



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

IGOR MACIEL DA COSTA FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO DE FILME DE AMIDO DE PITOMBA (*Talisia esculenta*)
REFORÇADO COM NANOCRISTAIS DE AMIDO DE JACA (*Artocarpus
heterophyllus L.*) PARA APLICAÇÃO COMO CURATIVO**

**CAMPINA GRANDE
2019**

IGOR MACIEL DA COSTA FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO DE FILME DE AMIDO DE PITOMBA (*Talisia esculenta*)
REFORÇADO COM NANOCRISTAIS DE AMIDO DE JACA (*Artocarpus
heterophyllus L.*) PARA APLICAÇÃO COMO CURATIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Química Industrial da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Química Industrial.

Área de concentração: Biomateriais.

Orientador: Prof. Dra. Maria Roberta de Oliveira Pinto

**CAMPINA GRANDE
2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F363d Fernandes, Igor Maciel da Costa.

Desenvolvimento de filme de amido de pitomba (*Talisia esculenta*) reforçado com nanocristais de amido de jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.) para aplicação como curativo [manuscrito] / Igor Maciel da Costa Fernandes. - 2019.

65 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.

"Orientação : Profa. Dra. Maria Roberta de Oliveira Pinto, Departamento de Química - CCT."

1. Feridas cutâneas. 2. Biopolímeros. 3. Filme de amido. 4. Nanocristais. I. Título

21. ed. CDD 660.6

IGOR MACIEL DA COSTA FERNANDES

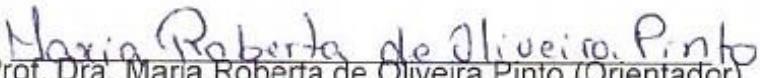
DESENVOLVIMENTO DE FILME DE AMIDO DE PITOMBA (*Talisia esculenta*)
REFORÇADO COM NANOCRISTAIS DE AMIDO DE JACA (*Artocarpus
heterophyllus L.*) PARA APLICAÇÃO COMO CURATIVO

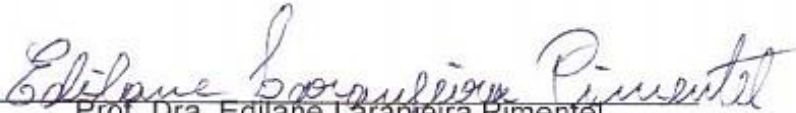
Trabalho de Conclusão de Curso em
Química Industrial da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Química Industrial.

Área de concentração: Biomateriais.

Aprovada em: 30/12/2019

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dra. Maria Roberta de Oliveira Pinto (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dra. Edilane Laranjeira Pimentel
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Dr. Solomon Kweku Sagoe Amoah
Pesquisador do Laboratório CERTBIO/UAEMa (UFCG)

Ao meu avô João Batista, exemplo de homem honrado e íntegro (in memoriam), ao meu grande amigo Frederico, por todos os sorrisos que me proporcionou (in memoriam), DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ednaldo Maciel e Maria Aparecida, por serem meu porto seguro, por serem meu afago no fim de um dia difícil e por todo amor, carinho, preocupação e dedicação.

A minha avó Maria Carmelita, por todo o carinho e amor, por todos os cuidados e preocupações e por ser um exemplo de empatia e integridade.

A minha orientadora Prof. Dra. Maria Roberta de Oliveira Pinto, por ter acreditado em mim e sempre me motivar a seguir em frente durante a pesquisa, por ter se tornado uma grande amiga e me tratado como um filho e por ser exemplo de mulher forte e ótima profissional. Minha eterna gratidão.

A minha amiga Germana Leôncio, por toda a sua parceria durante as aulas, pesquisa e estágio, por ser uma pessoa especial em minha vida, por sempre me estender a mão nos momentos difíceis e nunca ter me deixando sozinho, por todo carinho, conselhos e preocupações e por ter se tornado uma verdadeira irmã. Gratidão.

A minha amiga mais antiga Rayane Araújo, por todos esses 15 anos de amizade, por sempre me aconselhar e “puxar minhas orelhas” quando necessário, por sempre desejar e torcer por minhas conquistas, pelas vezes que chorou junto comigo ao ver a minha dor, por ser um exemplo de mulher que enfrenta os desafios que a vida lhe impõe e por ser minha irmã. Gratidão.

Aos meus amigos do grupo “*Friends*”, Geovana, Clara, Alexia e Osvaldo, por sempre me acolherem, por todo o carinho que compartilhamos, por todas as risadas, por sempre se preocuparem comigo e por serem um porto seguro e uma família para mim.

A Prof. Dra. Sara Regina, por confiar e acreditar no meu potencial, por sempre me motivar a busca o melhor de mim, por todos os momentos descontraídos e por ter se tornado uma amiga tão importante e especial para mim.

Aos meus amigos do grupo “Os sete monstros”, por todo o companheirismo durante a graduação, por todos os momentos inusitados que compartilhamos e por todos os sorrisos e apoio durante a caminhada.

Aos meus companheiros do Grupo de estudos em Ciências Forense, por todo o aprendizado e conhecimentos compartilhados e por todo o companheirismo e amizade.

Aos meus companheiros do laboratório CERTBIO/UFCG, por terem aberto as portas para mim e me acolhido, por todos os conhecimentos e experiências que me transmitiram, por toda a gentileza e respeito e por todo apoio e auxílio durante a realização da pesquisa. Gratidão.

“Olhe para as estrelas e não para os seus pés. Tente achar sentido no que vê e se pergunte sobre o que faz o Universo existir. Seja curioso.”

Stephen Hawking

RESUMO

O emprego de facilitadores da cicatrização de feridas se mostra como uma alternativa promissora no tratamento dessas lesões, tornando-os alvos de investigações no desenvolvimento de novos biomateriais com enfoque na medicina regenerativa. Os biopolímeros são a classe de materiais que tem se destacado na produção destes biomateriais. Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi produzir filmes de amido de Pitomba (*Talisia esculenta*) reforçados com nanocristais de amido de Jaca (*Artocarpus heterophyllus L.*) para aplicação como curativo. O amido de pitomba foi obtido por meio da trituração dos caroços, previamente tratados, com água destilada, seguida da filtração da suspensão, decantação e liofilização. Os nanocristais foram produzidos através de hidrólise ácida do amido de jaca obtido no laboratório CERTBIO/UAEMa/UFCG. Os filmes foram elaborados através da mistura do amido com água e glicerol na concentração de 40% (em relação à massa de amido) e os nanocristais foram adicionados como agente de reforço. Para caracterização, foram realizadas análises por Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Difração de raios-X (DRX), Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC), propriedades mecânicas, e por intumescimento. Os filmes apresentaram uma boa transparência, uniformidade, fácil manuseabilidade, entretanto, houve formação de pequenas bolhas na superfície dos filmes reforçados. Os nanocristais influenciaram a espessura do filme reforçado, contudo, ambos apresentaram valores desejáveis para curativos. O FTIR apresentou bandas de absorção características do amido utilizado. O DRX apresentou picos de maior intensidade e um aumento no índice de cristalinidade dos nanocristais em comparação aos resultados do amido de jaca nativo. O DSC demonstrou que a adição dos nanocristais diminuiu a temperatura de fusão do filme. Entretanto, o filme reforçado apresentou alterações nos valores de tensão de ruptura e módulo de Young e um aumento da porcentagem de alongamento, como também, um maior índice de absorção em todas as soluções de intumescimento. Os filmes reforçados obtiveram melhores resultados na grande maioria das análises, tornando-o mais atrativo do ponto de vista biomédico, devido possuir características promissoras para aplicação como curativo de feridas cutâneas.

Palavras-Chave: Feridas cutâneas. Biopolímeros. Filme de amido. Nanocristais.

ABSTRACT

The use of wound healing facilitators is a promising alternative in the treatment of these injuries, making them the target of investigations in the development of new biomaterials focusing on regenerative medicine. Biopolymers are the class of materials that have stood out in the production of these biomaterials. Based on this, the objective of this work was to produce Pitomba (*Talisia esculenta*) starch films reinforced with jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) nanocrystals for application as a dressing. Pitomba starch was obtained by grinding the previously treated lumps with distilled water, followed by filtration of the suspension, decantation and lyophilization. The nanocrystals were produced by acid hydrolysis of jackfruit starch obtained from CERTBIO / UAEMa / UFCG laboratory. The films were made by mixing starch with water and glycerol at 40% concentration (relative to starch mass) and nanocrystals were added as reinforcing agent. For characterization, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-ray Diffraction (XRD), Exploratory Differential Calorimetry (DSC), mechanical properties, and swelling analyzes were performed. The films showed good transparency, uniformity, easy handling, however, small bubbles were formed on the surface of the reinforced films. The nanocrystals influenced the thickness of the reinforced film, however, both presented desirable values for dressings. The FTIR presented characteristic absorption bands of the starch used. The XRD showed higher intensity peaks and an increase in the crystallinity index of the nanocrystals compared to the native jackfruit starch results. The DSC demonstrated that the addition of nanocrystals decreased the melting temperature of the film. However, the reinforced film showed changes in Young's stress and modulus values and an increase in elongation percentage, as well as a higher absorption rate in all swelling solutions. The reinforced films obtained better results in the vast majority of analyzes, making it more attractive from a biomedical point of view, as they have promising characteristics for application as a wound dressing.

Keywords: Skin wounds. Biopolymers. Starch film. Nanocrystals

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pitombeira.....	18
Figura 2 – Pitomba no estado de maturação.....	19
Figura 3 – Estrutura da amilose.....	21
Figura 4 – Estrutura da amilopectina.....	22
Figura 5 – Fórmula estrutural da molécula do glicerol.....	28
Figura 6 – Mecanismo da hidrólise ácida do amido.....	30
Figura 7 – Nanocristais obtidos com ácido sulfúrico e com ácido clorídrico.....	31
Figura 8 – Caroços de pitomba	33
Figura 9 – Suspensão de amido	34
Figura 10 – Preparo dos filmes sem reforço	34
Figura 11 – Suspensão de amido após neutralização.....	35
Figura 12 – Homogeneização	36
Figura 13 – Preparo dos filmes reforçados	37
Figura 14 – Amido extraído do caroço de pitomba.....	40
Figura 15 – Filmes de amido sem NCA.....	40
Figura 16 – Nanocristais de amido de jaca.....	41
Figura 17 – Filme reforçado com NCA	42
Figura 18 – Difratogramas do amido de jaca nativo.....	43
Figura 19 – Difratogramas dos NCA de jaca.....	43
Figura 20 – FTIR do filme de amido de pitomba sem e com os NCA.....	47
Figura 21 – Termograma de DSC para o filme sem NCA.....	48
Figura 22 – Termograma de DSC para o filme com NCA.....	48
Figura 23 – Índice de intumescimento nas primeiras horas do filme sem NCA.....	50
Figura 24 – Índice de intumescimento nas primeiras horas do filme com NCA.....	50
Figura 25 – Índice de intumescimento do filme sem NCA durante toda a análise..	52
Figura 26 – Índice de intumescimento do filme com NCA durante toda a análise..	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos curativos.....	17
Tabela 2 – Características de amidos de diferentes fontes vegetais.....	20
Tabela 3 – Potencial de substituição de polímeros fósseis por biopolímeros.....	24
Tabela 4 – Métodos de preparação de NCA e suas características.....	32
Tabela 5 – Média da espessura dos filmes.....	44
Tabela 6 – Propriedades mecânicas dos filmes.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DRX	Difração de raios-X
DSC	Calorimetria Diferencial Exploratória
FTIR	Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier
GRAS	<i>Generally Regarded as Safe</i>
NCA	Nanocristais de amido
PA	Poliamida
PBS	Solução tampão fosfato
PC	Policarbonato
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Politereftalato de etileno
PHB	Polihidroxibutirato
PHBhx	Polihidroxibutirato-co-polihdroxihexanoato
PLA	Poliácido láctico
PMMA	Polimetilmetacrilato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Feridas cutâneas.....	16
2.2	Curativo.....	16
2.3	Pitomba (<i>Talisia esculenta</i>)	18
2.4	Amido.....	20
2.5	Biopolímeros.....	23
2.6	Filme.....	24
2.7	Plastificante.....	26
2.8	Nanocristais de amido.....	28
3	METODOLOGIA	33
3.1	Materiais.....	33
3.2	Métodos.....	33
3.2.1	<i>Extração do amido do caroço da pitomba (Talisia esculenta)</i>	33
3.2.2	<i>Confecção dos filmes de amido de pitomba</i>	34
3.2.3	<i>Preparação dos nanocristais de amido de jaca</i>	35
3.2.4	<i>Preparação dos filmes reforçados com NCA</i>	36
3.2.5	<i>Caracterizações</i>	37
3.2.5.1	<i>Difração de raios-X (DRX)</i>	37
3.2.5.2	<i>Espessura</i>	38
3.2.5.3	<i>Propriedades mecânicas</i>	38
3.2.5.4	<i>Espectroscopia na Região de Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR</i>	38
3.2.5.5	<i>Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)</i>	38
3.2.5.6	<i>Intumescimento</i>	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	Amido de pitomba e filme sem reforço.....	40
4.2	Nanocristais de amido de jaca.....	41
4.3	Filmes de amido de pitomba com NCA.....	42
4.4	Caracterização.....	43

4.4.1	<i>Difração de raios-X (DRX)</i>	43
4.4.2	<i>Espessura</i>	44
4.4.3	<i>Propriedades mecânicas</i>	45
4.4.4	<i>Espectroscopia na Região de Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR</i>	46
4.4.5	<i>Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)</i>	47
4.4.6	<i>Intumescimento</i>	49
5	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Lesões teciduais ocorrem por diferentes fatores, podendo gerar significativas perdas funcionais e, em muitas situações, apresentam-se como verdadeiros desafios para os profissionais de saúde (MATOS et al., 2019). Em vista disso, o emprego de facilitadores da cicatrização de feridas, com a finalidade reparatória direta ou indireta, tem se mostrado como uma alternativa promissora, como também, alvo de investigações no desenvolvimento de novos métodos e materiais para o tratamento das lesões (RABBERS, 2016).

A engenharia de tecidos tem utilizado matrizes, blendas, filmes, compósitos, com a finalidade de aumentar a aderência, proliferação e diferenciação celular, levando a regeneração de um tecido (AHSAN et. al., 2018). Esses materiais são desenvolvidos para aplicação nos mais diversos tipos de tecidos, como: ósseos, cartilagosos, lentes de contato, tecidos vascularizados e tecido cutâneo (LIU et. al., 2018; NASCIMENTO; LOMBELLO, 2016).

Os biomateriais são materiais bioativos que têm a capacidade de interagir com tecidos naturais e por isso têm sido extensivamente usados para a obtenção de suportes destinados à medicina regenerativa (BORSCHIVER; ALMEIDA; ROITMAN, 2008; VUKAJLOVIC et. al., 2019) por possuírem biocompatibilidade, biodegradabilidade, hemocompatibilidade, atoxicidade, e serem anticarcinogênico (GHASEMIMOBARAKEH et. al., 2019).

Neste sentido, biopolímeros é a classe de materiais que tem se destacado no processamento de biomateriais, por possuírem as características necessárias em um biomaterial, como também, semelhança com a matriz extracelular e permitirem a fixação, o crescimento e a diferenciação celular estimulando o processo de cicatrização de lesões (GHOSAL et. al., 2019). Entre os principais biopolímeros encontra-se o amido, um polímero natural, biodegradável, biocompatível, com ação antimicrobiana, biossintetizado por diversas espécies vegetais na forma de grânulos semicristalinos (BERTONILI et al., 2009).

Filmes de amido apresentam baixo custo de produção, demonstrando-se como uma alternativa potencial na substituição de insumos usualmente empregados na fabricação de novos materiais para aplicações biomédicas, como curativos. Entretanto, este tipo de filme pode apresentar fracas propriedades mecânicas,

elevada sensibilidade às mudanças ambientais, como umidade, temperatura e pH, além de pobre estabilidade em processamento (GAO et al., 2012).

Diante disso, o desenvolvimento de filmes através da incorporação de nanocristais de amido como agente de reforço, afim de melhorar as propriedades do material, se tornou uma alternativa para sobrepor as desvantagens observadas nos filmes.

Os nanocristais de amido (NCA) são um tipo de nanomaterial com propriedades cristalinas resultantes da quebra da estrutura semicristalina dos grânulos de amido por meio de uma hidrólise ácida das partes amorfas em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização (LE CORRE; ANGELLIER-COUSSY, 2014; LIN et al., 2011).

Kristo e Biliaderis (2007), bem como, Angellier et al. (2005), avaliaram a utilização de nanocristais de amido como agentes de reforço e descobriram que a incorporação destes, não só melhorou as propriedades mecânicas e de barreiras, como também a biodegradabilidade dos materiais.

Diante do exposto, o presente trabalho teve o objetivo de produzir filmes a partir de amido extraído de caroços de pitomba, como também, a produção de filmes de mesma matriz polimérica reforçados com nanocristais de amido de jaca obtidos por meio de hidrólise ácida com H_2SO_4 e, diante de suas propriedades químicas e físicas, avaliar a viabilidade de ambos os materiais serem utilizados como curativos de lesões cutâneas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Feridas cutâneas

A pele, o maior órgão do corpo humano, corresponde a aproximadamente 16% do peso corporal e é composta por duas camadas: epiderme e derme (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1999). Por ser a primeira barreira de proteção do organismo, está sujeita a diversas formas de lesões, como feridas, o que torna a sua capacidade de reparo um fator importante para a sobrevivência (NOGUEIRA; KITAMURA; AGUIAR, 2005).

As feridas podem ser agudas e de fácil cicatrização ou crônicas quando ultrapassam seis semanas para cicatrizar, sendo consideradas um problema de saúde pública, devido ao impacto psicológico, social e econômico para o paciente (MANDELBAUM; DI SANTIS; MANDELBAUM, 2003).

O pH do tecido lesionado é ligeiramente ácido, estando na faixa entre 5,8 e 6,6, para que as funções celulares ocorram adequadamente, entretanto, este pode ser alterado por secreções (urina, fezes) e certos antissépticos (FLORIANÓPOLIS, 2008).

Após uma ferida, diversos eventos bioquímicos se estabelecem afim de reparar o dano e promover a cicatrização (PAGANELA et al., 2009). A cicatrização é o processo pelo qual um tecido lesado é substituído por tecido conjuntivo vascularizado, quer a lesão tenha sido traumática ou necrótica (PANOBIANCO et al., 2010). Logo, o processo de cicatrização tem o objetivo de restabelecer a homeostasia tecidual (CAVALCANTE et al., 2012). Diante disso, se faz necessário ter conhecimento sobre tal processo, para que se possa intervir e auxiliar na aceleração do mesmo.

2.2 Curativo

Desde a antiguidade, é do interesse da medicina os cuidados com as perdas de continuidade do tegumento cutâneo. Métodos clínicos e cirúrgicos são utilizados no tratamento de feridas e, dentre os clínicos, o curativo é o mais utilizado no auxílio da reparação tecidual (CHUNG; GLORI, 2009).

Curativo, ou cobertura, é o meio terapêutico que cobre uma ferida com o objetivo de favorecer o processo de cicatrização e protegê-la contra agressões externas, mantendo-a úmida e preservando a integridade de sua região periférica (DEALEY, 2001).

Quando são usados em contato direto com o tecido lesado, o curativo é dito primário, e secundário, quando colocados sobre o curativo primário. Algumas coberturas destinam-se a atuar como curativo secundário; outros, por sua vez, requerem a utilização da cobertura secundária (MANDELBAUM; DI SANTIS; MANDELBAUM, 2003).

Segundo Fan et al. (2011), curativos são classificados em passivos, com princípios ativos, inteligentes, biológicos e compostos. A Tabela 1 enumera os tipos de curativos.

Tabela 1 – Classificação dos curativos

Curativos passivos	Filme transparente Espuma polimérica Hidrocoloide Hidrogel
Curativos com princípios ativos	Alginato Carvão ativado Placas de prata
Curativos inteligentes	Matriz de colágeno Matriz de celulose
Curativos biológicos	Pele alógena

Fonte: Fan et al. (2011, com adaptações).

O curativo ideal deve manter a umidade na interface da ferida, estar isento de partículas e tóxicos contaminadores, remover o excesso de exsudação, fornecer isolamento térmico e permitir a troca sem provocar traumas (FLORIANÓPOLIS, 2008).

Um arsenal terapêutico vasto capaz de auxiliar o reparo tecidual em várias situações já é uma realidade. Entretanto, por mais que a variedade de curativos seja cada vez maior e a pressão da indústria farmacêutica para ocupar espaço no mercado não pare de crescer, ainda não se têm curativos ideais para uma lesão cutânea específica (SMANIOTTO et al., 2010).

2.3 Pitomba (*Talisia esculenta*)

A família Sapindaceae é predominantemente distribuída nas regiões tropical e subtropical do País. São árvores com folhas alternadas ou opostas, com flores usualmente unissexuais, frutos carnosos ou secos e sementes sem endosperma. Compreende 133 gêneros (49 monotípicos) e cerca de 1450 espécies (HARRINGTON et al, 2005).

Natural do Brasil, a pitombeira (*Talisia esculenta*), pertencente à família das Sapindáceas, é encontrada nas capoeiras ralas do Amazonas, Pará, Maranhão, Ceará, Paraíba, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Pernambuco, na mata pluvial do Paraná e nas matas de terra firme ao redor de Manaus (GUARIM NETO, 1978).

A pitombeira, demonstrada na Figura 1, desenvolve-se tanto no interior da mata primária densa como em formações secundárias, porém sempre em várzeas aluviais entorno de vales dos ecossistemas de Cerrado, Mata Atlântica e Floresta Amazônica (KOHAMA et al, 2006) e floresce entre os meses de agosto e outubro, a safra ocorre entre os meses de janeiro a março (GUARIM NETO et al., 2003).

Figura 1 – Pitombeira



Fonte: Costa (2011).

Seus frutos, as pitombas, ilustradas na Figura 2, são globosas, com semente grande e ovular, coberta com arilo agridoce, variando de branco a transparente quando maduro, os quais são saborosos e comercializados, especialmente nas regiões Norte e Nordeste do país (URSULINO, 2009). Ocorrem variações quanto ao

tamanho e rendimento em polpa dos frutos e conteúdo de sólidos solúveis da polpa (GOMES, 1975).

Figura 2 – Pitomba no estado de maturação



Fonte: Costa (2011).

Comercializada em feiras livres e supermercados, possui grande aceitação entre a população nordestina, podendo ser consumida *in natura*. Sua polpa é utilizada na fabricação de compotas, geleias e doces (GUARIM; SANTANA; SILVA, 2000; SANTOS; JUNIOR; PRATA, 2012).

Em seu estudo sobre a composição química de frutos do cerrado brasileiro, Silva et al. (2008) realizaram a caracterização da polpa da pitomba, na qual apresentou valor energético total de 56,35 Kcal/100g, umidade 83,16 b.u., proteínas 1,15g/100g, lipídios 0,19g/100g, carboidratos 12,51g/100g, fibra alimentar 2,40 g/100g e resíduo mineral fixo de 0,61g/100g.

Dentre as formas de consumo do fruto, destaca-se a produção de chás para fins medicinais, como o chá das sementes, utilizado para os problemas de desidratação, enquanto o das folhas é indicado para dores no quadril e rins (GUARIM, 1996). Prance e Silva (1975), estudando as árvores de Manaus, citaram que as sementes cozidas são usadas no tratamento de diarreias e como adstringente.

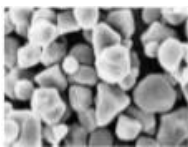

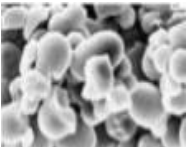
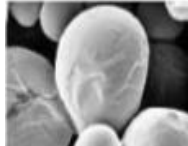
As sementes de pitomba têm sido estudadas como fonte de compostos com atividade inseticida, apresentando resultados promissores tanto para extratos vegetais, quanto para o óleo essencial (SANTOS et al, 2008; FREIRE et al, 2009; FREIRE et al, 2012).

2.4 Amido

O amido é o polissacarídeo de reserva dos vegetais e está armazenado sob a forma de grânulos no endosperma de sementes de cereais e leguminosas, tubérculos, frutos, sementes de frutos e em muitos outros órgãos de reserva de plantas (RAIGOND et al., 2015). As variações de tamanho, forma, associações e composição desses grânulos são dependentes de sua origem botânica (VALDEJÃO; JANSON, 1996; TESTER; KARKALAS, 2001) conforme demonstrado na Tabela 2.

Quimicamente o amido é um carboidrato formado por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio na razão 6:10:5 ($C_6H_{10}O_5$), sendo a amilose e amilopectina seus principais componentes, representando aproximadamente 98-99% do peso seco (BULÉON et al., 1998; WANI et al., 2010; LEONEL et al., 2011).

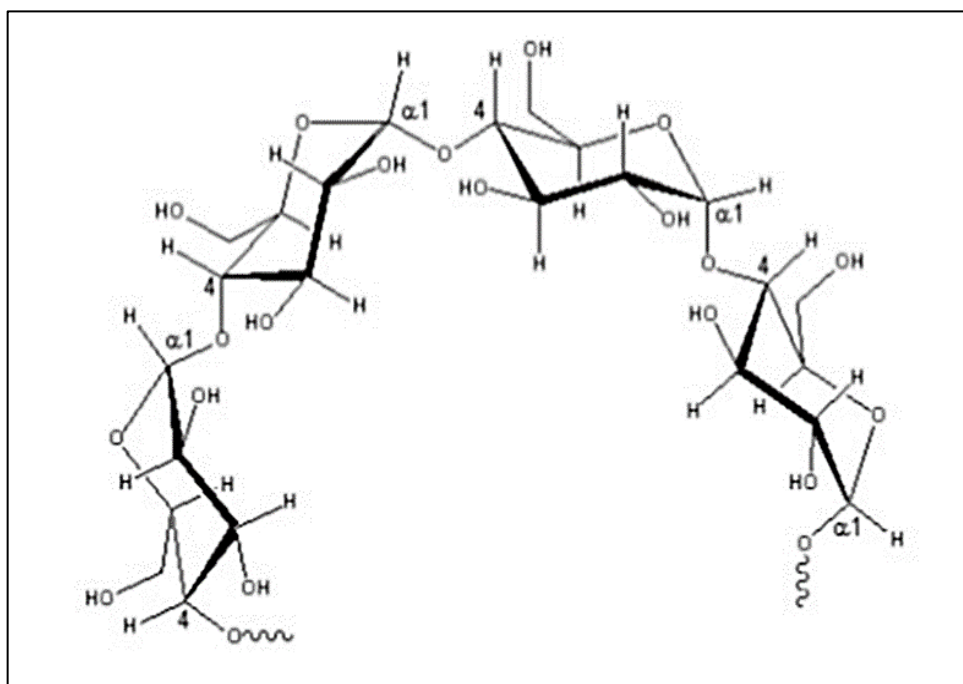
Tabela 2 – Características de amidos de diferentes fontes vegetais

Fonte	Forma do grânulo	Diâmetro (μm)	Amilose (%)	Amilopectina (%)
Milho		5-26	28	72
Arroz		3-8	30	70
Mandioca		5-30	14-18	82-86
Batata		15-100	18-20	80-82

Fonte: Guinesi et al. (2006, com adaptações).

A amilose, ilustrada na Figura 3, é um polímero formado por cadeias lineares através de ligações glicosídicas α -(1,4), com poucas ligações α -(1,6) entre 0,1 e 2,2%, criando uma estrutura helicoidal na forma cristalina (DENARDIN; SILVA, 2009). A formação de ligações de hidrogênio com hidroxilas das cadeias poliméricas adjacentes é favorecida pela linearidade das moléculas de amilose (GUERRA, 2010).

Figura 3 – Estrutura da amilose



Fonte: Denardin; Silva (2009).

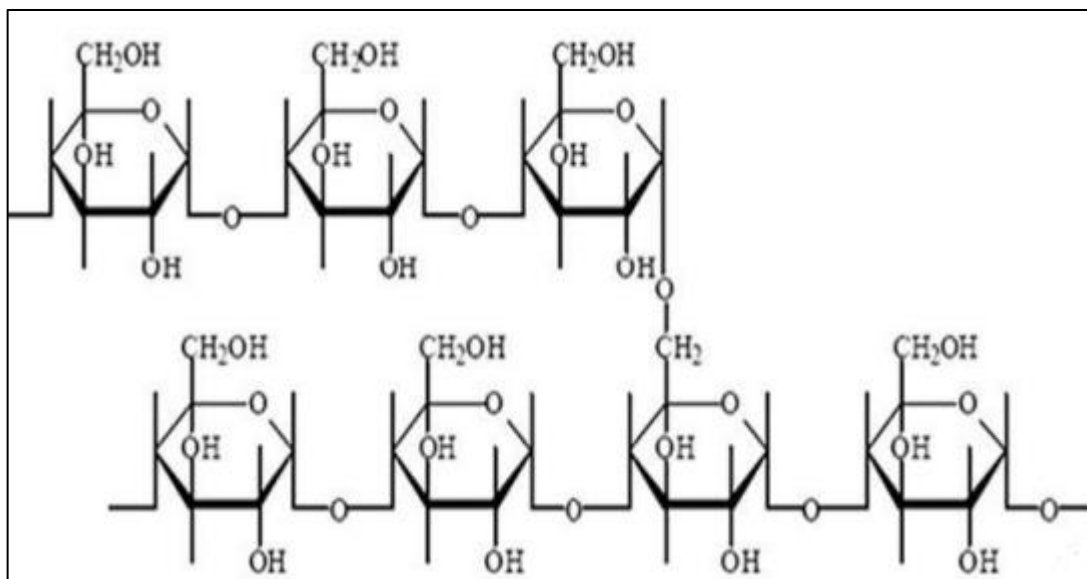
Comparado à amilopectina, de acordo com Mali et al. (2002), a amilose é capaz de formar filmes mais resistentes. Amidos que apresentem um alto teor de amilose formam géis relativamente rígidos e elásticos, enquanto os com baixo teor resultam na formação de géis fracos (LEOPOLDINO, 2017).

A amilopectina, ilustrada na Figura 4, apresenta uma estrutura ramificada, constituída por cadeias lineares de 20 a 25 unidades de α -D-glicoses unidas em α -1,4. Essas cadeias estão unidas entre si, através de ligações glicosídicas em α -1,6 (POLESI, 2011).

A parte linear das moléculas de amilopectina forma estruturas helicoidais duplas, estabilizadas por ligações de hidrogênio entre grupamentos hidroxila, dando origem às regiões cristalinas dos grânulos. A região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina (SOUZA; ANDRADE, 2000). A

cristalinidade do amido pode ser medida através de difração de raio X apresentando modelos de difração característicos que se dão pelas cadeias curtas da amilopectina (CORDENUNSI; LAJOLO; MENEZES, 2006).

Figura 4 – Estrutura da amilopectina



Fonte: Santana (2013).

A proporção entre amilose, amilopectina e comprimento da cadeia são influenciadas pela fonte botânica e condições climáticas de estocagem do material de origem do amido, influenciando as características específicas e a funcionalidade do amido (ZHU et al., 2017).

As principais propriedades dos amidos são gelatinização, retrogradação, poder de inchamento, solubilidade e capacidade de retenção de água, as quais estão relacionadas à estrutura do amido, como ao tamanho molecular, grau de cristalinidade, teor de amilose, forma dos grânulos e distribuição granulométrica (JIANG et al., 2012; BERNARDO; ASCHERI; CARVALHO, 2016).

A gelatinização do amido ocorre quando este é aquecido em solução aquosa, causando o intumescimento do grânulo que é então rompido em temperaturas próximas a de ebulição, levando à liberação e solubilização da amilose e amilopectina formando uma pasta viscosa (CASTRO, 2019). Além da gelatinização, as macromoléculas do amido podem sofrer degradação, devido aos tratamentos térmico e mecânico empregados (AKDOGAN, 1996).

Após resfriamento as moléculas de amilose sofrem um processo lento de reorganização, conhecido por retrogradação, diminuindo a viscosidade da pasta (DENARDIM; SILVA, 2009). Esse processo afeta as propriedades estruturais, mecânicas e sensoriais de produtos à base de amido, resultando na precipitação, mudanças na consistência e na opacidade dos produtos (SILVA, 2010).

À medida que a pesquisa na caracterização dos amidos evolui, mais diversificada torna-se sua aplicação, abrangendo desde a alimentação humana até a elaboração de filmes biodegradáveis e embalagens (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

2.5 Biopolímeros

Com produção estimada em 180.000.000 t/ano, os polímeros têm papel fundamental na sociedade moderna, estando presente na grande maioria dos setores da economia, como: medicina, agricultura, construção civil e eletroeletrônicos (PRADELLA, 2006).

O consumo de produtos plásticos, ou polímeros não biodegradáveis, ao longo dos anos vem produzindo grande número de resíduos desse material os quais se acumulam pelos aterros gerando problemas ambientais consideráveis (KUMAR et al., 2010). Os impactos ambientais dos processos de extração e refino utilizados para produção dos polímeros provenientes do petróleo, são motivadores do crescente interesse pelos biopolímeros, os quais apresentam potencial para substituição de polímeros de fontes fósseis (BRITO et al., 2011).

Os biopolímeros são polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, ou seja, podem ser definidos como qualquer polímero (proteína, ácido nucléico, polissacarídeo) produzido por um organismo vivo (BORSCHIVER; ALMEIDA; ROITMAN, 2008). Portanto, a produção e utilização de biopolímeros surge como uma alternativa para contornar esse problema, a qual, devido sua viabilidade técnica e econômica, apresenta grande potencial de expansão.

A Tabela 3 demonstra o potencial de substituição de alguns polímeros de origem fóssil pelos biopolímeros: amido, poliácido lático – PLA, polihidroxitirato – PHB e o polihidroxitirato-co-poli-hidroxi-hexanoato – PHBHx.

Tabela 3 – Potencial de substituição de polímeros de fontes fósseis por biopolímeros

Polímero	PVC	PEAD	PEBD	PP	PS	PMMA	PA	PET	PC
Amido	–	+	+	+	+	–	–	–	–
PLA	–	+	–	+	+	–	+	+	–
PHB	–	+	–	++	+	–	–	–	–
PHBHx	+	++	++	++	+	–	–	+	–

++ substituição completa; + substituição parcial; – não substitui.

Fonte: Brito et al. (2011).

Os biopolímeros possuem algumas limitações técnicas que dificultam o seu uso como produto final, por isso, grupos de pesquisa vêm se dedicando ao estudo de sua modificação para viabilizar o seu processamento (FECHINE, 2010).

Com taxa de crescimento acima de 20% ao ano, o mercado dos biopolímeros era da ordem de 60.000 toneladas em 2002 com preço de comercialização de US\$ 4/kg (BORSCHIVER; ALMEIDA; ROITMAN, 2008) e, devido suas características, se enquadram bem no conceito de sustentabilidade, que segundo a Comissão Mundial do Meio-ambiente e Desenvolvimento (*World Commission on Environment and Development – WCED*), diz que um desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras (HILSON; MURCK, 2000; VARGAS, 2000; OMER, 2008).

2.6 Filme

Diante dos impactos ambientais causados por polímeros sintéticos de fontes petrolíferas, o interesse em substituí-los por biopolímeros biodegradáveis na produção dos materiais já existentes, bem como, no desenvolvimento de novas tecnologias, tem crescido consideravelmente.

Nesse contexto, visando contribuir para minimizar tais impactos, existe a possibilidade da utilização de filmes obtidos a partir do amido, sendo este um biopolímero biodegradável quando lançado no meio ambiente. Seu perfil atrativo é evidenciado pelo seu baixo custo, alta disponibilidade e biodegradabilidade (TEXEIRA, 2007).

Filme é um material fino que age como barreira a elementos externos e, conseqüentemente, pode proteger o produto embalado de danos físicos e biológicos

(HENRIQUE; CEREDA; SARMENTO, 2008). Sua elaboração envolve um agente formador de filme, um solvente e um plastificante. Martins (2003) lembra que os filmes podem ser produzidos a partir de polissacarídeos e proteínas cujas cadeias são longas e capazes de produzir matrizes contínuas que dão estrutura ao filme.

A aplicação do amido na confecção de filmes se baseia nas propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para formar géis e na sua capacidade para formar filmes (YOUNG, 1984). As moléculas de amilose em solução tendem a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente, para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes resistentes (WURZBURG, 1986).

Como os filmes confeccionados exclusivamente por amido são pouco flexíveis e quebradiços, a introdução de aditivos às matrizes poliméricas é necessária (SHIMAZU; MALI; GROSSMANN, 2007). A questão da rigidez pode ser resolvida através da adição de plastificantes, que melhoram as propriedades mecânicas dos filmes (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1993).

Entre uma grande variedade de técnicas, moldagem por injeção, extrusão, moldagem por sopro, moldagem por compressão, calandragem, termoformagem à vácuo, moldagem rotacional para a produção de filmes, o *casting* é um dos mais utilizados (FARIAS, 2016).

A técnica *casting* (onde os filmes são formados pela evaporação de solvente em um suporte) vem há algum tempo sendo bastante utilizada na pesquisa de filmes à base de amido apresentando bons resultados (ROCHA et al., 2014; FARIAS et al., 2012; ZHAI; YOSHII; KUME, 2003). Entretanto, essa técnica apresenta algumas desvantagens como: longo tempo de secagem e dificuldade de produção de filmes de grandes dimensões (FARIAS, 2016).

As propriedades dos filmes dependem do biopolímero usado, das condições de fabricação e das condições ambientais que são importantes fatores por causa da natureza higroscópica dos biopolímeros (SOBRAL, 2000).

As técnicas microscópicas têm sido bastante utilizadas para a análise das imagens de filmes de amido e de produtos amiláceos, de modo geral (LAROTONDA et al., 2004; SHANDERA; JACKSON, 2002; THIRÉ et al., 2004; WATANABE; LARSSON; ELIASSON, 2002; WILHELM et al., 2003).

Outro parâmetro que tem sido avaliado em filmes é o ângulo de contato conhecido também como ângulo de molhabilidade. O ângulo de contato representa o valor em graus que uma determinada substância líquida forma com a superfície (SILVA et al., 2007). Os valores para ângulo de contato para filmes são dependentes da constituição do material (BRUNO et al., 1995; ABURTO et al., 1999; BENGTSSON; KOCH; GATENHOLM, 2003). Jayasekara et al. (2004) citam que o ângulo de contato está correlacionado com a rugosidade da superfície dos filmes, e que este aumenta com o aumento da rugosidade.

A espessura dos filmes formados é um parâmetro que influencia suas propriedades (CUQ et al., 1996). De acordo com Henrique, Cereda e Sarento (2008), o controle da espessura dos filmes é importante para se avaliar a uniformidade desses materiais, a repetitividade da medida de suas propriedades e a validade das comparações entre filmes. Conhecendo-se a espessura é possível obter informações sobre a resistência mecânica e as propriedades de barreira aos gases e ao vapor d'água do material (OLIVEIRA et al., 1996).

A gramatura de filmes, definida como o peso de uma determinada área do material, está diretamente relacionada à resistência mecânica dos filmes, sendo que maiores gramaturas oferecem maiores resistências mecânicas (OLIVEIRA et al., 1996).

A fécula de mandioca tem sido empregada na elaboração e obtenção de filmes, mas pouco se sabe das propriedades físicas desses (LAROTONDA et al., 2004). Já os amidos de batata e de milho também têm sido pesquisados na obtenção de filmes biodegradáveis (BENGTSSON et al., 2003; JANSSON; THUVANDER, 2004; THIRÉ; SIMÃO; ANDRADE, 2003).

2.7 Plastificante

Plastificantes são moléculas, geralmente, de baixa massa molar, pouco voláteis, com alto ponto de ebulição, miscível e que competem com as ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas polímero-polímero (BANKER; GORE; SWARBRICK, 1996; MANGAVEL et al., 2003). São adicionados aos polímeros de alto peso molecular para amolecê-los ou abaixar seu ponto de fusão durante o processamento, ou para lhe adicionar uma flexibilidade ou extensibilidade semelhante à da borracha (MATHEW; DUFRESNE, 2002).

De acordo com McHugh e Krochta (1994), polióis como sorbitol, glicerol, polietilenoglicol são plastificantes efetivos devido à sua habilidade em reduzir as ligações de hidrogênio internas, ao mesmo tempo em que aumentam os espaços intermoleculares.

Os plastificantes devem ser compatíveis com o biopolímero e, geralmente, são adicionados na proporção de 10 a 60 g/g de matéria seca, dependendo do grau de rigidez do material (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1993). Devem possuir pouca ou nenhuma migração para a superfície do material, alta resistência à extração por água, óleos e solventes, baixa toxicidade e resistência térmica (KESTER; FENNEMA, 1986).

Os plastificantes mais indicados para serem empregados em filmes de amido são os polióis, como o glicerol e o sorbitol, que vão proporcionar a estes materiais uma melhoria nas suas propriedades mecânicas (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Os plastificantes possuem a capacidade de evitar as rachaduras do filme durante o manuseio e armazenagem diminuindo possíveis descontinuidades e zonas quebradiças (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997), além de melhorar a adesividade do filme.

Segundo Bengtsson, Koch e Gatenholm (2003), quando são incorporados no processamento de plásticos, os agentes plastificantes visam aumentar a flexibilidade, reduzir a rigidez e a viscosidade do material fundido. O aumento da flexibilidade é causado pela redução das ligações de hidrogênio ao longo das cadeias poliméricas, aumentando assim o espaçamento intermolecular (JANJARASSKUL; KROCHTA, 2010).

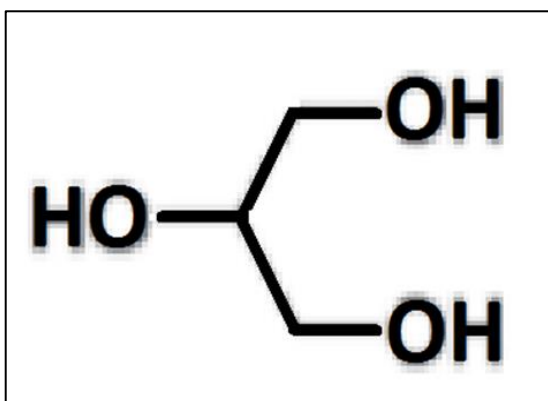
Outro efeito é o aumento da hidrofiliabilidade e permeabilidade ao vapor de água dos filmes plastificados, já que a maioria dos plastificantes empregados em filmes de amido tem caráter hidrofílico (MALI et al, 2004). Além disso, reduzem a temperatura de fusão do amido, por facilitarem a mobilidade, através da redução das forças intermoleculares de coesão na estrutura do sistema (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1993; MARZINOS et al., 2002). Este efeito sobre a Tg pode, em alguns casos, permitir um processamento mais fácil do material (MANGAVEL et al., 2003).

Os plastificantes, dependendo da concentração utilizada, podem causar um efeito chamado antiplastificante, isto é, ao invés de aumentar a flexibilidade e hidrofiliabilidade, apresentam um efeito contrário (GAUDIN et al., 2000). Isto ocorre geralmente, quando são empregadas pequenas concentrações de plastificante

(abaixo 20 g/100 amido), insuficientes para aumentar a mobilidade molecular, aumentando apenas o grau de interações e a rigidez da matriz, fenômeno fortemente dependente das condições de armazenamento (MALI et al., 2005; SHIMAZU; MALI; GROSSMANN, 2007).

O glicerol, ilustrado na Figura 5, é o plastificante mais comumente utilizado na produção de filmes de amido. Desde 1959, é reconhecido como substância atóxica, permitido como aditivo em alimentos, e também considerado como substância “GRAS” (*Generally Regarded as Safe*) pelo *Food and Drug Administration* dos Estados Unidos (MORRISON et al., 1998).

Figura 5 – Fórmula estrutural da molécula do glicerol



Fonte: Beatriz; Araújo; Lima (2009).

Os grupos hidroxilas presentes no glicerol são responsáveis pelas interações inter e intramoleculares nas cadeias poliméricas, auxiliando na formação de uma estrutura flexível em filmes de amido (SOUZA; DITCHFIELD; TADINI, 2010).

O glicerol apresenta uma infinidade de aplicações, sendo utilizado na indústria cosmética, farmacêutica, alimentícia e química. O crescente aumento na produção mundial de biodiesel gera uma maior disponibilidade da glicerina, podendo esta ser purificada e utilizada pelos diferentes segmentos da indústria (FARIAS, 2016).

2.8 Nanocristais de amido

Os nanocristais de amido, são plaquetas cristalinas insolúveis, resultantes da hidrólise ácida do amido, tendo o resíduo insolúvel separado por centrifugação e

lavado com água para a remoção do ácido e das frações solúveis (ANGELLIER et al., 2004; KRISTO; BILIADERIS, 2007).

É difícil distinguir os termos "nanocristais de amido" e "nanopartículas de amido", uma vez que ambos têm sido utilizados para se referir as partes cristalinas de amido restantes após os tratamentos químicos e físicos aos quais os grânulos de amidos são submetidos (COSTA, 2016). A denominação nano se deve ao tamanho das partículas, as quais devem apresentar pelo menos uma das dimensões (comprimento, largura, espessura) com no máximo 500 nm (ADEOSUN et al., 2012).

Le Corre, Bras e Dufresne (2010) dizem que nanocristais de amido referem-se a parte cristalina do amido que foi obtido por meio de hidrólise das partes amorfas dos grânulos de amido. Enquanto que, de acordo com Costa (2016), nanopartículas de amido são pequenas partículas de amido obtidas através de processos físicos, que podem incluir partes amorfas, apresentando propriedades, cristalinidade e formas diferentes dos nanocristais.

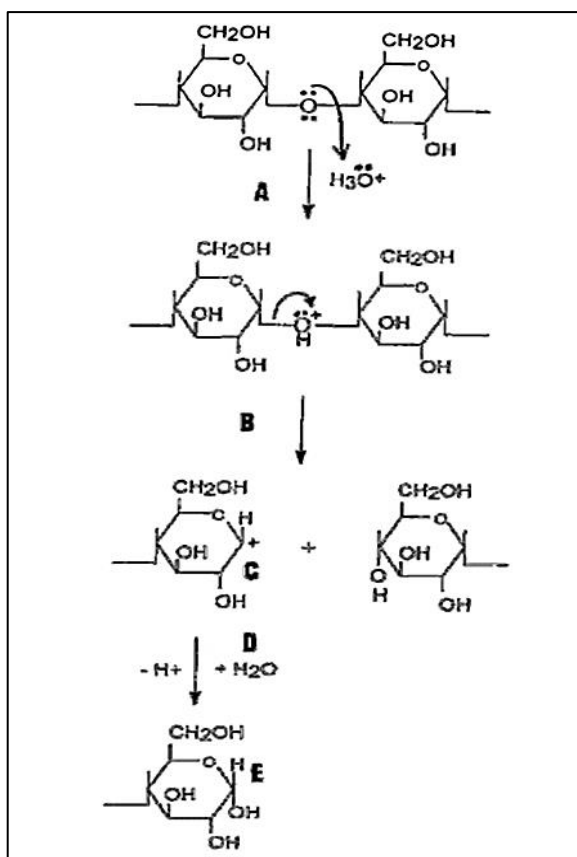
A produção de NCA vem sendo desenvolvida (DUFRESNE; CAVAILLE, 1996) e otimizada (ANGELLIER et al., 2004) desde 1996. Os principais métodos de obtenção de nanocristais de amido são: Hidrólise ácida, hidrólise enzimática e os tratamentos físicos, como: Ultrassonicação, homogeneização à alta pressão, extrusão reativa e irradiação gama (COSTA, 2016), entretanto, dentre estes, a hidrólise ácida é a mais utilizada devido ser um método simples e de fácil controle.

Na hidrólise ácida o íon (H_3O^+) realiza um ataque eletrofílico sobre o átomo de oxigênio na ligação glicosídica α , (1-4) (Figura 6a). Em seguida, os elétrons da ligação carbono-oxigênio movem-se para o átomo do oxigênio (Figura 6b) gerando um carbocátion intermediário instável (Figura 6c) (PINTO, 2014).

O carbocátion intermediário formado (Figura 6c) é um ácido de Lewis e reage com a água (Figura 6d) levando à reorganização de um grupo hidroxílico (Figura 6e) (HOOVER, 2000).

As regiões com pouca organização são removidas pela hidrólise ácida, bem como as fases amorfas dos grânulos de amido, enquanto que as lamelas cristalinas insolúveis em água permanecem após a reação (HOOVER, 2000; KONG et al., 2012; LIN et al., 2011; WANG et al., 2001).

Figura 6 – Mecanismo da hidrólise ácida do amido



Fonte: Hoover (2000).

O rendimento da hidrólise ácida varia de 5 a 15%, enquanto que o diâmetro médio das partículas obtidas varia de 20 a 450 nm (GONÇALVES et al., 2014; LE CORRE; BRAS; DUFRESNE, 2010; LIN et al., 2011).

Além do tamanho das partículas, o aumento da cristalinidade é um fator importante na obtenção dos nanocristais (PINTO, 2014), pois, ao serem incorporados em um material podem aumentar a densidade, a resistência a ataque químico e as propriedades mecânicas, tais como a resistência à tração e dureza em temperaturas elevadas (ASKELAND; FULAY; WRIGHT, 2010).

Durante a hidrólise ácida, devido ao grande número de grupos hidroxilas presentes, há a tendência de desenvolvimento de fortes interações entre as moléculas do amido, formando agregados, o que dificulta a sua aplicação industrial (MA et al., 2008).

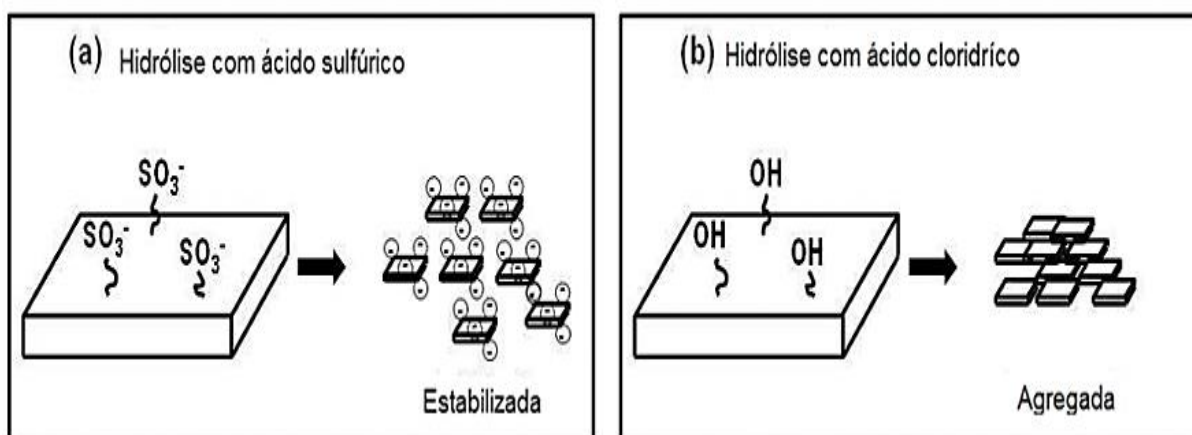
A estrutura e a morfologia dos NCA formados são determinadas pela origem botânica do amido, ou seja, o tipo de cristalinidade e a proporção relativa de amilose e amilopectina (PINTO, 2014). As condições da hidrólise durante o processo (tipo e

concentração do ácido, temperatura e tempo de reação) afetam o tamanho e rendimento dos nanocristais (LIN et al., 2011).

A obtenção por hidrólise ácida usando H_2SO_4 foi otimizada por Angellier et al. (2004). A quantidade de amido, em torno de 14,69% em peso/ácido, é misturada ao ácido sulfúrico numa concentração de 3,16 M e levados à agitação constante em 100 rpm a 40 °C durante um período de 5 dias. Terminado o período de agitação, a solução é centrifugada sucessivamente com água destilada por 10 minutos a 10000 rpm, até atingir a neutralidade. Após isso, a suspensão é então submetida a um tratamento mecânico com um homogeneizador Ultra Turrax durante 2 minutos a 13000 rpm, afim de dispersar os agregados e se obter uma suspensão "estável".

Por diminuir o tempo de preparo e produzir cristais mais estáveis e com menor tamanho, o uso do ácido sulfúrico na hidrólise ácida é mais vantajoso do que a utilização de HCl, que possui um tempo de hidrólise maior e produz nanocristais mais agregados, assim como ilustra a Figura 7 (COSTA, 2017).

Figura 7 – Nanocristais obtidos por a) hidrólise com ácido sulfúrico e por b) hidrólise com ácido clorídrico



Fonte: Le Corre (2011).

Os nanocristais de amido podem ser utilizados em processos úmidos com temperaturas inferiores a 100 °C e em processos secos abaixo de 150 e 200 °C para evitar a gelatinização e fusão dos mesmos (LE CORRE; BRAS; DUFRESNE, 2012).

Algumas características de nanocristais de diferentes fontes botânicas, obtidos por hidrólise ácida, são listadas na Tabela 4 adaptada de Costa (2016).

Tabela 4 – Métodos de preparação de NCA e suas características

Fonte	Obtenção	Dimensão (nm)	Rendimento (%)	Cristalinidade (%)
MN	2.87M H ₂ SO ₄ a 45° C/ 7 dias	L: 50	–	Diminuiu
MA	3.16M H ₂ SO ₄ a 40° C/ 5 dias	W: 69,7	38,6	Nenhuma mudança
E	3.16M H ₂ SO ₄ 40° C/ 5 dias	L:60-150 W:15- 30	–	Nenhuma mudança
B	3.16M H ₂ SO ₄ / a 40° C/ 5 dias	30-80	–	Nenhuma mudança
M	3.16M H ₂ SO ₄ a 40° C/ 5 dias	–	–	Aumentou

MN: Milho normal; MA: Milho rico em amilose; E: Ervilha; B: Batata; M: Mandioca.

Fonte: Costa (2016, com adaptações).

Uma grande quantidade de matrizes poliméricas, sejam elas a base de polímeros naturais ou sintéticos, podem ser reforçadas com nanocristais de amido afim de melhorar as suas propriedades (ANGELLIER; MOLINA-BOISSEAU; DUFRESNE, 2005). Com a sua incorporação, não apenas as propriedades físicas, mas também a biodegradabilidade dos compósitos é melhorada (KRISTO; BILIADERIS, 2007; ANGELLIER et al., 2004).

A utilização de nanocristais de amido como fase dispersa em filmes e compósitos, apresenta resultados promissores quanto a diminuição na permeabilidade ao vapor de água e melhora nas propriedades mecânicas e térmicas (PINTO, 2014).

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

A matéria prima utilizada no desenvolvimento deste trabalho foi o caroço de pitomba (*Talisia esculenta*) proveniente das feiras livres da cidade Campina Grande – PB; a Glicerina PA como agente plastificante, obtida da NEON química; a solução tampão fosfato (PBS) e o amido de Jaca (*Artocarpus heterophyllus L.*), obtidos no laboratório CERTBIO/UAEMa/UFCG; as soluções de ácido acético com pH 6,4 e solução de hidróxido de amônio com pH 9,0, obtidas na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB); e o soro fisiológico (Cloreto de sódio 0,9%), obtido da ADV FARMA.

3.2 Métodos

3.2.1 Extração do amido do caroço da pitomba (*Talisia esculenta*)

Os caroços da pitomba foram lavados e descascados, assim como ilustra a Figura 8. Em seguida foram triturados em um liquidificador com água destilada até a obtenção de uma massa densa e uniforme. A massa obtida foi filtrada em sacos confeccionados com organza (abertura da malha próxima a 100 mesh).

Figura 8 – Caroços de pitomba



Fonte: Própria, 2019.

A suspensão de amido filtrada foi decantada em ambiente refrigerado, como mostra a Figura 9. O sobrenadante foi descartado e o amido suspenso com água destilada foi novamente decantado, sendo este procedimento repetido até que o

produto apresentasse cor e textura características de amido. Após esta etapa, o amido foi liofilizado e passado em peneira 200 mesh, para a obtenção do amido desidratado.

Figura 9 – Suspensão de amido



Fonte: Própria, 2019.

3.2.2 Confeção dos filmes de amido de pitomba

Os filmes foram elaborados através da mistura do amido com o glicerol na concentração de 40% (em relação a massa de amido) em de água destilada. Esta mistura foi submetida a aquecimento sob agitação magnética constante até atingir a temperatura de gelatinização, permanecendo nessa faixa de temperatura até que a gelatinização se completasse, assim como ilustra a Figura 10.

Figura 10 – Preparo dos filmes sem reforço



Fonte: Própria, 2019.

A adição de glicerol teve por objetivo melhorar as propriedades mecânicas dos filmes, característica importante em dispositivos destinados a aplicações biomédicas. No término do processo térmico, a solução filmogênica foi resfriada à temperatura ambiente e verificou-se o seu pH, constando numa faixa de 4,54. Seguidamente, por meio do processo de *casting*, a solução foi transferida para placas de acrílico de 15 cm de diâmetro e levadas a secagem em temperatura ambiente, onde todo o solvente foi evaporado, resultando na formação dos filmes.

3.2.3 Preparação dos nanocristais de amido de jaca

A preparação dos nanocristais de amido de jaca foi realizada por meio de uma adaptação do método otimizado por Angellier et al. (2004), utilizando também o processo de hidrólise ácida com H_2SO_4 para formação dos nanocristais.

Foi utilizada 14,68g de amido, em torno de 14,69% em peso/ácido, o qual foi misturada ao ácido sulfúrico numa concentração de 3,16 M e levados à agitação constante em 120 rpm a 36°C durante um período de 5 dias, em um Shake 6000-7 da Thermo Scientific. Terminado o período da hidrólise, a solução foi transferida para tubos de falcon e centrifugada sucessivamente com água destilada por 10 minutos à 3500 rpm, representada na Figura 11, até atingir um pH igual a 6,0.

Figura 11 – Suspensão de amido após a neutralização



Fonte: Própria, 2019.

Em seguida, a suspensão foi submetida a um tratamento mecânico de homogeneização, com um agitador mecânico IKA RW 20digital, ilustrado na Figura 12, durante 5 minutos à 626 rpm, afim de dispersar os agregados e se obter uma suspensão "estável". Após esta etapa, a amostra foi liofilizada por 48 horas e passada em uma peneira de 200 mesh.

Figura 12 – Homogeneização



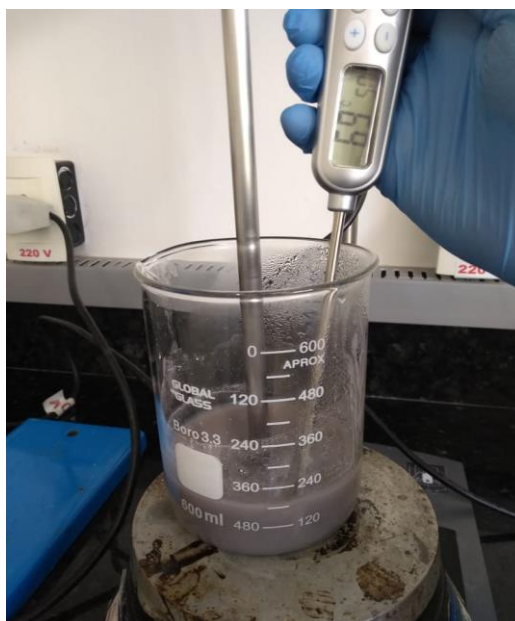
Fonte: Própria, 2019.

3.2.4 Preparação dos filmes reforçados com NCA

Os filmes de amido de pitomba com a adição dos NCA foram elaborados através da mistura do amido com o glicerol e com 1,5g dos NCA em de água destilada, obedecendo a mesma a concentração de 40% de glicerol (em relação a massa de amido).

Esta mistura foi submetida a aquecimento sob agitação constante em um agitador mecânico IKA RW 20digital, ilustrado na Figura 13, até atingir a temperatura de gelatinização, permanecendo nessa faixa de temperatura até que a gelatinização se completasse.

Figura 13 – Preparo dos filmes reforçados



Fonte: Própria, 2019.

3.2.5 Caracterizações

3.2.5.1 Difração de raios-X (DRX)

Para analisar o índice de cristalinidade do amido de jaca nativo e dos NCA, as análises de difração de raios X foram conduzidas a temperatura ambiente em aparelho XRD-7000 Shimadzu, utilizando radiação Ka do cobre (1,5418 Å), tensão de 40kV e corrente 30 mA. O amido e as NCA foram examinados em um intervalo de 2θ entre 10,0 e 70,0 graus a uma velocidade de 2°/min.

Com os resultados obtidos no difratograma foi possível calcular os índices de cristalinidade conforme a metodologia proposta por Nara e Komiya (1983), como mostra a Equação 1:

$$I_c(\%) = \frac{I(002) - I(am)}{I(002)} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

I_c = Índice de cristalinidade;

$I(002)$ = Máxima intensidade do pico de difração que representa o material cristalino na vizinhança de $2\theta = 22$;

$I(am)$ = mínima intensidade do pico de difração que representa o material amorfo na região de $2\theta = 18$.

3.2.5.2 *Espessura*

As espessuras dos filmes sem e com o reforço, foram obtidas em um micrômetro digital MITUTOYO ($\pm 0,001$ mm) realizando-se dez medições em pontos distintos das amostras. As espessuras finais foram calculadas pela média de todas as medições.

3.2.5.3 *Propriedades mecânicas*

As propriedades mecânicas dos filmes sem reforço e dos reforçados, foram avaliadas por teste de tração em uma máquina universal de ensaios Instron (Série 3366), com célula de carga de 25 kg, segundo metodologia descrita pela ASTM (2010), com modificações, onde foram utilizados 5 corpos de prova dos filmes, como também, 5 corpos dos reforçados.

3.2.5.4 *Espectroscopia na Região de Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR*

A análise utilizando a técnica de espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), foi realizada em um equipamento Spectrum 400 da Perkin Elmer, com o objetivo de identificar as bandas características dos grupos funcionais presentes nas matérias primas usadas na produção de ambos os filmes, utilizando para isso a faixa de varredura de 4000 a 650 cm^{-1} .

3.2.5.5 *Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)*

A análise por DSC foi utilizada para identificar as fases de transição térmica dos dois tipos de filme. Foi utilizado um equipamento DSC TA modelo Q20, com uma faixa de temperatura de 30 a 400°C com razão de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de nitrogênio, com fluxo de 50 mL/min. Onde as entalpias de fusão das amostras são obtidas a partir do cálculo da área dos picos obtidos diretamente no

gráfico. Para tanto, foi utilizada uma massa de $2,00 \pm 0,05$ mg acondicionada em cadinho de alumínio para cada amostra.

3.2.5.6 Intumescimento

Para o ensaio de intumescimento foram utilizadas as soluções: água destilada, solução tampão fosfato – PBS, soro fisiológico 0,9%, solução de ácido acético com pH 6,4 e solução de hidróxido de amônio com pH 9,0.

Os filmes foram cortados em pedaços de 2 x 2 cm, secos em estufa a 60°C por 2 horas e pesados. Em seguida, foram imersos em 30 mL das diferentes soluções, durante intervalos de tempo variados, afim de se avaliar os seus índices de saturação em meios distintos.

Após cada intervalo os filmes foram secos em papel absorvente e pesados, obtendo-se o peso úmido. O cálculo de intumescimento foi feito em triplicata através da Equação 2:

$$I(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

I = Intumescimento;

P_u = Peso úmido;

P_s = Peso seco.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Amido de pitomba e Filme sem reforço

O amido extraído dos caroços de pitomba, representado na Figura 14, apresentou coloração rósea clara característica à espécie do caroço utilizado, diferindo da coloração típica da maioria dos amidos comerciais.

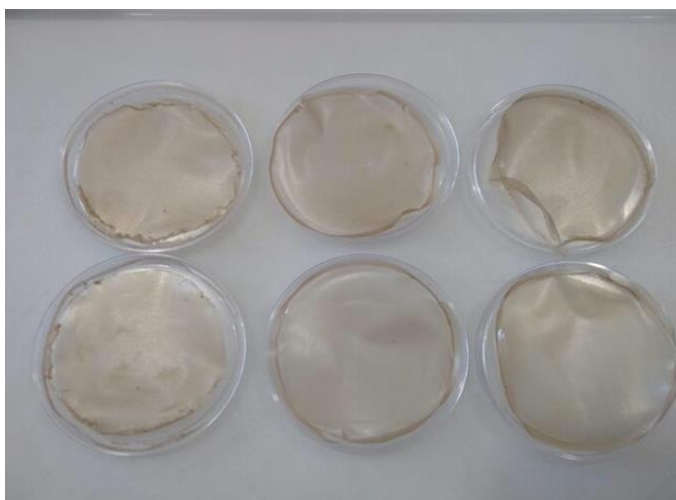
Figura 14 – Amido extraído do caroço de pitomba



Fonte: Própria, 2019.

A partir do amido extraído foi preparada a solução para a confecção dos filmes. A Figura 15 ilustra os filmes poliméricos obtido após o processo de *casting*.

Figura 15 – Filmes de amido sem NCA



Fonte: Própria, 2019.

Os filmes produzidos apresentaram coloração próxima ao marrom, como também, transparência, uniformidade e fácil manuseabilidade. Não foi observada a formação de bolhas, rachaduras ou a presença de material insolúvel na sua superfície.

4.2 Nanocristais de amido de jaca

No final do processo de neutralização com centrifugações, a suspensão de nanocristais apresentou um pH final igual a 6,0, diferindo do resultado obtido por Angellier et al. (2004) que, com o seu método otimizado de obtenção de NCA, conseguiram neutralizar o pH da suspensão de nanocristais.

O rendimento dos NCA após a hidrólise ácida com H_2SO_4 , representado na Figura 16, foi de 30,65%, considerando a massa inicial de amido utilizada e o teor de sólidos da suspensão final (Equação 3):

$$R \text{ NCA } (\%) = \left(\frac{m \text{ NCA}}{m \text{ A}} \right) \times 100 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

R NCA = Rendimento dos nanocristais de amido;

m NCA = Massa dos nanocristais de amido;

m A = Massa inicial do amido.

Figura 16 – Nanocristais de amido de jaca



Fonte: Própria, 2019.

O rendimento dos NCA de jaca se aproximou do valor alcançado por Costa (2016) que, através de um processamento semelhante, preparou nanocristais de amido de mandioca com um rendimento total em torno de 30% em massa. Por outro lado, Condés et al. (2015) obtiveram nanocristais de amido de milho normal e ceroso com rendimentos de 24,4% e 17,0% (em massa), respectivamente.

Silva (2017), executando uma hidrólise ácida diferente, produziu NCA de amêndoa de manga por meio de uma mistura ácida formada por volumes iguais de HCl 3,16 M e H₃PO₄ 3,16 M, obteve um rendimento de 24,38%.

Lin et al. (2011) afirmam que as condições de hidrólise durante o processo (tipo e a concentração de ácido, temperatura e tempo de reação) afetam diretamente o rendimento dos nanocristais de amido.

4.3 Filmes de amido de pitomba com NCA

Divergindo da coloração marrom dos filmes produzidos sem a adição dos NCA, os filmes reforçados, como mostra a Figura 17, adquiriram uma coloração próxima ao cinza, podendo estar relacionada ao pH final levemente ácido dos nanocristais.

Figura 17 – Filme reforçado com NCA



Fonte: Própria, 2019.

Os filmes com NCA apresentaram uma boa transparência, uniformidade e fácil manuseabilidade, entretanto, devido a solução filmogênica mais viscosa do que a do filme, foi necessário a utilização de agitação mecânica à 250 rpm utilizada no seu

preparo, fato que colaborou para a formação de pequenas bolhas em sua superfície após a evaporação do solvente por *casting*.

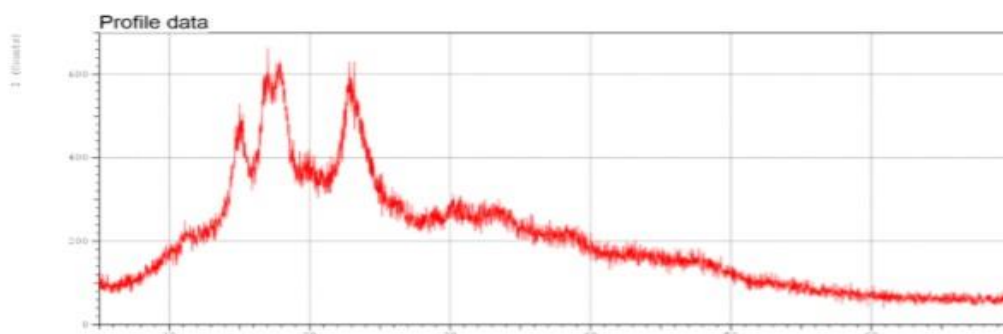
Castillo (2018), ao incorporar nanocristais de amido de quinoa em filmes de amido, constatou leves alterações visuais nos filmes quando comparados ao filme controle.

4.4 Caracterização

4.4.1 Difração de raios-X (DRX)

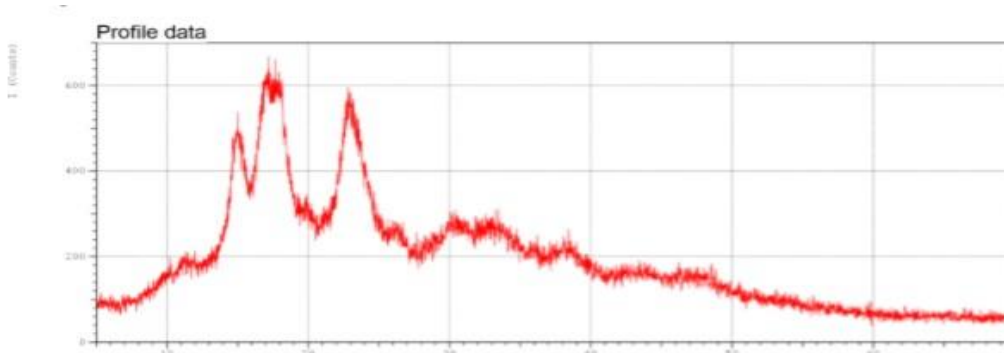
Os padrões de difração de raios-X para o amido de jaca nativo e NCA resultantes estão representados nas Figuras 18 e 19, respectivamente. O perfil de ambos é bastante similar, entretanto o dos NCA apresenta picos de maior intensidade.

Figura 18 – Difrátogramas do amido de jaca nativo



Fonte: Própria, 2019.

Figura 19 – Difrátogramas dos NCA de jaca



Fonte: Própria, 2019.

Os dois materiais apresentaram picos largos individuais aproximadamente em 15°, 17° e 23° em 2θ, indicando arranjo cristalino do tipo A, com maior intensidade apresentada pelos picos do NCA. De La Concha et al. (2017) também observaram esse aumento de intensidade nos picos dos NCA de amaranto.

Condés et al. (2015), encontraram picos semelhantes (15°, 17-18,1° e 23° em 2θ) para nanocristais de amido de milho obtidas por hidrólise ácida, com aumento da cristalinidade após a hidrólise.

O amido de jaca nativo apresentou um índice de cristalinidade de 13,88%, enquanto que os NCA apresentaram uma elevação do índice para 14,35%. Essa pequena elevação da cristalinidade indica que a hidrólise ácida não se sucedeu de forma eficaz na remoção de todas as partes amorfas dos grânulos de amido.

De La Concha et al. (2017), também determinaram um aumento baixo na cristalinidade (~8%) para os NCA de amaranto. Segundo Kim et al. (2013), o índice de cristalinidade dos nanocristais de amido varia de 34,6% a 45,9%, dependendo das condições de hidrólise (tipo, tempo, temperatura e matéria prima).

Contudo, de acordo com Le Corre, Bras e Dufresne (2010) e Condés et al., (2015), nanopartículas de amido podem ser chamadas de nanocristais, quando obtidas por hidrólise ácida, pois possuem características parcialmente cristalinas, mesmo que regiões amorfas ainda permaneçam após hidrólise.

4.4.2 Espessura

A Tabela 5 ilustra o resultado da espessura dos filmes de amido de pitomba e sem e com a incorporação dos NCA.

Tabela 5 – Média da espessura dos filmes

Amostra	Espessura (mm)
Filmes sem NCA	0,135 ± 0,008
Filmes com NCA	0,102 ± 0,007

Fonte: Própria, 2019.

Pode-se observar que, com a adição dos nanocristais de amido, os filmes formados apresentaram uma pequena diminuição no valor de suas espessuras em comparação a espessura dos filmes. A mobilidade e tendência da aglomeração das

nanopartículas na etapa da secagem podem ter influenciado as pequenas diferenças de espessura observadas nos filmes adicionados de NCA (COSTA, 2017).

Contudo, apesar do processo de formação ser o *casting*, que é de difícil controle, ambos os materiais confeccionados apresentaram espessuras adequadas e homogeneidade ao longo de sua extensão, uma vez que materiais poliméricos com espessuras superiores a 1,5 mm podem afetar a transparência dos mesmos, o que não seria adequado para aplicações biomédicas.

Em seu estudo com a espessura de filmes de amido de ervilha obtidos por extrusão, Liu, Kerry e Kerry (2005) apontaram valores mais elevados (0,327 a 0,422 mm) do que estes obtidos por *casting*.

Produzindo filmes de mandioca adicionados de nanopartículas de coco, Machado et al. (2014) observaram que as espessuras de 0,096 a 0,147 mm. Trabalhando com filmes a base de amido de ervilha e nanopartículas de amido de milho, Fan et al. (2016) relataram valores de espessuras de 0,120 para 0,160 mm.

Ma et al. (2001) dizem que os substitutos artificiais da pele são geralmente mais finos do que a derme humana, cuja espessura varia de 0,5 mm a 2 mm, dependendo da idade, sexo e área do corpo. Nessa perspectiva e diante das espessuras obtidas, ambos os filmes possuem potencial para uso como curativos de pele.

4.4.3 Propriedades mecânicas

Para verificar e comparar suas propriedades mecânicas, as amostras foram sujeitas ao ensaio de tração, tendo seus resultados expressos na Tabela 6.

Mesmo com o baixo índice de cristalização alcançada com a hidrólise ácida, os nanocristais incorporados influenciaram diretamente as propriedades mecânicas dos filmes formados, apresentando alterações nos valores obtidos em comparação aos filmes sem reforço.

Tabela 6 – Propriedades mecânicas dos filmes

Amostra	Tensão de ruptura (Mpa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (Mpa)
Filme sem NCA	6,08 ± 1,48	37,36 ± 4,38	186,43 ± 75,47
Filme com NCA	8,07 ± 0,76	52,21 ± 5,90	246,34 ± 54,20

Fonte: Própria, 2019.

A tensão de ruptura está ligada a quantidade de glicerol utilizada na produção das amostras, o qual foi utilizado na mesma concentração (40% em relação a massa de amido) em ambos os materiais, entretanto, com a adição dos NCA, houve uma diferença na tensão de ruptura, corroborando com a elevação da porcentagem de alongamento dos filmes com NCA, alcançando um aumento de 39,75% em relação ao valor do filme.

O aumento da porcentagem de alongamento observado está em desacordo com Dai et al. (2015), pois afirmam que a diminuição na deformação é um fenômeno bem conhecido que está relacionada com as diferenças na rigidez entre a matriz e agentes de processamento.

De acordo com Piyada, Waranyou e Thawien (2013) e Mukurumbira, Mellem e Amonsou (2017), o aumento da resistência à tração (alongamento %) com a adição de NCA poderia ser atribuído à fortes ligações interfaciais entre o reforço e a matriz, as quais permitem a transferência da tensão da matriz para o reforço.

Contudo, a tensão de ruptura dos filmes se aproximou do obtido por Barreto (2014), que produziu filmes de amido de jaca com extrato de amora na proporção de 30% de glicerol para 7,5g de amido, e obteve as tensões de ruptura de $6,57 \pm 0,52$ e $6,60 \pm 0,63$ para os filmes sem e com o extrato, respectivamente.

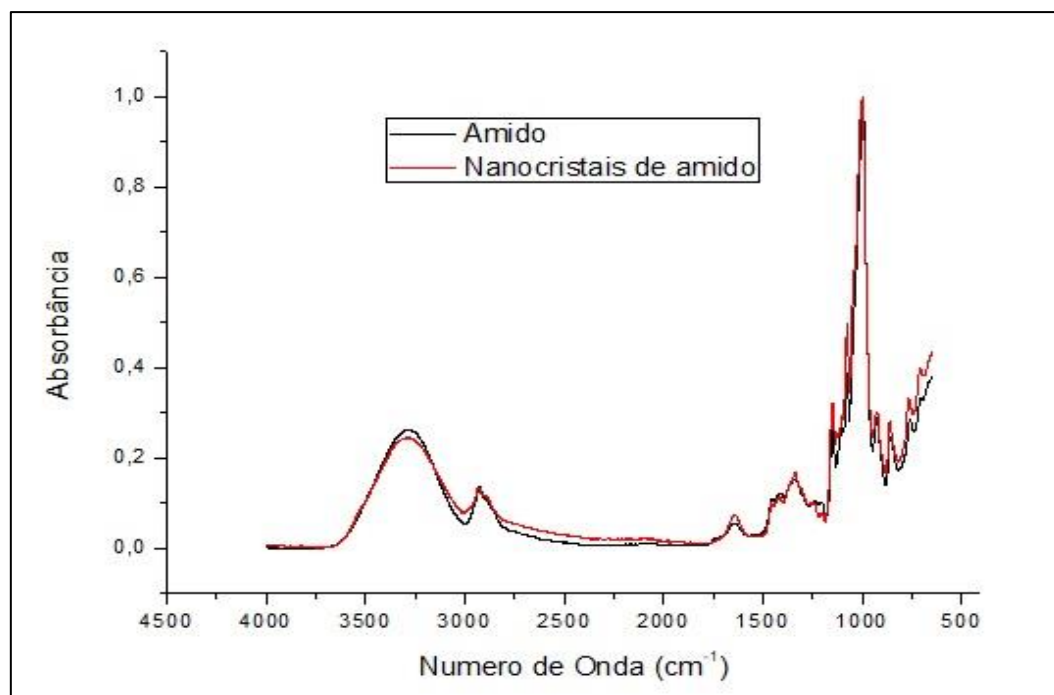
A rigidez das amostras é indicada pelo módulo de Young, onde, quanto maior o seu valor, maior será a rigidez do material. A incorporação dos NCA resultou numa alteração no módulo de rigidez dos filmes. Segundo Ma et al. (2008), o aumento da resistência à tração e do módulo de Young estão relacionados com a boa dispersão das nanopartículas do amido nos filmes.

O efeito induzido por nanocristais sobre as propriedades mecânicas de um biomaterial, bem como em outras propriedades, tais como a susceptibilidade à água, tem uma forte dependência da sua concentração (LE CORRE; BRAS; DUFRESNE, 2010).

4.4.4 Espectroscopia na Região de Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR

A Figura 20 ilustra o gráfico dos espectros do FTIR, os quais apresentaram bandas de absorção características dos grupos funcionais presentes na estrutura do amido utilizado na produção de ambos os filmes.

Figura 20 – FTIR do filme de amido de pitomba sem e com os NCA.



Fonte: Própria, 2019.

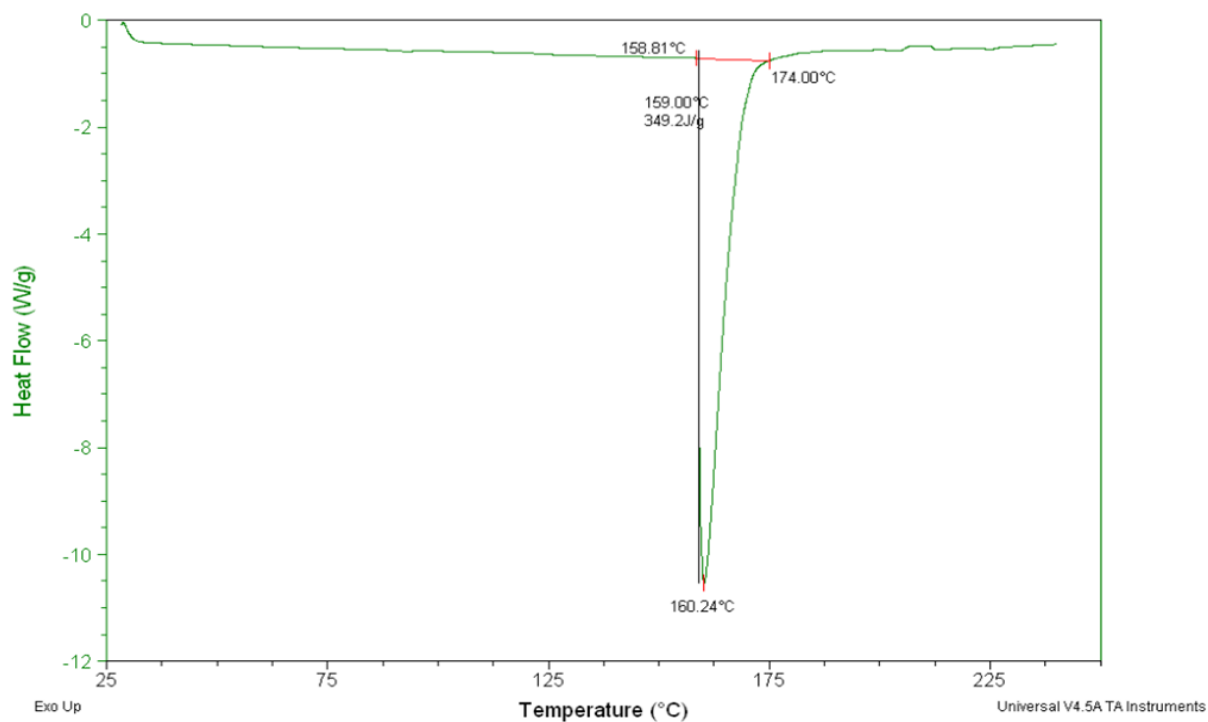
As bandas referentes a deformações moleculares existentes nas moléculas do filme a 3280 e 1646 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento e a deformação angular de ligações -OH. Além destas, o FTIR representou bandas de absorção a aproximadamente 2937 cm^{-1} , indicando um estiramento C-H.

A banda de absorção a 1458 cm^{-1} pode ser atribuída a quantidade de água ligada do amido (SHI et al., 2012). A posição da banda relativa à água é dependente da cristalinidade do polissacarídeo. As Bandas em 1646 cm^{-1} e 1416 cm^{-1} correspondem às ligações C-C e C-O-H, respectivamente.

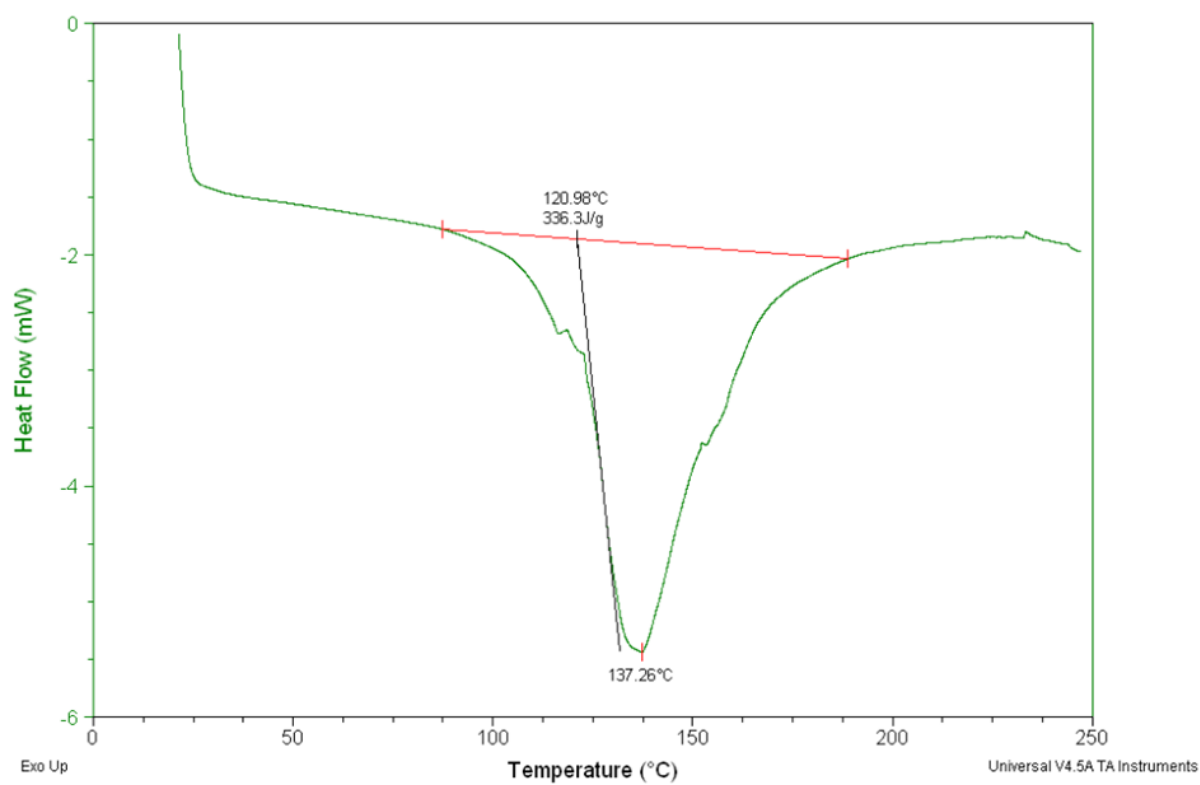
A absorção em 1074 cm^{-1} tem sido relacionada a deformações de grupos C-OH. Os modos relacionados as deformações CCH foram identificados em torno de 1080 cm^{-1} , enquanto que os estiramentos C-O e C-C apresentados, correspondem a bandas em 1160 cm^{-1} , 1000 cm^{-1} e 919 cm^{-1} .

4.4.5 Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

As Figuras 21 e 22 ilustram as curvas de DSC para os filmes sem e com NCA de jaca, respectivamente.

Figura 21 – Termograma de DSC para o filme sem NCA

Fonte: Própria, 2019.

Figura 22 – Termograma de DSC para o filme com NCA

Fonte: Própria, 2019.

As curvas do DSC dos materiais analisados apresentaram picos endotérmicos originados pela variação de entalpia. De acordo com os resultados obtidos na análise, o filme sem reforço apresentou temperatura de fusão de 160,2°C, enquanto que o pico endotérmico para os reforçados, apresentou uma diminuição na temperatura de fusão para 137,26°C.

Essa diferença na temperatura entre os filmes, demonstram que a adição de NCA influenciou diretamente na resistência e estabilidade térmica do material, possivelmente resultante da pequena elevação do índice de cristalinidade obtida pelos nanocristais.

De acordo com Samir, Aloin e Dufresne (2005), a presença de nanocristais pode aumentar a temperatura induzindo uma restrita mobilidade das cadeias poliméricas nas imediações da área interfacial (confinamento do polímero), ou diminuí-la através da diminuição da densidade de ligações cruzadas da matriz polimérica com a presença dos nanocristais.

Divergindo do observado nesse estudo, Dai et al. (2015) encontrou valores de temperatura de fusão superior em filmes contendo nanopartículas de amido em relação ao filme sem nanopartículas. Também foi relatado por Piyada, Waranyou e Thawien (2013), que a adição de nanocristais de amido melhorou a estabilidade térmica do filme de amido de arroz devido às fortes estruturas cristalinas dos nanocristais.

Em contrapartida, os filmes sem a adição dos NCA apresentaram resultados mais interessantes sob a perspectiva de características térmicas desejáveis em biomateriais destinados à área médica, pois, a temperatura de fusão elevada aumenta as possibilidades de esterilização desses materiais para meios que utilizam alta temperatura, como a autoclavagem, sem que haja o comprometimento da sua estrutura polimérica (SOUZA, 2018).

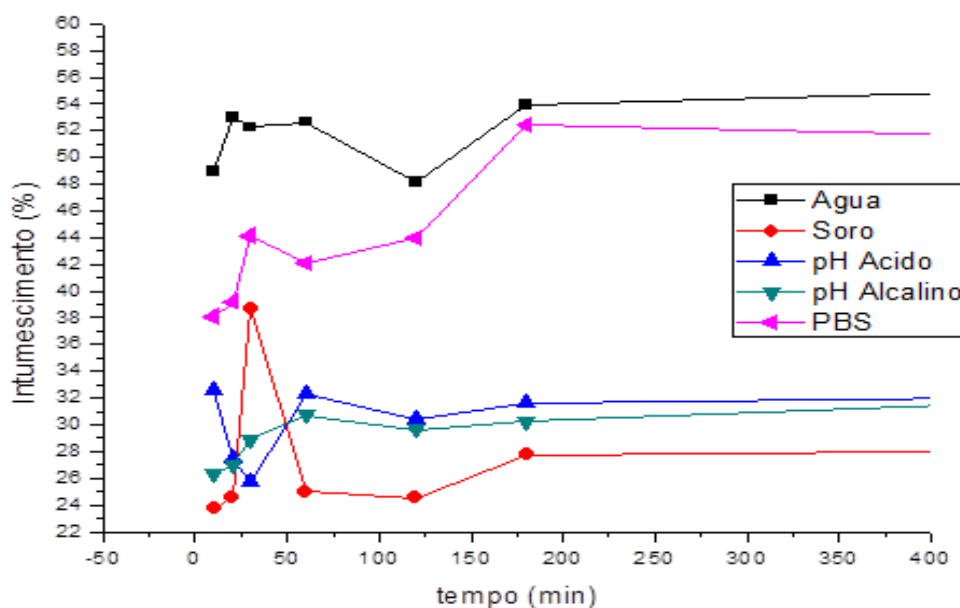
4.4.6 Intumescimento

Afim de verificar o poder de absorção dos filmes, ambos os materiais foram submetidos à análise de intumescimento em diferentes soluções: Água destilada, solução tampão fosfato (PBS), soro fisiológico (0,9%), solução de ácido acético com pH 6,4 e solução de hidróxido de amônio com pH 9,0. As soluções ácida e básica

foram utilizadas visando simular o pH das feridas, o qual pode sofrer alterações de acordo com o tipo e local da ferida, bem como, com o ambiente ao qual são expostas.

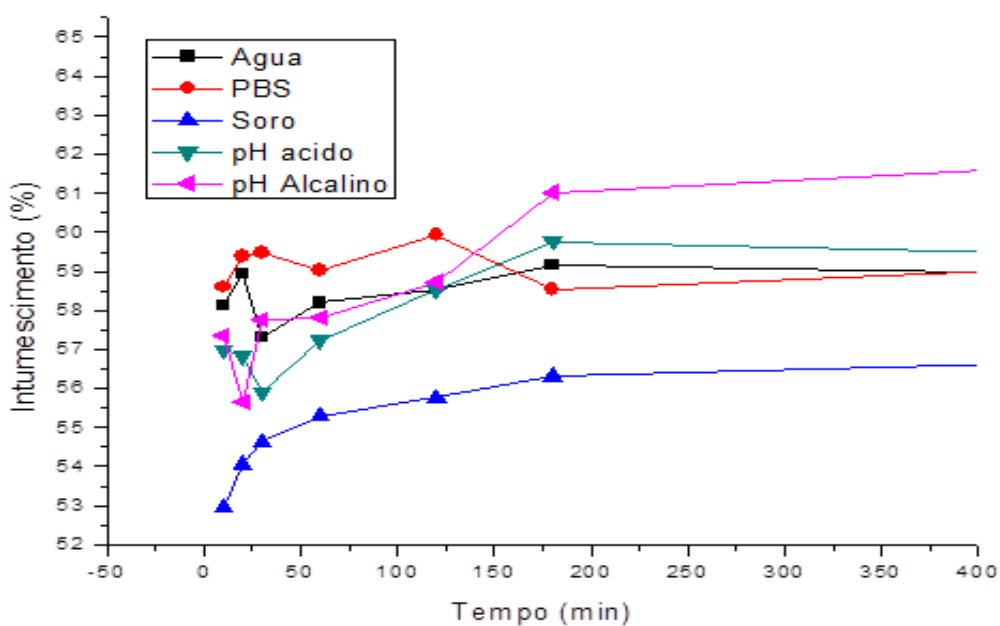
As Figuras 23 e 24 expressam os gráficos com os resultados, em porcentagem, das primeiras horas de intumescimento do filme sem e com NCA, respectivamente.

Figura 23 – Índice de intumescimento nas primeiras horas do filme sem NCA



Fonte: Própria, 2019.

Figura 24 – Índice de intumescimento nas primeiras horas do filme com NCA



Fonte: Própria, 2019.

No decorrer da análise, o índice de absorção dos dois materiais, em todas as soluções, não seguiu um padrão contínuo de crescimento, apresentando variações no decorrer do tempo. Os maiores índices de absorção apresentados pelo filme ocorreram após 24 horas em água destilada, 3 horas em PBS, 30 minutos em soro fisiológico, 72 horas em solução ácida e 24 horas em solução básica. Todavia, dentre todas as soluções de intumescimento, o filme em água destilada teve maior índice de absorção, com cerca de 58,92%.

Em relação ao filme com NCA, os maiores índices de absorção apresentados ocorreram após 3 horas em água destilada, 72 horas em PBS, 144 horas em soro fisiológico, 144 horas em solução ácida e 24 horas em solução básica. Contudo, dentre todas as soluções de intumescimento, o filme reforçado em solução básica teve maior índice de absorção, com cerca de 64,32%.

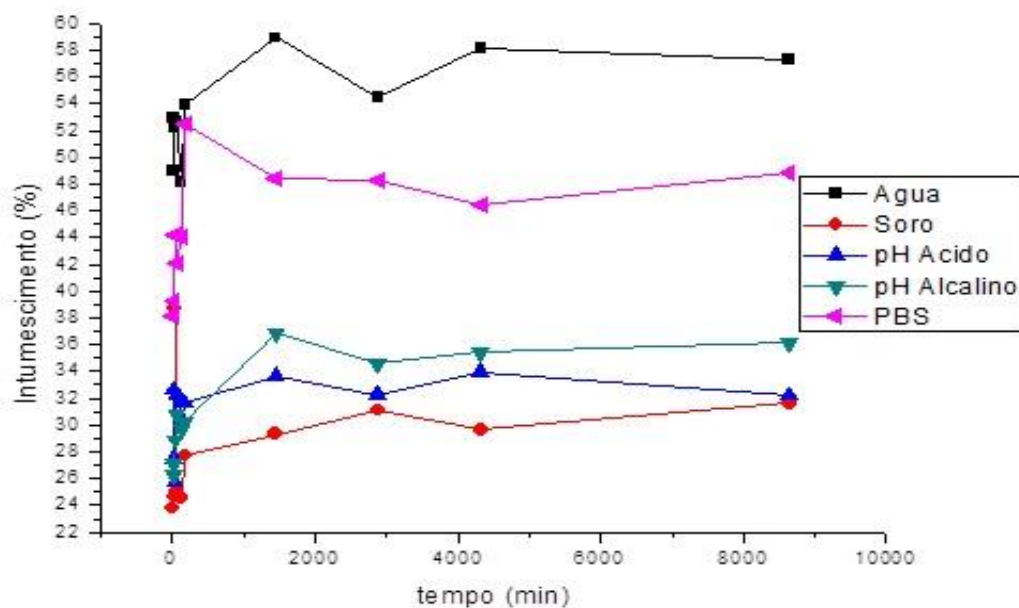
Com os resultados expressos após o fim da análise, observou-se que a adição dos nanocristais de amido como agente de reforço, influenciou diretamente a capacidade de absorção dos filmes, os quais apresentaram uma elevação no índice de absorção em todas as soluções, em comparação aos resultados apresentados pelo filme sem os nanocristais, característica desejável em um biomaterial utilizado como curativo. Costa (2016) constatou que a adição de diferentes concentrações de NCA exerce influência no grau de absorção dos biomateriais obtidos.

Segundo Tang, Du e Fan (2003), um maior índice de intumescimento é benéfico, podendo absorver maiores quantidades de líquidos provenientes de ferimentos ou excreções cutâneas, como transudato e exsudato.

Contudo, essa elevação do intumescimento apresentada pelos filmes com reforço, está em desacordo com o resultado verificado por Condés et al. (2015), que, ao trabalhar com filmes de amido de milho reforçados com nanocristais de amido de milho, verificaram uma redução na medida da absorção.

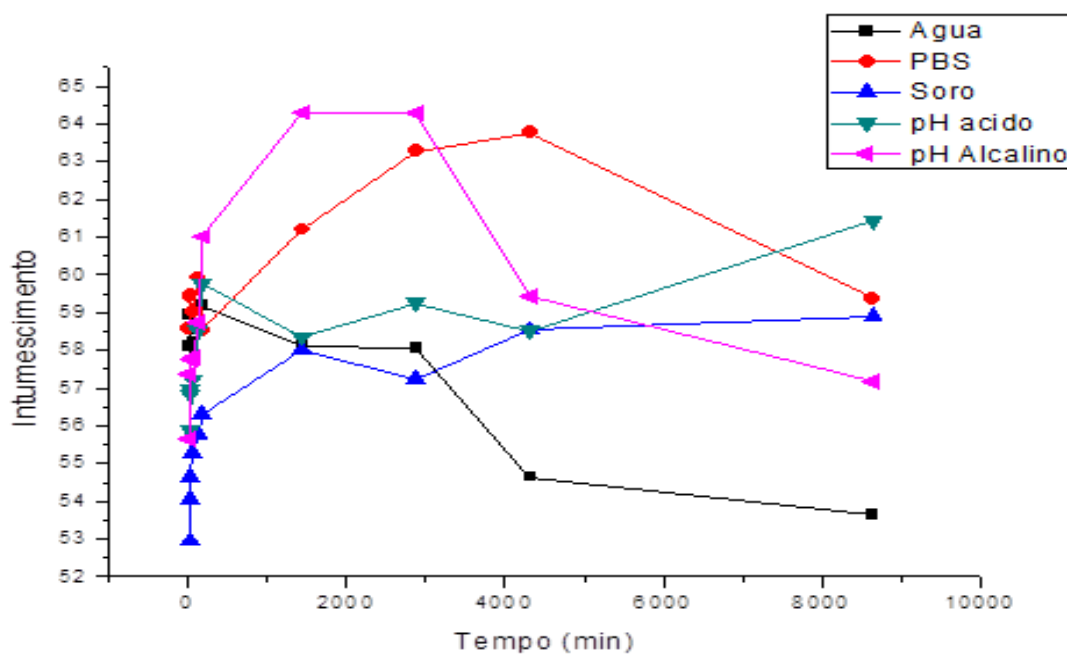
As Figuras 25 e 26 expressam os gráficos com todos os resultados, em porcentagem, obtidos após o término da análise de intumescimento do filme sem e com NCA, respectivamente. Ambos os materiais não apresentaram linearidade de absorção em nenhuma das cinco soluções de intumescimento.

Figura 25 – Índice de intumescimento do filme sem NCA durante toda a análise



Fonte: Própria, 2019.

Figura 26 – Índice de intumescimento do filme com NCA durante toda a análise



Fonte: Própria, 2019.

5 CONCLUSÃO

O amido extraído dos caroços de pitomba apresentou coloração rósea clara, diferindo da coloração típica da maioria dos amidos comerciais.

Após o processo de centrifugações, a suspensão de nanocristais apresentou um pH final levemente ácido. Em contrapartida, houve um bom rendimento dos NCA formados.

A metodologia adotada na preparação de ambos os filmes se mostrou eficiente, tendo ambos os filmes apresentando boas características estruturais. Entretanto, houve a formação de pequenas bolhas na superfície dos filmes com reforço.

Verificou-se que os NCA influenciaram a espessura dos filmes formados, os quais apresentaram uma pequena diminuição em comparação a espessura dos filmes sem NCA, porém, ambos os biomateriais apresentaram espessuras adequadas para aplicações biomédicas

Os padrões de difração de raios-X do amido de jaca nativo e dos NCA, apresentaram perfis similares, sendo observada uma maior intensidade nos picos, bem como, um maior índice de cristalinidade nos nanocristais.

Mesmo com o baixo índice de cristalização alcançado, os nanocristais incorporados influenciaram diretamente as propriedades mecânicas dos filmes reforçados.

A análise do FTIR apresentou bandas de absorção características dos grupos funcionais presentes na estrutura do amido utilizado na produção de ambos os filmes.

Através da análise por DSC, constatou-se uma diminuição na temperatura de fusão do filme com NCA em comparação ao filme sem reforço.

Os filmes reforçados sofreram influência na capacidade de absorção, apresentando uma elevação no índice de intumescimento em todas soluções em comparação aos filmes sem os nanocristais, sendo essa uma característica desejável em curativos, podendo absorver líquidos provenientes dos ferimentos, como transudato e exsudato.

No mais, apesar dos bons resultados obtidos nas análises pelo filme de amido de pitomba sem o reforço, os melhores resultados apresentados pelos filmes

reforçados, influenciados diretamente pela incorporação dos nanocristais de amido de jaca, tornam este biomaterial mais atrativo do ponto de vista biomédico, tendo características químicas e físicas promissoras para aplicação como curativo de feridas cutâneas.

REFERÊNCIAS

- ABURTO, J. et al. Properties of octanoated starch and its blends with polyethylene. **Carbohydrate Polymers**, v. 34, n. 1/2, p. 101-112, 1999.
- ADEOSUN, S. O. et al. Review of Green Polymer Nanocomposites. **Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering**, v. 11, n. 4, p. 483–514, 2012.
- AHSAN, S. M. et al. Chitosan as biomaterial in drug delivery and tissue engineering. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 110, p. 97-109, 2018.
- AKDOGAN, H. Pressure, torque, and energy responses of a twin screw extruder at high moisture contents. **Food Research International**, v. 29, n. 5-6, p. 423-429, 1996.
- ANGELLIER, H. et al. Optimization of the preparation of aqueous suspensions of waxy maize starch nanocrystals using a response surface methodology. **Biomacromolecules**, v. 5, p. 1545–1551, jun. 2004.
- ANGELLIER, H. et al. Starch nanocrystals fillers in an acrylic polymer matrix. **Macromolecular Symposia**, v. 221, n. 1, p. 95-104, Jan. 2005.
- ANGELLIER, H.; MOLINA-BOISSEAU, S.; DUFRESNE, A. Mechanical properties of waxy maize starch nanocrystal reinforced natural rubber. **Macromolecules**, v. 38, p. 9161-9170, 2005.
- ARORA, A.; PADUA, G. W. Review: Nanocomposites in food packaging. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 1, p. 43- 49, 2010.
- ASKELAND, D. R.; FULAY, P. P.; WRIGHT, W. J. **The Science and Engineering of Materials**. 6. ed. Cengage: Learning, 2010, p. 896.
- ASTM International: **D882-10**. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. Disponível em:
https://compass.astm.org/EDIT/html_annot.cgi?D882. Acesso em: 22 out. 2019.
- BANKER, G.S.; GORE, A.Y.; SWARBRICK, J. Water vapor transmission properties of free polymer films. **Journal pharmaceutical sciences**, v.18, p.457-466, 1996.
- BARRETO, Gislaine Bezerra de Carvalho. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes de amido de jaca com extrato de amora**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Química Industrial), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.
- BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y. J. K.; LIMA, D. P. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Quim. Nova**, v. 34, N. 2, p. 306-319, 2011.
- BENGTSSON, M.; KOCH, K.; GATENHOLM, P. Surface octanoylation of high-amylose potato starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 54, p. 1-11, 2003.

BERNARDO, C. O.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Efeito do ultrassom na extração e modificação de amidos. **Ciência Rural**, v.46, n. 4, p. 739-746, 2016.

BERTOLINI, A. **Starches: Characterization, Properties, and Applications**. Boca Raton: CRC Press, 2009.

BORSCHIVER, S.; ALMEIDA, L. F. M.; ROITMAN, T. Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 256-261, 2008.

BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6.2, p. 127-139, 2011.

BRUNO, F. F. et al. Enzymatic modification of insoluble amylose in organic solvents. **Macromolecules**, v. 28, n. 26, p. 8881-8883, 1995.

BULÉON, A. et al. Starch granules: structure and biosynthesis – Mini review. **Internacional Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, n. 2, p. 85-112, 1998.

CASTILLO, Lía Ethel Velásquez. **Nanocristais de amido de quinoa: produção, caracterização e aplicações em filmes de amido**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

CASTRO, Deise Souza. **Extração e utilização do amido do endocarpo da pitomba na elaboração de catchup e no desenvolvimento de revestimentos comestíveis**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

CAVALCANTE, L.C. et al. Efeito da pedra umes no processo de cicatrização tecidual. Estudo histológico em dorso de ratos. **Periodontol**, v. 22, p. 69-73, 2012.

CHUNG, K.C.; GLORI, A.K. Systematic review of skin graft donor-site dressings. **Plast Reconstr Surg**, v. 124, p. 307-308, 2009.

CONDÉS, M. C. et al. Amaranth protein films reinforced with maize starch nanocrystals. **Food Hydrocolloids**, v. 47, p. 146–157, 2015.

CORDENUNSI, B. R.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Utilização de novas técnicas de microscopia na caracterização do amido. **Carboidratos em Alimentos Regionales Iberoamericanos**. Editora da USP, São Paulo, p.646, 2006.

COSTA, A. Pitombeira – Talisia esculenta. **Natureza Bela**. Disponível em: <http://www.naturezabela.com.br/2011/05/pitombeira-talisia-esculenta.html>. Acesso em: 10 nov. 2019.

COSTA, Élia Karina de Carvalho. **Produção e caracterização de nanocristais de amido de mandioca e efeito da sua incorporação em filmes a base da mesma matriz polimérica**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

COSTA, Mariana Souza. **Produção e caracterização estrutural, molecular e morfológica de nanocristais a partir de diferentes amidos e sua aplicação em biofilmes**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2017.

CUQ, B. et al. Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as effected by film thickness. **J. of Food Sci.**, v. 61, n. 3, p. 580-584, 1996.

DAI, L. et al. Characterisation of corn starch-based films reinforced with taro starch nanoparticles. **Food Chemistry**, v. 174, p. 82–88, 2015.

DE LA CONCHA, B. B. S. et al. Acid hydrolysis of waxy starches with different granule size for nanocrystal production. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 198-200, 2017.

DEALEY C. **Cuidando de Feridas: um guia para as enfermeiras**. São Paulo, Atheneu Editora, 2. ed. São Paulo: Atheneu Editora, 2001, p. 49-65/68-89/200-207.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.

DUFRESNE, A.; CAVAILLE, J. New Nanocomposite Materials: Microcrystalline starch reinforced thermoplastic. **Macromolecules**, v. 29, n. 96, p. 7624–7626, ago. 1996.

FAN, H. et al. Characterization of starch films impregnated with starch nanoparticles oxidation. **Food Chemistry**, v. 192, p. 865–872, 2016.

FAN, K. et al. State of the art in topical wound-healing products. **Plast Reconstr Surg**, v. 127, p. 44-59, 2011.

FARIAS, M. G. et al. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata D.C.*). **Química Nova**, v. 35, p. 546-552, 2012.

FARIAS, Mônica Guimarães. **Elaboração e caracterização de filmes de amido e polpa de acerola por casting, extrusão termoplástica e termoprensagem**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

FECHINE, G. J. M. A Era dos Polímeros Biodegradáveis. **Plástico Moderno**, n. 423, 2010.

FLORIANÓPOLIS. Secretaria Municipal de Saúde. Vigilância em Saúde. **Protocolo de cuidados de feridas**. Florianópolis – SC: IOESC, 2008.

FREIRE, M. et al. Characterization of a saccharide-binding protein from Talisia esculenta seeds with trypsin inhibitory activity. **Protein Pept Lett**, v. 16, n. 12, p. 1557-64, 2009.

FREIRE, M. et al. Structural insights regarding an insecticidal Talisia esculenta protein and its biotechnological potential for Diatraea saccharalis larval control. **Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol**, v. 161, n. 1, p. 86-92, 2012.

GAO, W. et al. Effects of clays with various hydrophilicities on properties of starch-clay nanocomposites by film blowing. **Carbohydrate polymers**, v. 88, n. 1, p. 321-328, 2012.

GAUDIN, S. et al. Antiplasticisation and oxygen permeability of starch-sorbitol films. **Carbohydrate Polymers**, v. 43, n. 1, p. 33-37, 2000.

GHASEMIMOBARAKEH, L. et. al. Key terminology in biomaterials and biocompatibility. **Current Opinion in Biomedical Engineering**. v. 10, p. 45-50, 2019.

GHOSAL, K. et. al. Electrospinning tissue engineering and wound dressing scaffolds from polymer-titanium dioxide nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, v. 358, p. 1262-1278, fev. 2019.

GOMES, R. P. **Fruticultura brasileira**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1975.

GONÇALVES, P. M. et al. Characterization of starch nanoparticles obtained from Araucaria angustifolia seeds by acid hydrolysis and ultrasound. **Food Science and Technology**, v. 58, n. 1, p. 21-27, set. 2014.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. **Journal of Food Science**, Chicago, v.58, n.1, p.206-211, 1993.

GUARIM, N. G. **Plantas medicinais do Estado de Mato Grosso**. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, p. 72, 1996.

GUARIM, N. G.; SANTANA, S. R.; SILVA, J. V. B. D. Notas etnobotânicas de espécies de Sapindaceae Jussieu. **Acta Bot. Bras.**, v. 14, n. 3, p. 327-334, 2000.

GUERRA, Patrícia Moreira. **Modificação química do amido de mandioca e blendagem com poliéster biodegradável**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

GUINESI, L. S. et al. Kinetics of thermal degradation applied to starches from different botanical origins by non-isothermal procedures. **Thermochimica Acta**, Amsterdam. v. 447, p. 190-196, 2006.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 231-240, 2008.

HILSON, G.; MURCK, B. Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective. **Resources Policy**. v. 26, n. 4, 2000.

HOOVER, R. Acid-Treated Starches. **Food Reviews International**, v. 16, n. 3, p. 369–392, jul. 2000.

JANJARASSKUL, T.; KROCHTA, J.M. Edible packaging materials. **The Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 415-448, 2010.

JANSSON, A.; THUVANDER, F. Influence of thickness on the mechanical properties for starch films. **Carbohydrate polymers**, v. 56, p. 499-503, 2004.

JAYASEKARA, R. et al. Preparation, surface modification and characterization of solution cast starch PVA blended films. **Polymer Testing**, v. 23, p. 17-27, 2004.

JIANG, Q. et al. Characterizations of starches isolated from five different Dioscorea L. species. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 1, p. 35-41, 2012.

KIM, H. Y. et al. Preparation of crystalline starch nanoparticles using cold acid hydrolysis and ultrasonication. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, p. 295–301, 2013.

KONG, X. et al. Influence of acid hydrolysis on thermal and rheological properties of amaranth starches varying in amylose content. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 92, n. 8, p. 1800–1807, jun. 2012.

KRISTO, E.; BILIADERIS, C. G. Physical properties of starch nanocrystal-reinforced pullulan films. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, p. 146–158, mar. 2007.

KRISTO, E.; BILIADERIS, C. G. Physical properties of starch nanocrystalreinforced pullulan films. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, p. 146–158, 2007.

KROCHTA, J.M.; MULDER-JOHNSTON, C. Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, n. 2, p. 61-73, 1997.

KUMAR, M. et al. Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 21, p. 8406-8415, 2010.

LAROTONDA, F. D. S. et al. Biodegradable films made from raw and acetylated cassava starch. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 3, p. 477-484, 2004.

LE CORRE, D.; ANGELLIER-COUSSY, H. Preparation and application of starch nanoparticles for nanocomposites: A review. **Reactive and Functional Polymers**. Amsterdam, v. 85, p. 97-120, 2014.

LE CORRE, D.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Influence of native starch's properties on starch nanocrystals thermal properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 1, p. 658 - 666, 2012.

LE CORRE, D.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Starch nanoparticles: A review. **Biomacromolecules**, v. 11, p. 1139–1153, 2010.

LE CORRE, D.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Starch nanoparticles: A review. **Biomacromolecules**, v. 11, n. 5, p. 1139–53, maio 2010.

LE CORRE, Deborah. **Starch nanocrystals: Preparation and Application to bio-based flexible packaging**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia: materiais, mecânica, energética, ambiental e processo de produção), Université de Grenoble, Paris, 2011.

LEONEL, M. et al. Extração e caracterização do amido de diferentes genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. Esp., p. 599-605, 2011.

LEOPOLDINO, Kleison José Medeiros. **Extração e caracterização de amido nativo e modificado da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*)**. 2017. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

LIN, N. et al. Preparation, modification, and application of starch nanocrystals in nanomaterials: a review. **Journal of Nanomaterials**, New York, v. 85, p. 270-279, 2011.

LIU, L.; KERRY, J.F.; KERRY, J.P. Section of optimum extrusion technology parameters in the manufacture of edible/biodegradable packaging films derived from food-based polymers. **Helsinki, Journal of Food Agriculture Environment**, v. 3, n. 3, p. 51-58, jan. 2005.

LIU, Y. et al. Effect of chitosan on the fire retardancy and thermal degradation properties of coated cotton fabrics with sodium phytate and APTES by LBL assembly. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 135, p. 289-298, out. 2018.

MA, J. et al. A preliminary in vitro study on the fabrication and tissue engineering applications of a novel chitosan bilayer material as a scaffold of human neonatal dermal fibroblasts. **Biomaterials**, v. 22, n. 4, p. 331-336, feb. 2001.

MA, X. et al. Fabrication and characterization of citric acid modified starch nanoparticles/plasticized-starch composites. **Biomacromolecules**, v. 9, p. 3314–3320, 2008.

MACHADO, B. A. S. et al. Obtenção de nanocelulose da fibra de coco verde e incorporação em filmes biodegradáveis de amido plastificados com glicerol. **Química Nova**, v. 37, n. 8, p. 1275–1282, 2014.

MALI, S. et al. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v.56, p.129-135, 2004.

MALI, S. et al. Microstructural characterization of yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 50, n. 4, p. 379-386, 2002.

MALI, S. et al. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 3, p. 283-289, 2005.

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

MANDELBAUM, S.H.; DI SANTIS, É.P.; MANDELBAUM, M.H.S. Cicatrização: conceitos atuais e recursos auxiliares - Parte I. **An bras Dermatol**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 393-410, jul./ago. 2003.

MANGAVEL, C. et al. Molecular determinants of the influence of hydrophilic plasticizers on the mechanical properties of cast wheat gluten films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, n. 5, p.1447-14452, 2003.

MARTINS, J. Amigo da prensa. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 196, p. 42-43, ago. 2003.

MARZINOS, P. et al. Processing and characterization of LDPE/starch/PCL blends. **European Polymer Journal**, v.38, n. 9, p.1713-1720, 2002.

MATHEW, A. P.; DUFRESNE, A. Plasticized waxy Maize Starch: Effect of Polyols and Relative Humidity on Material Properties. **Biomacromolecules**, Washington, v. 3, n. 5, p. 1101-1108, 2002.

MATOS, L. R. R. S. et al. O óleo de pequi na cicatrização de feridas: uma visão interdisciplinar entre ambiente e saúde - revisão integrativa. **Revista Interdisciplinar de Estudos em Saúde**, v. 8, n. 1, p. 174-182, 2019.

MCHUGH, T.H.; KROCHTA, J.M. Sorbitol- vs. glycerol-plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.42, n.4, p.841-845, 1994.

MORRISON, I. M. et al. Starch production and industrial use. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 77, p. 289-311, 1998.

MUKUMBIRA, A. R.; MELLEME, J. J.; AMONSOU, E. O. Effects os amadumbe starch nanocrystals on the physico-chemical properties of starch biocomposite films. **Carbohydrate Polymers**, Kidlington, v. 165, p. 142-148, 2017.

NAIR, K.G.; DUFRESNE, A. Crab shell chitin whisker reinforced natural rubber nanocomposites. **Biomacromolecules**, v. 4, n. 3, p. 657- 665, 2003.

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch/Starke**, v. 35, n. 12, p. 407-410., 1983.

NASCIMENTO, M. H. M.; LOMBELLO, C. B. Hyaluronic acid and chitosan based hydrogels for cartilage tissue engeneering. **Polímeros**. v. 26, n. 4, p. 360-370, 2016.

NOGUEIRA, R. M. B.; KITAMURA, E. A.; AGUIAR O.M. Estudo clínico da reparação tecidual de feridas cutâneas de cães tratados com papaína e colagenase. **Nos Clín.**, v. 8, n. 43, p. 25-28, 2005.

OLIVEIRA, L. M. et al. **Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis**. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem, CETEA, p. 219, 1996.

OMER, A. M. Energy, environment and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 12, n. 9, p. 2265-2300, 2008.

PAGANELA, J. C. et al. Abordagem clínica de feridas cutâneas em equinos. **RPCV**, 104(569-572):13-18, 2009.

PANOBIANCO, M. S. et al. Comparação da cicatrização pós-mastectomia entre mulheres portadoras e não-portadoras de diabetes mellitus. **Rev. Rene**, v. 11, n. esp., p. 15-22, 2010.

PINTO, Vânia Zanella. **Pré-tratamentos na produção de nanocristais de amido de pinhão e feijão**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

PIYADA, K.; WARANYOU, S.; THAWIEN, W. Mechanical, thermal and structural properties of rice starch films reinforced with rice starch nanocrystals. **International Food Research Journal**, Serdang, v. 20, n. 1, p. 439-449, 2013.

POLESI, L. F. Amido resistente: aplicações e métodos de produção. **B CEPPA**, v. 29, n. 2, p. 211-222, 2011.

PRADELLA, J. G. C. **Biopolímeros e Intermediários Químicos**, relatório técnico nº 84396-205, Centro de Tecnologia de Processos e Produtos. Laboratório de Biotecnologia Industrial – LBI/CTPP, 2006.

PRANCE, G. T.; SILVA, M. F. **Árvores de Manaus: cNPq/INPa**, 1975.

RABBERS, Andressa Sabine. **Desenvolvimento, caracterização e avaliação da biocompatibilidade de composto a base de colágeno e óleo da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

RAIGOND, P.; EZEKIEL R., RAIGOND, B. Resistant Starch in Food: A Review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 10, p. 1968-1978, 2015.

ROCHA, G. O. et al. Filmes compostos biodegradáveis à base de amido de mandioca e proteína de soja. **Polímeros**, v. 24, n. 5, p. 587-595, 2014.

SAMIR, M. A. S. A.; ALOIN, F.; DUFRESNE, A. Review of Recent Research into Cellulosic Whiskers, Their Properties and Their Application in Nanocomposite Field. **Biomacromolecules**, v. 6, n. 2, p. 612-626, 2005.

- SANTANA, R.F. **Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos a base de amido da semente de jaca plastificados com glicerol ou sorbitol**. 2013, 83fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2013.
- SANTOS, T. C.; JÚNIOR, J. E. N.; PRATA, A. P. N. Frutos da Caatinga de Sergipe utilizados na alimentação humana. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 1-7, 2012.
- SANTOS, W. L. D. et al. Effect of the Aqueous Extracts of the Seeds of *Talisia esculenta* and *Sapindus saponaria* on Fall Armyworm. **Brazilian Archives of biololy an technology**, v. 51, n. 2, p. 373-383, 2008.
- SHANDERA, D. L.; JACKSON, D. S. Corn kernel structural integrity: analisys using solvent and heat treatments. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 2, p. 308-316, 2002.
- SHI, A. M. et al. The effect of annealing and cry oprotectants on the properties of vacuum-freeze dried starch nanoparticles. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 4, p. 1334–1341, 2012.
- SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2007.
- SILVA, Ana Priscila Monteiro. **Filmes de amido de manga: Influência de nanocristais de amido e celulose**. 2017. Dissertação (Mestre em Engenharia Química), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- SILVA, M. R. et al. Caracterização química de frutos nativos do cerrado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1790- 1793, 2008.
- SILVA, Paloma Lima. **Desenvolvimento de blendas de amido de inhame modificado com quitosana e PVA**. 2010. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- SILVA, W. A. et al. Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de biofilmes de diferentes fontes de amido. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 154-163, 2007.
- SMANIOTTO, P. H. S. et al. Tratamento clínico das feridas – curativos. **Rev Med**, São Paulo, v. 89, n. 3-4, p. 137-41, jul./dez. 2010.
- SOBRAL, P. J. do A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1251-1259, 2000.
- SOUZA, A. C.; DITCHFIELD, C.; TADINI, C. C. Biodegradable films based on biopolymers for food industries. **Innovation in Food Engineering: New techniques and products**, p. 511-537, 2010.

SOUZA, Felipe Ravelly Alves. **Efeitos da reticulação com genipina em membranas de quitosana/colágeno para potencial uso como biomaterial**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos), Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2018.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

TANG, R.; DU, Y.; FAN, L. Dialdehyde starch-crosslinked chitosan films and their antimicrobial effects. **Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics**, v. 41, n. 9, p. 993-997, may 2003.

TESTER, F. R.; KARKALAS, J. The effects of environmental conditions on the structural features and physico-chemical properties of starches. **Starch: international journal for the investigation, processing and user of carbohydrates and their derivatives**, Weinheim, v. 53, n. 10, p. 513-519, out. 2001.

TEXEIRA, Eliangela de Moraes. **Utilização de amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

THIRÉ, R. M. S. M. et al. Redução da hidrofobicidade de filmes biodegradáveis à base de amido por meio de polimerização por plasma. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 57-62, 2004.

THIRÉ, R. M. S. M.; SIMÃO, R. A.; ANDRADE, C. T. High resolution imaging of the microstructure of maize starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 54, n. 2, p. 149-158, nov. 2003.

URSULINO, E.A. et al. Germinação e vigor de sementes de *Talisia esculenta* (St. Hil) Radlk em função de diferentes períodos de fermentação Semina. **Ciências Agrárias**, v. 30, n. 4, p. 761-770, out./dez. 2009.

VALDEJÃO, R. G.; JANSON, J. A. Propriedades dos amidos e suas aplicações básicas na indústria papeleira. **O Papel**, São Paulo, p. 50-61, ago. 1996.

VARGAS, C. M. Sustainable development education: Averting or mitigating cultural collision. **International Journal of Educational Development**. v. 20, n. 5, p. 377-396, set. 2000.

VUKAJLOVIC, D. et. al. Chitosan based polymer/bioglass composites for tissue engineering applications. **Materials Science & Engineering C**. v. 96, p. 955-967, mar. 2019.

WANG, L. et al. Structures and physicochemical properties of acid-thinned corn, potato and rice starches. **Starch - Stärke**, v. 53, n. 11, p. 570-576, nov. 2001.

WANI, I. A. et al. Physico-chemical properties of starches from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. **International Journal Food Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 2176–2185, 2010.

WATANABE, A.; LARSSON, H.; ELIASSON, A. C. Effect of physical state of nonpolar lipids on rheology and microstructure of gluten-starch and wheat flour doughs. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 2, p. 203-209, 2002.

WILHELM, H. M. et al. Starch films reinforced with mineral clay. **Carbohydrate Polymers**, v. 52, n. 2, p. 101-110, may 2003.

WURZBURG, O. B. Cross-linking starches. In: WURZBURG, O. B. **Modified Starches**: properties and uses. Boca Raton: CRC Press, p.41-53, 1986.

YOUNG, H. Fractionation of starch. In: WHISTLER, R. L.; BeMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. (Ed). **Starch chemistry and technology**. 2.ed. Orlando: Academic Press, p.249-283, 1984.

ZHAI, M.; YOSHII, F.; KUME, T. Radiation modification of starch-based plastic sheets. **Carbohydrate Polymers**, v. 52, n. 3, p. 311-317, may 2003.

ZHU, J. et al. Structural features and thermal property of propionylated starches with different amylose/amylopectin ratio. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 97, n. 1, p. 123–130, april 2017.