \pm 0,97	15,58 \pm 0,40	7,28 \pm 0,46
Zhang et al., 2013	32,36	14,6	18,36	-
Sango et al., 2018	38	28	14,7	-
Li et al., 2010	39,12	-	10,78	8,2
Souza et al., 2017	38,5	-	8,3	-
Cordeiro et al., 2004	34,5 - 40,2	-	12 - 12,07	13,9 - 14,6

A composição do material de partida foi semelhante à de outros estudos (Tabela 1), configurando o pseudocaule como uma potencial fonte de celulose. Após todas as etapas o material purificado era composto por 92,17% ($\pm 1,42$) de celulose, 2,64% ($\pm 0,70$) de hemicelulose e 3,03% ($\pm 0,39$) de lignina, demonstrando que as condições da extração foram adequadas para a purificação do material de partida. De cada 15 g de farelo foram obtidos 5,93 \pm 0,22 g de material purificado. Outro resultado que corrobora com a eficiência do processo de extração foi a perda total de celulose. Apenas cerca de 3,72% do conteúdo inicial de celulose foi removido durante o procedimento, enquanto que a remoção total de hemicelulose e lignina foi de aproximadamente 93,69% e 92,24% respectivamente.

O AC sintetizado apresentou um grau de substituição (GS) de 2,85, caracterizando-o como triacetato. Foram produzidos 1,51 g ($\pm 0,08$) de AC para

cada grama de material purificado, rendimento característico da síntese de triacetato (Cerqueira et al., 2010). A alta solubilização da lignina no processo de extração foi importante para alcançar um alto GS, pois a lignina compete com a celulose na acetilação (Candido et al., 2017). A hemicelulose também compete com a celulose, entretanto, em concentrações menores que 5% a hemicelulose na forma acetilada atua como plastificante, otimizando as propriedades mecânicas de membranas de AC (Shaikh et al., 2009).

3.2 Caracterização de extratos do fruto do *Butia catarinensis*

As medidas dos frutos de *Butia* foram 20,08 mm ($\pm 2,04$) de diâmetro longitudinal e 17,05 mm ($\pm 1,67$) de diâmetro equatorial. A percentagem de umidade da polpa do fruto foi de 77,05% ($\pm 1,60$) e da semente 27,62% ($\pm 1,09$), esses valores foram semelhantes aos de outras espécies do gênero *Butia spp.* (Jessica F. Hoffmann et al., 2014; Jessica Fernanda Hoffmann et al., 2017; Pereira et al., 2013).

O rendimento da extração com hexano da polpa foi de 11,26% ($\pm 1,95$). O rendimento da extração da semente foi de 17,23% ($\pm 2,76$), valor semelhante ao obtido por Cruz et al. (2017), de 17,5%. A influência da polaridade do solvente no Soxhlet e o maior rendimento obtido indicam que a matriz vegetal da semente era formada por mais componentes com baixa polaridade (Brum, de Arruda, & Regitano, 2009; P. N. Cruz et al., 2017). A Tabela 2 apresenta o perfil de ácidos graxos (AG) presentes nos extratos do fruto de *Butia catarinensis*.

Tabela 2: Porcentagem de ácidos graxos presentes nos extratos de *Butia catarinensis*.

Ácidos Graxos	Polpa	Semente
Ácido Behênico (C22:0)	0,22	
Ácido Caprílico (C8:0)	1,01	10,08
Ácido Capróico (C6:0)	4,19	0,67
Ácido Cáprico (C10:0)	0,11	10,42
Ácido Eicosadienóico (C20:2)	2,57	0,94
Ácido Esteárico (C18:0)	2,03	2,97
Ácido Heptadecanóico (C17:0)	0,11	
Ácido Heptadecenóico (C17:1)	1,01	0,52
Ácido Lignocérico (C24:0)	0,51	
Ácido Linolêico (C18:2n 6c) - ômega 6	2,90	
Ácido Linolênico (C18:3n6c) - ômega 6	0,35	
Ácido Linolênico (C18:3n3c) - ômega 3	0,16	
Ácido Láurico (C12:0)	0,15	39,56
Ácido Merístico (C14:0)	0,38	8,66
Ácido Oleico (C18:1n- 9c) ômega 9	32,17	11,34
Ácido Palmitolêico (C16:1)	1,79	
Ácido Palmítico (C16:0)	41,04	7,45
Ácido Pentadecanóico (C15:0)	0,11	
Não identificado	9,19	7,39

O extrato da semente de *Butia catarinensis* era composto por AG na faixa de ácido caprílico (C6) à ácido eicosadienóico (C20) (Tabela 2). O perfil de AG foi semelhante à de sementes de outras palmeiras, com predomínio de ácidos graxos saturados (79,81%) sobre ácidos graxos insaturados (12,8%) (De Marcano, Belén, Jiménez, & Pino, 2004; Del Río et al., 2016; Pierezan et al., 2015). O AG mais predominante foi o ácido láurico (39,56%), seguido do monoinsaturado ácido oleico (11,34%) e demais saturados, como o ácido cáprico (10,42%) e ácido caprílico (10,08%). Ácidos graxos saturados são mais resistentes à oxidação e seu uso em formulações alimentares, especialmente associado a embalagens ativas, pode contribuir para reduzir a possibilidade de rancidez oxidativa dos alimentos (Dantas et al., 2014). O ácido láurico é um dos AG saturado com maior potencial antimicrobiano (Choudhury & Zewdie, 2018; Farkuh et al., 2019; Rudyardjo & Wijayanto, 2017). Filmes incorporados com ácido láurico tem apresentado resultados promissores para inibir o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes na superfície dos alimentos (Salleh, Muhammad, & Pahlawi, 2014). O ácido oleico também apresenta potente ação antibacteriana (Yoon, Jackman, Valle-González, & Cho, 2018).

O extrato da polpa era composto por um perfil mais heterogêneo de AG, da faixa de ácido caprílico (C6) à ácido lignocérico (C24) (Tabela 2). A composição do extrato era 49,86% de AG saturados e 40,95% insaturados, incluindo mono e di-insaturados, como geralmente ocorre em óleos de polpas de frutos de palmeiras (Del Río et al., 2016). Os valores diferem de outras espécies do gênero *Butia spp.*, que apresentam quantidade maior de ácidos graxos insaturados que saturados em extratos da polpa (Jessica F. Hoffmann et al., 2014; Lopes et al., 2012). O AG mais predominante no extrato da polpa foi o ácido palmítico (41,04%), seguido do ácido oleico (32,17%), ácido cáprico (4,19%), e pelos di-insaturados ácido linolêico (2,9%) e ácido eicosadienóico (2,57%). Extratos que apresentam ácido palmítico como componente predominante apresentam ação antimicrobiana (Cui et al., 2018).

3.3 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

Através da técnica de FITR (Figura 3) evidenciou-se que houve desdesignificação do farelo tratado, como apresentado quantitativamente no item 3.1.

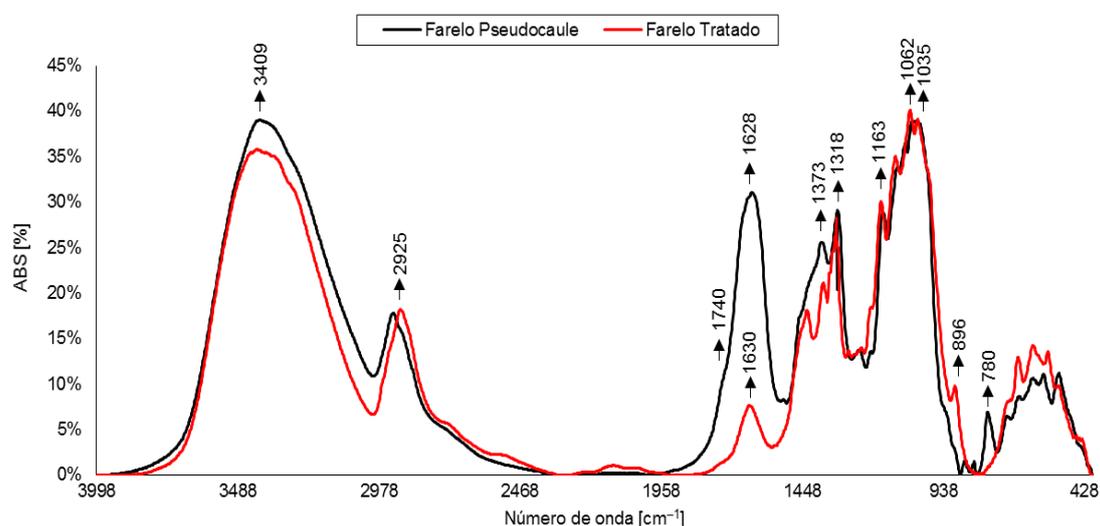


Figura 3: Espectros de FTIR do farelo do pseudocaule e do farelo após tratado.

Os espectros (Figura 3) dos farelos exibiram uma banda larga e intensa na região próxima ao pico 3409 cm⁻¹, possivelmente devido ao estiramento das ligações OH da celulose, e um pico em 2925 cm⁻¹, associado ao estiramento CH

de alifáticos saturados da celulose ou hemicelulose. De modo geral, picos observados entre 3300-3500 cm^{-1} e próximos a 2900 cm^{-1} são bandas características da celulose (M. P. Cruz, Maltha, Gomide, & Milanez, 2006; Krueger-Zerhusen, Cantero-Tubilla, & Wilson, 2018; Pandey & Pitman, 2003; Pelissari, Sobral, & Menegalli, 2014; Sun, Jing, Fowler, Wu, & Rajaratnam, 2011).

As bandas intensas na região de 1740-1628 cm^{-1} do farelo do pseudocaule indicam presença significativa de lignina e hemicelulose. Bandas intensas entre 1740-1715 cm^{-1} são associadas a vibrações de carbonilas não conjugadas da hemicelulose, enquanto que bandas entre 1660-1675 cm^{-1} são atribuídas as carbonilas conjugadas presentes na estrutura polifenólica da lignina (Pastore, de Oliveira, Rubim, & Santos, 2008). O pico em 1628 cm^{-1} possivelmente está relacionado às vibrações C=C do anel aromático da lignina. O pico em 1630 cm^{-1} no farelo tratado deve-se principalmente a deformação HOH da água absorvida, predominante nos casos de fibras branqueadas e tratadas com ácido, com possível contribuição das vibrações C=C da lignina ainda presente no farelo (Cherian et al., 2008; Tahir, Zhao, Ren, Rasool, & Naqvi, 2019; Tibolla et al., 2019).

O pico na banda 1373 cm^{-1} , mais acentuado no farelo do pseudocaule, é atribuído a deformação angular no plano de CH, presente na hemicelulose e celulose, enquanto que banda elevada em 1318 cm^{-1} é específica da celulose, configurando deformação angular no plano de CH₂ (Pandey & Pitman, 2003; Pastore et al., 2008; Tahir et al., 2019). O pico na banda 1163 cm^{-1} está associado ao estiramento assimétrico C-O-C da celulose e hemicelulose (Pastore et al., 2008).

O espectro do farelo tratado também exibiu um pico em 896 cm^{-1} , banda bem estabelecida e específica da celulose, associada a deformação angular fora do plano de CH (Alemdar & Sain, 2007; Cherian et al., 2008; Pandey & Pitman, 2003; Pelissari et al., 2014). O pico no espectro do farelo do pseudocaule na banda 780 cm^{-1} , ausente no farelo tratado, é atribuído a estiramento CH de hidrogênio aromático, presente na lignina (Pelissari et al., 2014).

Assim, a deslignificação pode ser constatada com a redução de bandas características da lignina ($1675\text{-}1628\text{ cm}^{-1}$; 780 cm^{-1}) e hemicelulose ($1715\text{-}1740\text{ cm}^{-1}$) no espectro do farelo tratado.

3.3.1 FITR das membranas de AC

A acetilação da celulose foi evidenciada comparando os espectros de infravermelho do farelo tratado e da membrana de AC oriunda desse material (Figura 4).

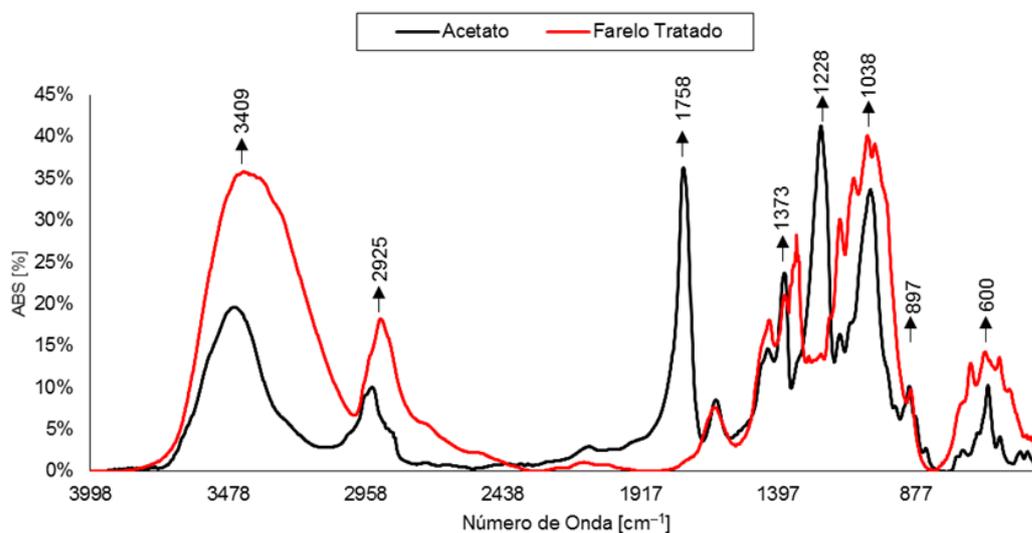


Figura 4: Espectros de FTIR do farelo tratado e da membrana de AC oriunda desse material.

O espectro da membrana apresenta uma redução de intensidade nas bandas próximas a 3409 cm^{-1} , consequente da substituição dos grupos OH pelos grupos acetil; uma banda intensa em 1758 cm^{-1} , atribuída ao estiramento da carbonila do grupo éster; uma elevação da banda em 1373 cm^{-1} , correspondente a vibração da ligação C-H presente no grupo acetil; e um pico grande na banda 1228 cm^{-1} , referente ao estiramento da ligação C-O do acetato (Candido et al., 2017; Cao et al., 2007; Sudiarti, Wahyuningrum, Bundjali, & Made Arcana, 2017).

O declínio na região atribuída ao estiramento das ligações OH da celulose e sua baixa intensidade em relação a banda atribuída ao grupo carbonila foi uma evidencia qualitativa do grau de substituição do acetato (A. C. da Cruz et al., 2011; Rodrigues Filho et al., 2008).

A incorporação dos extratos à matriz polimérica pode ser verificada comparando os espectros das membranas de AC (Figura 5), donde observa-se a elevação de picos em bandas características dos AG nas membranas com extratos.

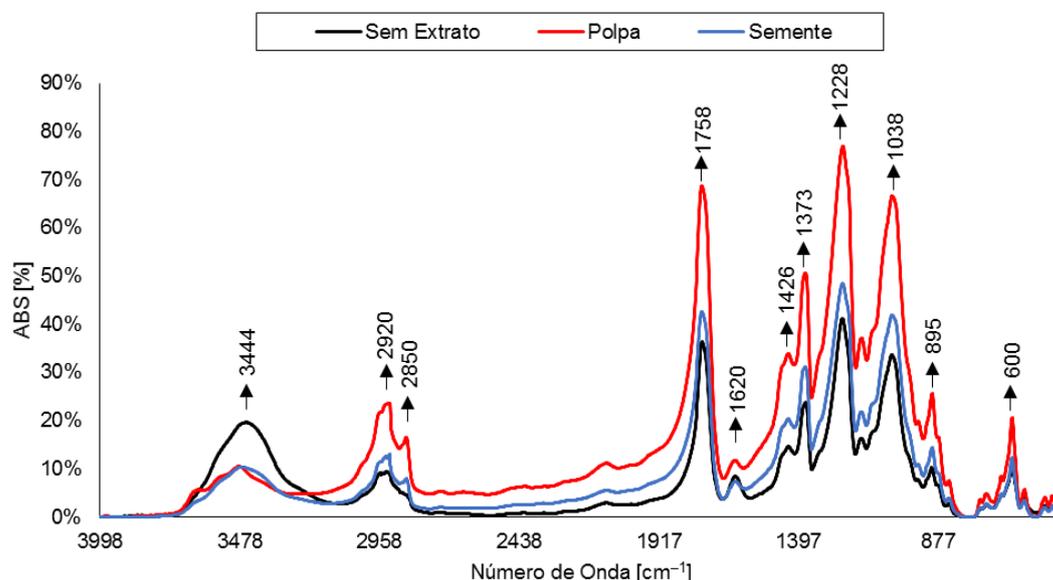


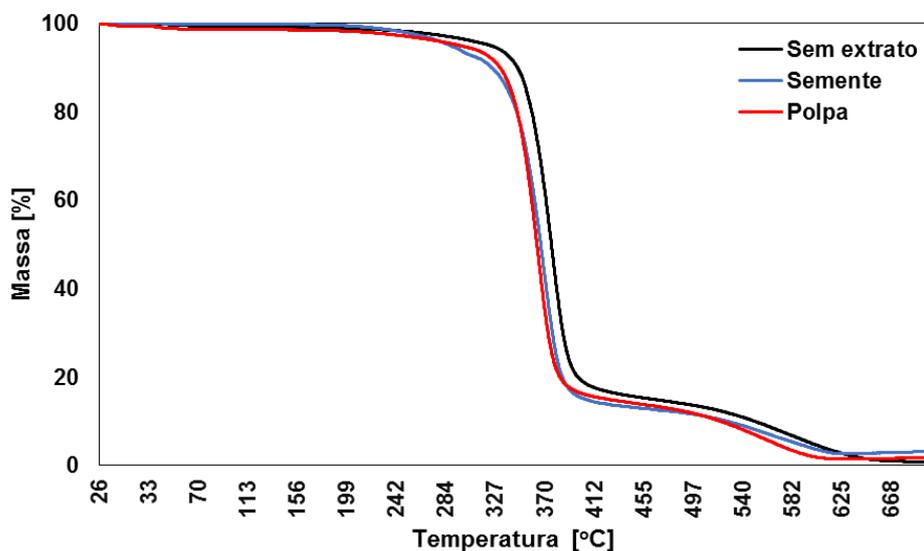
Figura 5: Espectros de FTIR das membranas de AC com e sem extratos de Butiá.

Os ácidos palmítico e oleico, componentes predominantes do extrato da polpa de *Butia catarinensis* (cromatografia gasosa - Sessão 3.2), e o ácido láurico, principal componente do extrato da semente, apresentam bandas de absorção conhecidas nas regiões de 2850 cm^{-1} e 2920 cm^{-1} , relativas ao estiramento das ligações C-H (Anuar, Ithurayasamy, & Rose, 2016; Jovic, Smolic, Jurišic, Meic, & Hrenar, 2013; Lucarini, Durazzo, Sánchez del Pulgar, Gabrielli, & Lombardi-Boccia, 2018; Niu, Zhou, Yu, Lu, & Han, 2017; Zaia, Guarnieri, Sobota, de Santana, & Zaia, 2011). Observa-se nos espectros com extratos (Figura 5) picos nessas regiões, sugerindo que o extrato foi incorporado a matriz polimérica.

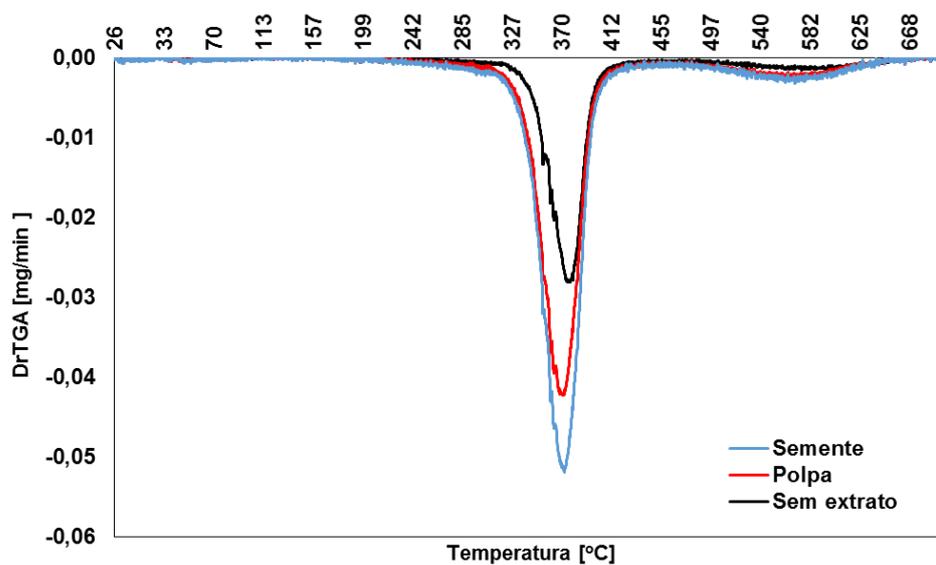
3.4 Análise Termogravimétrica (TGA)

O gráfico de TG (Figura 5a) mostrou que as membranas têm perda de massa superior a 80% na faixa de temperatura de 320 a 400 °C, intervalo característico da degradação térmica das cadeias de AC (Brites et al., 2020; Candido et al., 2017; Cao et al., 2007), e um segundo evento endotérmico entre

400 a 620 °C, atribuído a carbonização dos produtos degradados a cinzas (Arthanareeswaran, Thanikaivelan, Srinivasn, Mohan, & Rajendran, 2004; Rodríguez, Galotto, Guarda, & Bruna, 2012).



a. Curvas TGA



b. Curvas DrTGA

Figura 5: Termogramas de TGA e DrTGA das amostras de membranas de AC com e sem extratos de butiá.

Como observado na curva de perda de massa (Figura 5a), a estabilidade térmica das membranas de AC não foi alterada significativamente pela

incorporação dos extratos de butiá. Existe um pico nas curvas DrTGA (Figura 5b), com temperatura de decomposição térmica principal de 377 °C para a membrana sem extratos, 363 °C para a membrana com extrato da polpa e 368 °C para a membrana com extrato da semente. A pequena redução de temperatura de degradação nas curvas TG/DrTGA das membranas incorporadas com extratos, que demonstraram decomposição mais intensa no intervalo entre 300 a 370 °C, pode ser atribuída a degradação dos ácidos graxos, que apresentam perda de massa expressiva nesse intervalo de temperatura (Khalil, Salih, & Mustafa, 2017; Lawer-Yolar, Dawson-Andoh, & Atta-Obeng, 2019).

3.4 Espessura e Resistência Mecânica

As membranas sem extratos tiveram espessura entre 0,009 - 0,011 mm, com extratos da polpa entre 0,010 - 0,013 mm e com extratos da semente entre 0,011 - 0,012 mm. As propriedades mecânicas dos filmes também foram afetadas pela incorporação dos extratos. A Tabela 3 mostra os valores encontrados para resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de Young.

Tabela 3: Módulo de Young, alongamento na ruptura e resistência a tração das membranas de AC.

Filme	Módulo de Young (MPa)	Alongamento na ruptura (%)	Resistência a tração (MPa)
Sem extrato	31,32 ± 2,80	2,42 ± 0,02	31,06 ± 1,42
Polpa	23,59 ± 2,95	2,63 ± 0,04	28,84 ± 2,11
Semente	20,57 ± 2,45	3,01 ± 0,10	25,00 ± 1,31

As membranas de AC sem extratos apresentaram porcentagem de alongamento de 2,42 ± 0,02% e resistência a tração de 31,06 ± 1,42 MPa. Resultados semelhantes foram relatados para filmes de AC (Sudiarti et al., 2017). As membranas incorporadas com extratos apresentaram menor módulo de Young e maior porcentagem de alongamento (Tabela 3), indicando aumento na elasticidade das membranas. Esse resultado possivelmente está associado a ação plastificante dos AG, que ocasionam o enfraquecimento das interações intermoleculares polímero-polímero devido ao posicionamento das moléculas de

AG entre as cadeias poliméricas (Fakhouri et al., 2018; Vieira, Da Silva, Dos Santos, & Beppu, 2011). Assim, há o aumento na flexibilidade das cadeias poliméricas e conseqüente redução da resistência a tração das membranas com extratos (Tabela 3).

3.5 Propriedades de Intumescimento das Membranas

As membranas com extratos apresentaram aumento no inchaço e teor de água quando comparadas as membranas sem extratos (Figura 6).

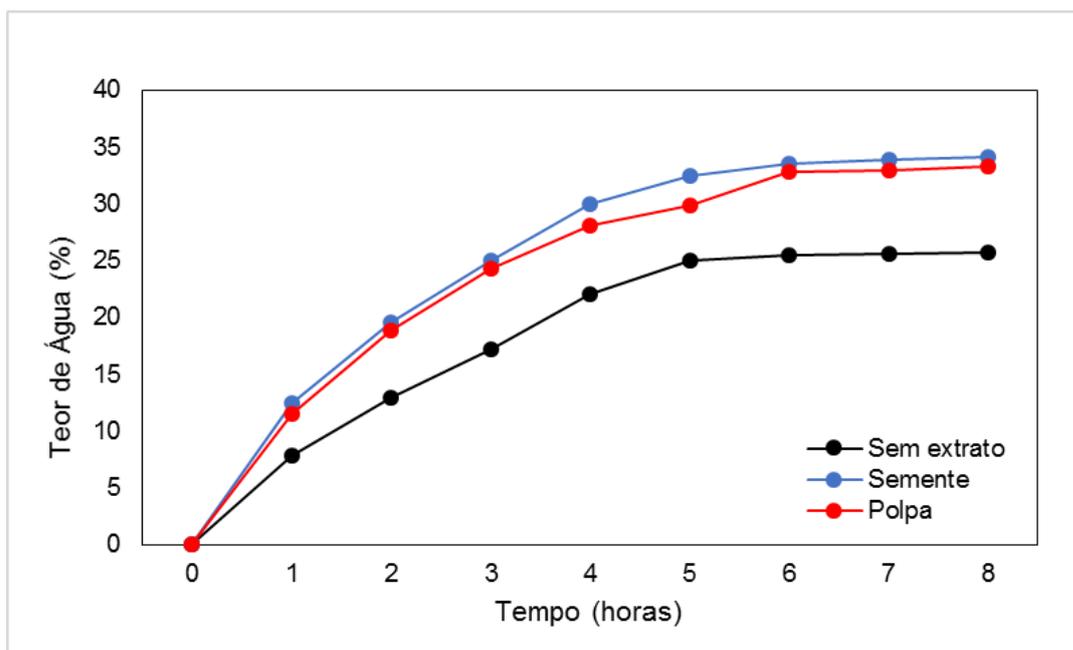


Figura 6: Teor de água das membranas de AC nas primeiras oito horas.

O aumento no teor de água nas membranas com extratos, verificado desde as primeiras horas (Figura 6), pode ser devido à presença de grupos funcionais de ácido carboxílico na superfície das membranas (Ghaemi et al., 2012). Os ácidos graxos são formados por um grupo compacto hidrofílico (contendo a função ácido carboxílico) e por com uma longa cadeia alifática não ramificada. Quando as membranas incorporadas com extratos foram imersas na água (não solvente), uma camada de moléculas de AG foi formada na superfície da membrana, no lado da região hidrofílica, ocasionando assim o aumento da hidrofiliçidade (Ghaemi et al., 2012; Yoon et al., 2018).

Todos os filmes tiveram baixo grau de intumescimento após 48 horas (Tabela 4), variando de 0,39 a 0,53, e baixo teor de água, variando de 28,02% a 34,91%.

Tabela 3: Grau de intumescimento e teor de água das membranas de AC.

Membrana	Tempo (horas)	Teor de água (%)	Grau de intumescimento
Sem extrato	24	27,38 ± 1,03	0,38 ± 0,02
	48	28,02 ± 0,97	0,39 ± 0,02
Polpa	24	32,82 ± 0,76	0,48 ± 0,02
	48	32,95 ± 1,02	0,47 ± 0,01
Semente	24	34,78 ± 0,73	0,53 ± 0,02
	48	34,91 ± 0,55	0,53 ± 0,02

Resultados semelhantes foram relatados por Marrez, Abdelhamid, & Darwesh (2019) para membranas de AC, com teor de água de cerca de 25% após 24 horas. Constatou-se que o aumento no teor de água e no grau de intumescimento foram mais expressivos nas cinco primeiras horas de imersão das membranas (Figura 6), se estabilizando e tendo pouca variação até 48 horas de imersão (Tabela 3).

4. Conclusão

A partir do estudo acima, conclui-se que: (i) o farelo do pseudocaule da bananeira, ao ser tratado via hidrólise básica, ácida e branqueamento com peróxido de hidrogênio, gerou um material com 92,17% ($\pm 1,42$) de celulose; (ii) a pureza do material foi satisfatória para a acetilação, originando AC com GS de 2,85, e para síntese de membranas via inversão de fases; (iii) quando incorporados (5%) às membranas de AC, os extratos do fruto de *Butia catarinensis*, formados majoritariamente por ácidos graxos saturados, atuaram como plastificantes, diminuindo o módulo de elasticidade e o alongamento na ruptura (iv) a incorporação dos extratos não alterou significativamente a estabilidade térmica das membranas e aumentou o grau de intumescimento (v) os resultados obtidos apontaram que as membranas produzidas são consideradas boas candidatas para uso no sistema de embalagem de alimentos.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi realizado graças a assistência da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC). Também ao professor Dr. Gabriel Oscar Cremona Parma do Laboratório de geoprocessamento (UNISUL).

Referências

- Alemdar, A., & Sain, M. (2007). Biocomposites from wheat straw nanofibers : Morphology , thermal and mechanical properties. *Composites Science and Technology*, 68, 557–565. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.05.044>
- AMERICAN OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analyses of AOAC, 17.ed. Washington, 2002. P.20-24A. [Official Method n.996-06 –Fat (total, saturated, and unsaturated) in foods].
- Anuar, S. T., Ithurayasamy, P. N., & Rose, L. C. (2016). Exploiting fatty acid-polymer-based lauric acid and chitosan as coating material for drug encapsulation. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24(6), 2116–2122. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.06.23652>
- ASTM D882-18, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org
- Aziah, N., Aziz, A., Ho, L., Azahari, B., Bhat, R., Cheng, L., ... Ibrahim, M. (2011). Chemical and functional properties of the native banana (*Musa acuminata* Â *balbisiana* Colla cv . Awak) pseudo-stem and pseudo-stem tender core flours. *Food Chemistry*, 128(3), 748–753. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.100>
- Brites, M. de M., Cerón, A. A., Costa, S. M., Oliveira, R. C., Ferraz, H. G., Catalani, L. H., & Costa, S. A. (2020). Bromelain immobilization in cellulose triacetate nanofiber membranes from sugarcane bagasse by electrospinning technique. *Enzyme and Microbial Technology*, 132(July 2019), 109384. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2019.109384>
- Brum, A. A. S., de Arruda, L. F., & Regitano, A. M. A. B. (2009). Extraction methods and quality of the lipid fraction of vegetable and animal samples. *Química Nova*, 32(4), 849–854. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400005>
- Candido, R. G., Godoy, G. G., & Gonçalves, A. R. (2017). Characterization and application of cellulose acetate synthesized from sugarcane bagasse. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.057>
- Cao, Y., Wu, J., Meng, T., Zhang, J., He, J., Li, H., & Zhang, Y. (2007).

- Acetone-soluble cellulose acetates prepared by one-step homogeneous acetylation of cornhusk cellulose in an ionic liquid 1-allyl-3-methylimidazolium chloride (AmimCl). *Carbohydrate Polymers*, 69(4), 665–672. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.02.001>
- Cerqueira, D. A., Rodrigues Filho, G., Carvalho, R. de A., & Valente, A. J. M. (2010). Caracterização de Acetato de Celulose Obtido a partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar por ¹H-RMN H-NMR Characterization of Cellulose Acetate Obtained from Sugarcane Bagasse. *Polímeros*, 20, 85–91. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282010005000017>
- Cherian, B. M., Pothan, L. A., Nguyen-Chung, T., Mennig, G., Kottaisamy, M., & Thomas, S. (2008). A novel method for the synthesis of cellulose nanofibril whiskers from banana fibers and characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5617–5627. <https://doi.org/10.1021/jf8003674>
- Choudhury, M. K., & Zewdie, B. (2018). Synthesis And Antibacterial Activity of 1-Monolaurin FEBRI. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(2), 863–867. <https://doi.org/10.13005/ojc/340233>
- Cordeiro, N., Belgacem, M. N., Torres, I. C., & Moura, J. C. V. P. (2004). Chemical composition and pulping of banana pseudo-stems. *Industrial Crops and Products*, 19(2), 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.09.001>
- Cruz, A. C. da, Meireles, C. da S., Ribeiro, S. D., Rodrigues Filho, G., de Assunção, R. M. N., Cerqueira, D. A., ... Poletto, P. (2011). Utilization of cellulose acetate produced from mango seed cellulose as matrix for production of microparticles systems. *Química Nova*, 34(3), 385–389. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000300004>
- Cruz, M. P., Maltha, C. R. A., Gomide, J. L., & Milanez, A. F. (2006). Chemical Characterization of pitch in Eucalyptus pulp and paper industry. *Química Nova*, 29(3), 459–466. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000300011>
- Cruz, P. N., Pereira, T. C. S., Guindani, C., Oliveira, D. A., Rossi, M. J., & Ferreira, S. R. S. (2017). Antioxidant and antibacterial potential of butia (*Butia catarinensis*) seed extracts obtained by supercritical fluid extraction. *Journal of Supercritical Fluids*, 119, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.09.022>
- Cui, H., Pan, H. W., Wang, P. H., Yang, X. D., Zhai, W. C., Dong, Y., & Zhou, H. L. (2018). Essential oils from *Carex meyeriana* Kunth: Optimization of hydrodistillation extraction by response surface methodology and evaluation of its antioxidant and antimicrobial activities. *Industrial Crops and Products*, 124(May), 669–676. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.041>
- Dantas, E. A., Costa, S. S., Cruz, L. S., Bramont, W. B., Costa, A. S., Padilha, F. F., ... Machado, B. A. S. (2014). Caracterização e avaliação das propriedades antioxidantes de filmes biodegradáveis incorporados com polpas de frutas tropicais. *Ciencia Rural*, 45(1), 142–148. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131458>

- De Marcano, P. E. S., Belén, D., Jiménez, N., & Pino, K. (2004). Características físico-químicas del aceite de la semilla de la coroba (*Jessenia polycarpa* karst). *Grasas y Aceites*, *55*(4), 423–427.
- de Souza, E. L., Sellin, N., Marangoni, C., & Souza, O. (2017). The Influence of Different Strategies for the Saccharification of the Banana Plant Pseudostem and the Detoxification of Concentrated Broth on Bioethanol Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *183*(3), 943–965. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2475-7>
- Del Río, J. C., Evaristo, A. B., Marques, G., Martín-Ramos, P., Martín-Gil, J., & Gutiérrez, A. (2016). Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. *Industrial Crops and Products*, *84*(February), 294–304. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.018>
- Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Caon, T., Velasco, J. I., Buontempo, R. C., Bilck, A. P., & Innocentini Mei, L. H. (2018). The effect of fatty acids on the physicochemical properties of edible films composed of gelatin and gluten proteins. *LWT - Food Science and Technology*, *87*, 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.056>
- Faradilla, R. H. F., Lee, G., Roberts, J., Martens, P., Stenzel, M., & Arcot, J. (2018). Effect of glycerol, nanoclay and graphene oxide on physicochemical properties of biodegradable nanocellulose plastic sourced from banana pseudo-stem. *Cellulose*, *25*(1), 399–416. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1537-x>
- Farkuh, L., Hennies, P. T., Nunes, C., Reis, S., Barreiros, L., Segundo, M. A., ... Cuccovia, I. M. (2019). Characterization of phospholipid vesicles containing lauric acid: physicochemical basis for process and product development. *Heliyon*, *5*(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02648>
- Ghaemi, N., Madaeni, S. S., Alizadeh, A., Rajabi, H., Daraei, P., & Falsafi, M. (2012). Effect of fatty acids on the structure and performance of cellulose acetate nanofiltration membranes in retention of nitroaromatic pesticides. *Desalination*, *301*, 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.06.008>
- Hoffmann, Jessica F., Barbieri, R. L., Rombaldi, C. V., & Chaves, F. C. (2014). *Butia* spp. (Arecaceae): An overview. *Scientia Horticulturae*, *179*, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.08.011>
- Hoffmann, Jessica Fernanda, Zandoná, G. P., dos Santos, P. S., Dallmann, C. M., Madruga, F. B., Rombaldi, C. V., & Chaves, F. C. (2017). Stability of bioactive compounds in butiá (*Butia odorata*) fruit pulp and nectar. *Food Chemistry*, *237*, 638–644. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.154>
- Ingale, S., Joshi, S. J., & Gupte, A. (2014). Production of bioethanol using agricultural waste : Banana pseudo stem. *Brazilian Journal of Microbiology*, *45*(3), 885–892. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014000300018>
- Jovic, O., Smolic, T., Jurišić, Z., Meic, Z., & Hrenar, T. (2013). Chemometric analysis of Croatian extra virgin olive oils from Central Dalmatia Region. *Croatica Chemica Acta*, *86*(3), 335–344. <https://doi.org/10.5562/cca2377>

- Khalil, M. I., Salih, M. A., & Mustafa, A. A. (2017). Study of fatty acid composition, physiochemical properties and thermal stability of broad beans (*Vicia faba*) seed oil. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 8(4), 141–146. <https://doi.org/10.5251/abjna.2017.8.4.141.146>
- Kruer-Zerhusen, N., Cantero-Tubilla, B., & Wilson, D. B. (2018). Characterization of cellulose crystallinity after enzymatic treatment using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). *Cellulose*, 25(1), 37–48. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1542-0>
- Lawer-Yolar, G., Dawson-Andoh, B., & Atta-Obeng, E. (2019). Novel phase change materials for thermal energy storage: Evaluation of tropical tree fruit oils. *Biotechnology Reports*, 24, e00359. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00359>
- Li, K., Fu, S., Zhan, H., Zhan, Y., & Lucia, L. A. (2010). Analysis of the chemical composition and morphological structure of banana pseudo-stem. *BioResources*, 5(2), 576–585.
- Liebl, G. F., de Souza, E. L., Uchôa, P. Z., Marangoni, C., Sellin, N., & Souza, O. (2019). Study of Drying of Banana Pseudo-stem and Influence of Particle Sizes on Biomass Saccharification and Cellulosic Ethanol Production. *Bioenergy Research*, 12(3), 605–625. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09995-4>
- Lopes, R. M., da Silva, J. P., Vieira, R. F., da Silva, B. D., Gomes, I. da S., & Agostini-Costa, T. da S. (2012). Composition of fat acids in pulp of native fruits from the brazilian savanna. *Rev. Bras. Frutic.*, 34(2), 635–640. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000200041>
- Lucarini, M., Durazzo, A., Sánchez del Pulgar, J., Gabrielli, P., & Lombardi-Boccia, G. (2018). Determination of fatty acid content in meat and meat products: The FTIR-ATR approach. *Food Chemistry*, 267, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.042>
- Marrez, D. A., Abdelhamid, A. E., & Darwesh, O. M. (2019). Eco-friendly cellulose acetate green synthesized silver nano-composite as antibacterial packaging system for food safety. *Food Packaging and Shelf Life*, 20(December 2018), 100302. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100302>
- Niu, S., Zhou, Y., Yu, H., Lu, C., & Han, K. (2017). Investigation on thermal degradation properties of oleic acid and its methyl and ethyl esters through TG-FTIR. *Energy Conversion and Management*, 149(17923), 495–504. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.053>
- Pandey, K. K., & Pitman, A. J. (2003). FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 52, 151–160. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(03\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(03)00052-0)
- Pastore, T. C. M., de Oliveira, C. C. K., Rubim, J. C., & Santos, K. de O. (2008). Effect of artificial weathering on tropical woods monitored by infrared spectroscopy (DRIFT). *Química Nova*, 31(8), 2071–2075. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000800030>

- Pelissari, F. M., Sobral, P. J. do A., & Menegalli, F. C. (2014). Isolation and characterization of cellulose nanofibers from banana peels. *Cellulose*, 21, 417–432. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0138-6>
- Pereira, M. C., Steffens, R. S., Jablonski, A., Hertz, P. F., Rios, A. de O., Vizzotto, M., & Flôres, S. H. (2013). Characterization, bioactive compounds and antioxidant potential of three Brazilian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 29(1), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.07.013>
- Pierezan, L., Cabral, M. R. P., Martins Neto, D., Stropa, J. M., de Oliveira, L. C. S., Scharf, D. R., ... Simionatto, E. (2015). Chemical composition and crystallization temperatures of esters obtained from four vegetable oils extracted from seeds of brazilian cerrado plants. *Química Nova*, 38(3), 328–332. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150018>
- Rodrigues Filho, G., Monteiro, D. S., Meireles, C. da S., Assunção, R. M. N. de, Cerqueira, D. A., Barud, H. S., ... Messadeq, Y. (2008). Synthesis and characterization of cellulose acetate produced from recycled newspaper. *Carbohydrate Polymers*, 73, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.010>
- Rudyardjo, D. I., & Wijayanto, S. (2017). The synthesis and characterization of hydrogel chitosan-alginate with the addition of plasticizer lauric acid for wound dressing application. *Journal of Physics: Conference Series*, 853(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/853/1/012042>
- Salleh, E., Muhammad, I. I., & Pahlawi, Q. A. (2014). Spectrum Activity and Lauric Acid Release Behaviour of Antimicrobial Starch-based Film. *Procedia Chemistry*, 9, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.05.003>
- Sango, T., Maxime, A., Yona, C., Duchatel, L., Marin, A., Kor, M., ... Lefebvre, J. (2018). Step – wise multi – scale deconstruction of banana pseudo – stem (*Musa acuminata*) biomass and morpho – mechanical characterization of extracted long fi bres for sustainable applications. *Industrial Crops & Products*, 122(June), 657–668. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.050>
- Shaikh, H. M., Pandare, K. V., Nair, G., & Varma, A. J. (2009). Utilization of sugarcane bagasse cellulose for producing cellulose acetates: Novel use of residual hemicellulose as plasticizer. *Carbohydrate Polymers*, 76(1), 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.09.014>
- Sudiarti, T., Wahyuningrum, D., Bundjali, B., & Made Arcana, I. (2017). Mechanical strength and ionic conductivity of polymer electrolyte membranes prepared from cellulose acetate-lithium perchlorate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012052>
- Sun, X. F., Jing, Z., Fowler, P., Wu, Y., & Rajaratnam, M. (2011). Structural characterization and isolation of lignin and hemicelluloses from barley straw. *Industrial Crops and Products*, 33(3), 588–598. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.005>

- Tahir, M. H., Zhao, Z., Ren, J., Rasool, T., & Naqvi, S. R. (2019). Thermo-kinetics and gaseous product analysis of banana peel pyrolysis for its bioenergy potential. *Biomass and Bioenergy*, 122(January), 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.009>
- Tibolla, H., Pelissari, F. M., Martins, J. T., Lanzoni, E. M., Vicente, A. A., Menegalli, F. C., & Cunha, R. L. (2019). Banana starch nanocomposite with cellulose nano fi bers isolated from banana peel by enzymatic treatment : In vitro cytotoxicity assessment. *Carbohydrate Polymers*, 207(May 2018), 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.079>
- Van Soest, P.V., Robertson, J., Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.
- Vieira, M. G. A., Da Silva, M. A., Dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, 47(3), 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>
- Westrup, J. L., Da Silva Paula, M. M., Dal-Bó, A. G., Benavides, R., Caldart, C. A., Coronetti, J. C., ... Da Silva, L. (2014). Effect of chemical treatments on the properties of hdpe composites with Luffa cylindrical fiber. *Cellulose Chemistry and Technology*, 48(3–4), 337–344.
- Yoon, B. K., Jackman, J. A., Valle-González, E. R., & Cho, N. J. (2018). Antibacterial free fatty acids and monoglycerides: Biological activities, experimental testing, and therapeutic applications. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 19). <https://doi.org/10.3390/ijms19041114>
- Zaia, D., Guarnieri, L., Sobota, K., de Santana, H., & Zaia, C. (2011). Development of a method for determination of fatty acid using FT-IR spectroscopy. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 32(1), 79–86. <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2011v32n1p79>
- Zhang, C., Li, J., Liu, C., Liu, X., Wang, J., Li, S., ... Zhang, L. (2013). Bioresource Technology Alkaline pretreatment for enhancement of biogas production from banana stem and swine manure by anaerobic codigestion. *Bioresource Technology*, 149, 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.070>

Conclusão Geral

Finalizando a apresentação desse trabalho, destacam-se os passos seguidos para chegar-se até aqui:

Primeiramente verificou-se os potenciais danos causados pelo descarte inadequado dos resíduos gerados pela bananicultura. A partir daí identificou-se alternativas para valorização desse resíduo, culminando na primeira parte deste estudo “Reaproveitamento de Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura: Uma Revisão Sistemática”. A produção de biopolímeros e embalagens a partir dos componentes do pseudocaule da bananeira, especialmente celulose, foi um dos procedimentos encontrados para atribuir valor agregado aos resíduos.

Assim, buscou-se conhecer os processos empregados para isolar a celulose dos resíduos lignocelulósicos, culminando na segunda parte desse trabalho, “Resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sobre os processos químicos de extração da celulose”. O tratamento químico com ácidos, bases e agentes branqueadores foram os principais métodos identificados para extrair a celulose.

Desta forma, foram realizados os testes experimentais que originaram o processo de extração da celulose descrito no terceiro capítulo, que forneceu um material com pureza satisfatória para a síntese de acetato de celulose. O acetato de celulose produzido possibilitou a elaboração de membranas ativas que apresentaram propriedades térmicas, mecânicas e de intumescimento com significativo potencial para o uso em embalagens de alimentos. Entretanto, vale destacar que demais experimentos podem ser realizados objetivando otimizar o processo e a qualidade das membranas.

A seguir são descritas algumas sugestões para investigações futuras:

- Avaliar o potencial de outras partes (folhas e o “coração”) da bananeira que também são majoritariamente descartados como matérias-primas para obtenção de celulose;
- Explorar o uso de enzimas para extração da celulose dos resíduos da bananicultura;

- Caracterizar extratos de butiá extraídos via Soxhlet com outros solventes, como etanol, e produzir membranas com esses extratos;
- Investigar o potencial antioxidante e antimicrobiano das membranas de AC incorporadas com extratos de butiá;
- Caracterizar as membranas quanto a: permeabilidade ao oxigênio; liberação do extrato em água e demais solventes; potencial zeta; MEV; entre outros.