

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

FERNANDA DE MORAES RODRIGUES

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE  
BIOPOLÍMEROS PRODUZIDOS A PARTIR DE FONTES  
NATURAIS DE AMIDO**

CAMPINAS/SP  
2019

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

FERNANDA DE MORAES RODRIGUES

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE  
BIOPOLÍMEROS PRODUZIDOS A PARTIR DE FONTES  
NATURAIS DE AMIDO**

Trabalho de Graduação apresentado por Fernanda de Moraes Rodrigues como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob orientação da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Fabiana C. Andrade Corbi

CAMPINAS/SP  
2019

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Biblioteca Fatec Campinas – CEETEPS**

R696s

RODRIGUES, Fernanda de Moraes

Síntese e caracterização térmica de biopolímeros a partir de fontes naturais de amido. Fernanda de Moraes Rodrigues. Campinas, 2019. 48 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Tecnologia em Processos Químicos – Faculdade de Tecnologia de Campinas.

Orientador: Profª Drª. Fabiana Cristina Andrade Corbi.

1. Biopolímeros. 2. Amido. 3. Síntese. 4. Análise térmica. I. Autor. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 668.4

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ19.2

**Fernanda de Moraes Rodrigues**

**Síntese e Caracterização Térmica de Biopolímeros Produzidos  
a partir de Fontes Naturais de Amido**

Trabalho de Graduação apresentado  
como exigência parcial para obtenção  
do título de Tecnólogo em Processos  
Químicos pelo CEETEPS/Faculdade  
de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 2 de Dezembro de 2019

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Fabiana Cristina Andrade Corbi  
Fatec Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Flávio Galvão Pereira  
Fatec Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Nelson Maniasso  
Fatec Campinas

*"Seja qual for a dificuldade que te encontres, não desanimes. [...] Não há progresso sem esforço, vitória sem luta e aperfeiçoamento sem sacrifício."*

*(Chico Xavier)*

## **DEDICATÓRIA**

Este trabalho provém de uma longa trajetória, trazendo consigo muitas lutas, conquistas e vitórias. Portanto, a atual dedicatória, tratará de todas essas inesquecíveis histórias.

Ao meu pai, Cláudio Bastos Rodrigues, que muito me inspira por sua história de vida e me incentiva fortemente quanto a dedicação, importância dos estudos e que, sobretudo, me ensinou que nunca é tarde demais para realizarmos os nossos sonhos.

À minha mãe, Iara de Moraes Rodrigues, que sempre me incentivou, auxiliou e me apoiou em todas as decisões na vida e, principalmente, no âmbito educacional e profissional.

Ao meu filho Rafael que me dá forças para continuar esta trajetória e que me alegra com seu “eu te amo” nos momentos mais inesperados.

Ao Marcus Vinicius Pierri Cappa por me apoiar e compreender em todos os momentos, por me inspirar com sua incrível história de vida e, a partir dela, me mostrar que nunca devemos desistir de lutar.

À Sandy Mary Azevedo Bonatti que é um grande exemplo de mulher, mestrande e profissional. Uma amiga admirável que esteve sempre ao meu lado, me apoiou em tudo e me incentivou a seguir os meus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço à Deus pela permissão de estar aqui e poder contribuir de alguma maneira com o conhecimento que foi adquirido neste trabalho. Ademais, também agradeço à Ele por estar ao meu lado em todos os momentos em que precisei ser forte e continuar seguindo em frente independentemente dos obstáculos que surgiram durante a minha trajetória.

Agradeço à minha família por todo o apoio, forças e ajuda que me deram durante toda a vida, mas em especial, nesses três anos da graduação. Sem eles, nada disso seria possível.

À minha orientadora Fabiana Corbi, que me apoiou e me incentivou desde o início da graduação. Obrigada por toda a orientação, pela força e pelas palavras de conforto nos momentos em que eu mais precisei.

Ao Dr. Pedro Paulo Corbi pela realização das análises termogravimétricas na Universidade Estadual de Campinas.

À Kerolaine Cristina, minha amiga de longa trajetória e uma grande parceira de estudos, trabalhos e laboratório. Obrigada por todo o incentivo e palavras de conforto.

À Aparecida Stradiotto Mendes, bibliotecária, que atuando em prol do desenvolvimento da sociedade e do indivíduo de maneira geral, por meio do acesso à informação, transformou meus pensamentos e abriu minha mente para novos aprendizados. Agradeço também pelo carinho, dedicação e todo o auxílio durante todos esses anos.

Aos professores e colaboradores da Faculdade de Tecnologia de Campinas que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um maior aprendizado e que compartilharam experiências vividas e profissionais durante os três anos de curso. Agradeço também pelas oportunidades e carinho.

Em suma, sou grata a todos que de forma direta, ou indireta, participaram da realização deste trabalho e da minha trajetória.

## RESUMO

O plástico ocupa um destaque especial em nossa sociedade devido a algumas de suas propriedades, tais como: baixo custo, versatilidade, rigidez, flexibilidade e potencial de moldagem. Entretanto, este material leva de 100 a 500 anos para se decompor. Logo, em consequência da quantidade de resíduos plásticos acumulados no ambiente, existe uma busca constante de alternativas para reduzir a sua quantidade e substituí-lo por materiais que possuam propriedades semelhantes, reduzindo, assim, os impactos ambientais e trazendo melhorias para as futuras gerações. Desta forma, os biopolímeros são uma alternativa na redução do uso de plásticos, pois, além de apresentarem propriedades semelhantes aos plásticos comuns, são provenientes de fontes naturais, sendo benéficos ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi sintetizar biopolímeros a partir de fontes de amido de mandioca e de arroz e estudar o comportamento térmico das amostras obtidas. Foram analisadas amostras dos biopolímeros *in natura* e secas, sob atmosfera inerte e oxidante. A partir dos resultados, constatou-se que os biopolímeros obtidos não sofrem despolimerização, levando à perda total de massa sob atmosfera oxidante. Sob atmosfera inerte, como esperado, a massa chega em um patamar constante mostrando que não ocorre queima total do polímero. Os dados termogravimétricos demonstram que o biopolímero de mandioca é termicamente mais estável que o de arroz.

Palavras-chave: biopolímeros, amido, síntese, análise térmica.

## **ABSTRACT**

Plastic occupies a special importance in our lives due to some of its properties, such as low cost, versatility, rigidity, flexibility and molding potential. However, this material takes about 100 to 500 years to decompose. Therefore, as a result of the amount of plastic waste accumulated in the environment, alternatives were sought to reduce the number of residues and replace them by materials that have similar properties, reducing environmental impacts and bringing improvements for future generations. Therefore, biopolymers are an alternative for the reduction of plastics, because, in addition to its characteristics similar to common plastics, they are from natural sources, being beneficial for the environment. Thus, the objective of this work was to produce biopolymers from cassava and rice starch sources and study the thermogravimetric properties of fresh and dried samples of such biopolymers, under an inert and oxidizing atmosphere. It was concluded that it is possible to obtain biopolymers from the sources mentioned and, during the thermogravimetric analysis, it was found that the material analyzed does not undergo depolymerization, causing the total loss of mass under oxidizing atmosphere, while under inert atmosphere, the mass reaches a constant level. In addition, each of the biopolymers produced was compared and it was concluded that cassava biopolymer is thermally more stable than rice one.

Key words: biopolymers, starch, synthesis, thermal analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema dos pilares do desenvolvimento sustentável e a união entre eles .....	17
Figura 2 – Ciclo de vida ideal dos polímeros provenientes de fontes renováveis. ....	18
Figura 3 – Principais aplicações dos biopolímeros e polímeros verdes no Brasil no ano de 2009 .....	21
Figura 4 – Estimativa do mercado de biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes do ano de 2015 no Brasil.....	22
Figura 5 – Estrutura esquemática do amido .....	23
Figura 6 – Características físico-químicas do amido de mandioca .....	26
Figura 7 – (A) Pesagem inicial da mandioca; (B) Centrífuga utilizada durante o procedimento e (C) amido após centrifugação .....	30
Figura 8 – Biopolímero de mandioca após o repouso de uma semana.....	31
Figura 9 – Pesagem inicial do arroz (A) e o biopolímero após uma semana de repouso (B) ..	32
Figura 10 – Amostra dos biopolímeros de arroz e mandioca (A) e maceração do biopolímero de mandioca (B).....	33
Figura 11 – Curvas TG para amostras de mandioca sob atmosfera inerte .....	35
Figura 12 – Curvas TG para amostras de mandioca sob atmosfera oxidante.....	36
Figura 13 – Curvas TG para amostras de mandioca sob atmosfera oxidante e inerte.....	37
Figura 14 – Curvas TG para amostras de arroz sob atmosfera inerte.....	38
Figura 15 – Curvas TG para amostras de arroz sob atmosfera oxidante .....	39
Figura 16 – Curvas TG para amostras de arroz sob atmosfera inerte e oxidante .....	39
Figura 17 – Curvas TG: derivada das massas das amostras de arroz sob atmosfera inerte e oxidante .....	40
Figura 18 – Curvas TG: derivada das massas das amostras de mandioca sob atmosfera inerte e oxidante .....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potencial de substituição de alguns polímeros de fontes fósseis por biopolímeros.	20
Tabela 2 – Composição média dos grãos de cereais (Base Seca) .....	25
Tabela 3 – Materiais e reagentes .....	30
Tabela 4 – Resultados obtidos nas análises termogravimétricas sob atmosfera inerte e oxidante .....	41

## LISTA DE SÍMBOLOS

ASTM - American Society for Testing and Materials

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DSC – Calorimetria Exploratória Diferencial

FTIR – Espectroscopia Vibracional de Absorção no Infravermelho com Transformada de Fourier

NBR - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ONU - Organização das Nações Unidas

PEAD - Polietileno de alta densidade

PEBD - Polietileno de baixa densidade

PHB - Polihidroxibutirato

PHBHx - Polihidroxibutirato-co-polihidroxihexanoato

PLA - Poli (ácido láctico)

PP - Polipropileno

PS – Poliestireno

TG - Termogravimetria

TPS - Thermoplastic Starch

WCED - World Commission on Environment and Development

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1	IMPACTOS AMBIENTAIS.....	16
2.1.1	Definição .....	16
2.1.2	Impacto ambiental ocasionado pela difusão do plástico .....	16
2.1.3	Sustentabilidade e polímeros verdes .....	17
2.2	POLÍMEROS.....	18
2.2.1	Problemática dos polímeros de fontes fósseis.....	19
2.3	BIOPOLÍMEROS.....	20
2.3.1	Definição e estrutura dos biopolímeros.....	20
2.3.2	Algumas Aplicações dos Biopolímeros .....	20
2.3.3	Mercado de biopolímeros.....	21
2.4	AMIDO.....	22
2.4.1	Definição e estrutura do amido .....	22
2.4.2	Amido termoplástico .....	24
2.4.3	Cereais e raízes.....	25
2.5	ANÁLISE TÉRMICA.....	26
2.5.1	Termogravimetria.....	27
2.6	FATORES QUE AFETAM AS CURVAS TERMOGRAVIMÉTRICAS .....	28
2.6.1	Atmosfera do forno .....	28
2.6.2	Massa da amostra .....	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1	PARTE EXPERIMENTAL.....	30
3.2	PREPARO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE TÉRMICA .....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45

# 1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, as civilizações já utilizavam materiais provenientes da celulose, substituindo as matérias-primas utilizadas em diversos produtos da época. Como um desses materiais pode-se citar a parkesina – o primeiro plástico feito pelo homem e patenteado em 1855 - resultado da pesquisa de Alexander Parkes. A parkesina ficou conhecida devido ao seu potencial de moldagem quando aquecida e devido à manutenção do formato após o resfriamento. Entretanto, devido ao custo elevado de produção, não houve incentivo por parte dos investidores para a produção de parkesina em escala industrial (EBC, 2014).

Em 1869, o tipógrafo americano John Wesley Hyatt descobriu um material à base de nitrato de celulose que, formado pela mistura de fibras de algodão com ácidos, tornava-se um filme sólido e flexível. Este material foi utilizado para substituir o marfim na fabricação de bolas de bilhar (EBC, 2014).

No início do século XX foram desenvolvidos novos tipos de materiais denominados plásticos, em que um dos aspectos responsáveis pela sua grande utilização foi a questão econômica, pois possibilitou a confecção dos mais diferentes artigos e objetos com custo reduzido, portanto mais acessíveis à população (PIATTI E RODRIGUES, 2005).

Desde então, o plástico vem ganhando o mercado em todo o mundo. Estima-se que, no ritmo de produção e descarte que há hoje, até 2050 existirá mais plásticos do que peixes no mar. Esse fato torna a poluição plástica o grande desafio do século, pois de 2000 a 2015, a produção do material dobrou e a previsão da indústria nos próximos 15 anos é de que deve dobrar novamente (LIGÓRIO, 2018).

Em consequência à quantidade de resíduos plásticos acumulados no ambiente, empregam-se quatro alternativas a fim de reduzir e tratar esses materiais: incineração, reciclagem, aterros sanitários e biodegradação. A primeira alternativa se mostra vantajosa, pois permite a rápida diminuição do volume de material descartado em cerca de 80%, entretanto, o custo dos fornos de aquecimento, aliados à poluição produzida pela liberação de gases tóxicos oriundos da queima, faz com que este não seja um método recomendável. Ao que concerne a reciclagem, constata-se que esse é um método viável e vantajoso na redução da quantidade de resíduos sólidos e na economia de matéria-prima, todavia, apenas 20% dos plásticos no mundo passam por esse processo. Os aterros sanitários – preparados para acondicionar o grande volume de matéria plástica - são locais afastados das cidades e que mantêm esses materiais expostos. No entanto, o material leva centenas de anos para se decompor, logo não é uma das melhores alternativas. A biodegradação, por sua vez, consiste na modificação física ou química dos

polímeros, por meio da ação de microrganismos, sob certas condições de calor, umidade, luz, oxigênio, nutrientes orgânicos e minerais adequados (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

Devido às consequências registradas pela má gestão dos plásticos, a literatura apresenta diversos estudos relacionados à síntese de biopolímeros a partir de fontes renováveis. O amido, por exemplo, é um dos exemplos que pode ser citado, pois é biodegradável, apresenta um baixo custo e está disponível em todo o mundo. Sendo assim, torna-se uma solução benéfica para a saúde pública e para o meio ambiente, já que o tempo de degradação no ambiente é menor e as características e propriedades plásticas dos biopolímeros são satisfatórios. Em aplicações industriais, o amido comumente utilizado é extraído de sementes de cereais (milho, trigo e arroz), tubérculos (batata), e raízes (mandioca) (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010), (CHIOU ET AL; 2005).

Portanto, observa-se que essa síntese cresceu de tal forma, que passou de um processo com um pouco de entendimento químico para uma ciência sofisticada, na qual as moléculas são planejadas com especificações predeterminadas para a produção de novos materiais que se encaixem nas necessidades humanas. A química de polímeros, então, faz parte de uma ciência maior denominada “ciência de materiais”, que envolve a criação de novos materiais para substituir metais, vidros, cerâmicas, tecidos, madeira, papelão e papel. A química de polímeros é pertencente a uma indústria multibilionária: atualmente existem 30 mil polímeros patenteados nos Estados Unidos e mais de  $2,5 \cdot 10^{13}$  quilogramas deles são produzidos a cada ano (BRUICE, 2006).

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a síntese de biopolímeros obtidos a partir do amido. As fontes de amido foram raízes (mandioca) e cereais (arroz). Foi elaborado o protocolo de síntese e realizada a caracterização dos biopolímeros obtidos através de análises térmicas. Sendo assim, por meio dos resultados obtidos durante as análises, buscou-se comparar cada um dos biopolímeros sintetizados quanto às suas características e diferenças térmicas em termos de umidade e estabilidade térmica.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

#### 2.1.1 Definição

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Impacto Ambiental é toda e qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultante das atividades humanas que afetam direta ou indiretamente a saúde, a segurança da população, o ecossistema, as condições estéticas e sanitárias ambientais e a qualidade dos recursos ambientais (BITAR; ORTEGA, 1998).

Neste aspecto, o presente trabalho apresentará o impacto ambiental causado pelos plásticos.

#### 2.1.2 Impacto ambiental ocasionado pela difusão do plástico

Em função do uso tão difundido do plástico, grande parte do lixo que produzimos diariamente é composto deste material. Os plásticos se decompõem muito lentamente e vêm acarretando graves problemas ambientais. Têm sido necessários aterros sanitários cada vez maiores, e, portanto, mais distantes dos centros urbanos, para acolher o volume de lixo que é produzido diariamente. Diante deste fato, várias iniciativas tanto técnicas quanto educativas têm sido propostas em prol de minimizar o problema, como por exemplo a implantação da educação ambiental nas escolas, promovendo a formação de indivíduos preocupados com o meio ambiente (PIATTI E RODRIGUES, 2005).

Segundo Araújo, Ramos e Lemos (2010), o lixo urbano, assim como qualquer outro tipo de detrito, oferece grande ameaça ao ambiente no qual ele está inserido, por acarretar poluição e toxicidade.

Segundo a literatura, o despejo do material plástico em locais inadequados combinados com os seus respectivos tempos de degradação no ambiente, acarreta diversos problemas ambientais, tais como: a poluição visual, enchentes e, devido ao descarte inadequado, ocasiona a morte de cerca de 1,5 milhões de animais marinhos e aves por ano, pois estes ingerem plásticos e derivados que, frequentemente, são confundidos com seus alimentos (PROJETO TAMAR, 2016).

Segundo Zago e Durante (2018), dados divulgados pela Organização das Nações Unidas (ONU) afirmam que 80% de todo o lixo marinho é composto por plástico e que a estimativa é de que em 2050 a quantidade de plásticos no mar supere a quantidade de peixes.

Além disso, de acordo com Zago e Durante (2018), a cada ano são despejados nos oceanos cerca de 12,7 milhões de toneladas de plástico, desde garrafas e sacos plásticos até canudos. Ademais, o maior impacto é devido à ingestão desses materiais pelos animais, devido ao seguinte fator:

“[...] O consumo dessas embalagens plásticas, como as garrafas PET, impede que os animais mergulhem profundamente, impossibilitando-os de caçar e até de comer e quando se perde animais de uma cadeia alimentar equilibrada, você aumenta a quantidade de animais que serviam de caça para aquele que diminuiu, consequentemente, reduzindo a comida dos predadores”.

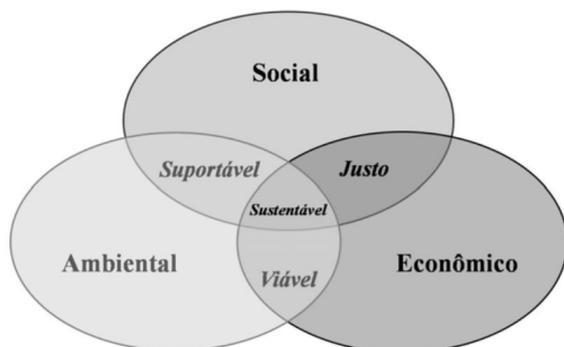
Portanto, mediante a isso, vê-se a importância do descarte correto desses materiais e da redução de resíduos plásticos no meio ambiente, bem como a conscientização da população.

### 2.1.3 Sustentabilidade e polímeros verdes

Segundo a Comissão Mundial do Meio-Ambiente e Desenvolvimento (World Commission on Environment and Development - WCED), desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atenderem as suas necessidades (BRITO, 2011).

O esquema representado na Figura 1 apresenta os três pilares do desenvolvimento sustentável e a sinergia entre eles: desenvolvimento econômico e social e a proteção ambiental.

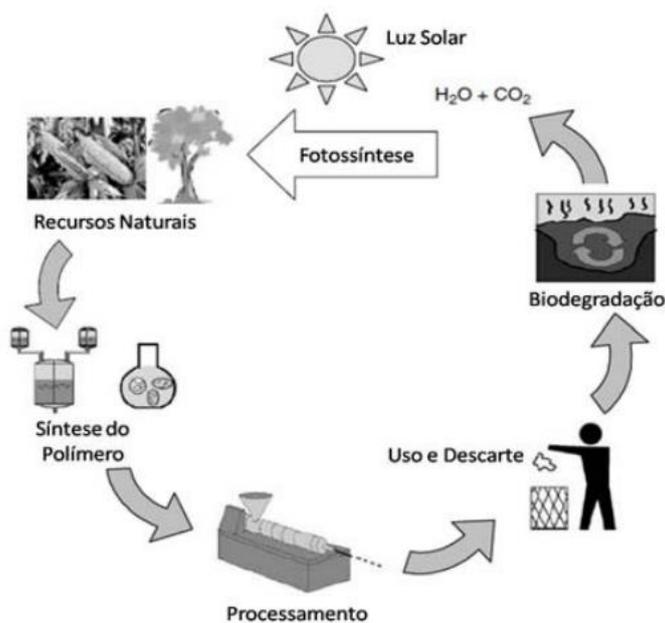
Figura 1 – Esquema dos pilares do desenvolvimento sustentável e a união entre eles



FONTE: Brito (2011).

Segundo Brito (2011), polímeros verdes são aqueles que, durante sua síntese, processamento ou degradação produzem menor impacto ambiental que os polímeros convencionais. Em tempos remotos, estes eram produzidos a partir de matéria-prima proveniente de fontes fósseis, mas, devido a avanços tecnológicos, passaram também a ser sintetizados a partir de matéria-prima proveniente de fontes renováveis. Desta forma, a fim de diferenciá-los, acrescentou-se a palavra “verde” no final daquele que provém de fontes renováveis. Para tanto, a Figura 2 representa o ciclo de vida ideal dos polímeros renováveis:

Figura 2 – Ciclo de vida ideal dos polímeros provenientes de fontes renováveis.



FONTE: Brito (2011).

## 2.2 POLÍMEROS

Os polímeros, grupo de substâncias sintéticas, são muito importantes para a vida moderna. O polímero é uma macromolécula constituída por repetidas unidades de moléculas pequenas, denominadas monômeros. Elas se unem por polimerização (BRUICE, 2006).

Segundo a literatura, as moléculas grandes são interessantes devido às propriedades físicas que possuem, sendo extremamente úteis no dia-a-dia. Eles fazem parte de muitos materiais que os seres humanos utilizam: filme fotográfico, discos compactos, tapetes, embalagem de produtos alimentícios, o adesivo conhecido por “supercola”, brinquedos e muitos outros materiais (BRUICE, 2006).

Os polímeros, de acordo com Bruice (2006), podem ser categorizados em dois grandes grupos: polímeros sintéticos e naturais (biopolímero). Os sintéticos são aqueles sintetizados a partir de reagentes químicos, enquanto os naturais são sintetizados pelos organismos. O primeiro uso dos polímeros naturais por humanos, foi em roupas, quando começaram a vestir-se com couro de animais, em que eram adicionados polímeros à este material a fim de conferir impermeabilidade e boa resistência.

### 2.2.1 Problemática dos polímeros de fontes fósseis

Os plásticos convencionais, derivados do petróleo, levam cerca de cem a quinhentos anos para se degradar no ambiente, sendo responsáveis por grande parte de acumulados na natureza com consequência direta na poluição ambiental. Entretanto, considerando o alto preço do petróleo e a crescente conscientização ecológica, a tendência mundial aponta para a produção de materiais biodegradáveis (RÓZ, 2003).

Desta maneira, nos últimos anos, vêm sendo reconhecida a necessidade da redução da quantidade de materiais plásticos, além do incentivo à reciclagem, que, apesar de depender, em grande parte da coleta e seleção do produto, não atinge a totalidade de recicláveis. Desta forma, há um grande interesse na síntese e utilização de produtos que possuam origem vegetal e que sejam biodegradáveis (RÓZ, 2003).

De acordo com Santos, Coelho e Filho (2014), pode-se amenizar vários problemas ambientais relacionados ao uso do plástico convencional ao se utilizar o polímero natural, que é resistente à água, como matéria prima. Ademais, os autores reforçam que o polímero natural possui alta capacidade de reutilização, já que este é renovável e pode ser decomposto em um curto período em comparação com os outros polímeros. Os autores destacam ainda que:

“O grande diferencial das pesquisas atuais com plásticos se concentra na origem da matéria prima, em sua grande parte vinda de vegetais, estas ganham espaço ao dispensar o uso do petróleo. O bioplástico tem a capacidade de rápida degradação e os procedimentos utilizados para sua fabricação são simples e limpos.” (SANTOS; COELHO; FILHO, 2014, p. 02)

Os biopolímeros, ao contrário dos plásticos provenientes do petróleo, se utilizam de fontes renováveis, tais como o amido de leguminosas, cereais, raízes e outras fontes ricas em amido. Além disso, suas propriedades se assemelham às dos plásticos comuns, como rigidez e flexibilidade, possibilitando sua substituição por estes novos materiais (SANTOS; COELHO; FILHO, 2014).

## 2.3 BIOPOLÍMEROS

### 2.3.1 Definição e estrutura dos biopolímeros

Segundo Brito (2011), os biopolímeros são polímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes de carbono, como: milho, arroz, batata, mandioca, cana-de-açúcar, celulose, quitina e outras. As fontes renováveis são conhecidas devido ao ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo.

De acordo com Pradella (2006), os biopolímeros são materiais poliméricos classificados estruturalmente como polissacarídeos, poliésteres ou poliamidas.

### 2.3.2 Algumas Aplicações dos Biopolímeros

O crescente interesse pelos biopolímeros está relacionado aos grandes impactos ambientais causados pelos processos de extração e refino utilizados para produção dos polímeros derivados do petróleo, a escassez desse e aumento do seu preço. Outro fator considerável é a não biodegradabilidade da grande maioria dos polímeros produzidos a partir do petróleo, contribuindo para o acúmulo de lixo plástico sem destino apropriado que levará de dezenas a centenas de anos para ser degradado (BRITO, 2011).

Alguns biopolímeros apresentam grande potencial para substituição, em determinadas aplicações, de polímeros provenientes de fontes fósseis (BRITO, 2011). A Tabela 1 apresenta a possibilidade de substituição de alguns polímeros provenientes de fontes fósseis por biopolímeros. Os biopolímeros apresentados na tabela são o amido, o poli (ácido láctico) – PLA, o polihidroxibutirato – PHB, e o polihidroxibutirato-co-polihidroxihexanoato – PHBHx.

Tabela 1 – Potencial de substituição de alguns polímeros de fontes fósseis por biopolímeros

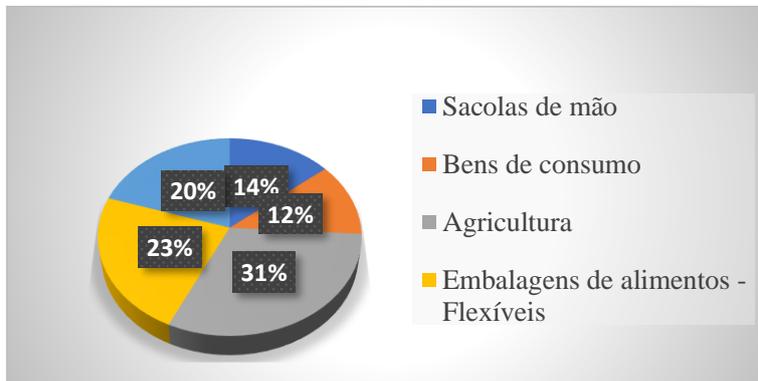
Polímero	PVC	PEAD	PEBD	PP	PS	PMMA	PA	PET	PC
Amido	-	+	+	+	+	-	-	-	-
PLA	-	+	-	+	+	-	+	+	-
PHB	-	+	-	++	+	-	-	-	-
PHBHx	+	++	++	++	+	-	-	+	-
Substituição completa (++)			Substituição parcial (+)			Não substitui (-)			

Fonte: BRITO (2011)

Conforme observado na Tabela 1, o polímero natural feito a partir do amido pode substituir parcialmente o PEAD (Polietileno de alta densidade), PEBD (Polietileno de baixa densidade), PP (Polipropileno) e o PS (Poliestireno).

As principais aplicações desses polímeros no Brasil são nos segmentos de embalagens de alimentos (flexíveis e rígidas), sacolas, filmes para agricultura e produtos de consumo, devido à sua rigidez e flexibilidade (BRITO, 2011). Com base nessas informações, a Figura 3 demonstra o percentual das principais aplicações destes polímeros no Brasil no ano de 2009.

Figura 3 - Principais aplicações dos biopolímeros e polímeros verdes no Brasil no ano de 2009



Fonte: Brito (2011)

### 2.3.3 Mercado de biopolímeros

Segundo Brito (2011), o mercado dos biopolímeros ainda é pequeno no Brasil, mas espera-se uma produção em larga escala no país. Alguns obstáculos a serem rompidos estão relacionados com o nível de consciência de utilização destes polímeros, que no Brasil é ainda muito baixo, representando um desafio considerável, bem como seu desempenho comparado aos dos plásticos convencionais.

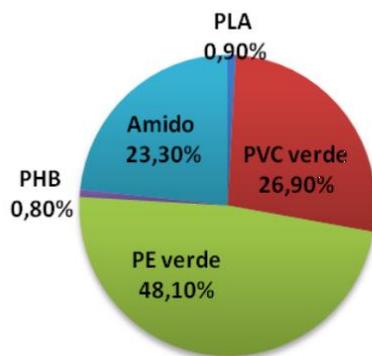
Ainda segundo Brito (2011), o mercado atual é representado pelos seguintes fornecedores de biopolímeros:

- Cargill (PLA);
- Biomater (amido);
- PHB Industrial (PHB, PHB-HV);
- Basf (Ecoflex®, blenda de Ecoflex®/Amido – Ecobras® e blenda de Ecoflex®/PLA – Ecovio®);
- Corn Products (amido e Ecobras®);
- Perstorp (PCL).

Em relação aos biopolímeros, o Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar, possuindo o menor custo de produção dessa matéria prima, favorecendo o país na produção de polímeros verdes à base de etanol (BRITO, 2011).

A Figura 4 ilustra a estimativa do ano de 2015 do mercado dos biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes no Brasil:

Figura 4 – Estimativa do mercado de biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes do ano de 2015 no Brasil.



Fonte: Brito (2011)

Como pode ser observado na Figura 4, 23,3% dos biopolímeros serão sintetizados a partir do amido.

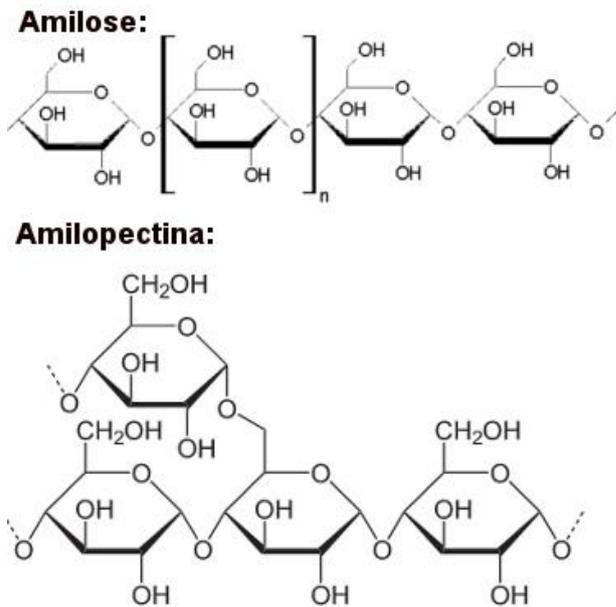
## 2.4 AMIDO

### 2.4.1 Definição e estrutura do amido

O amido, segundo Brito (2011), é a maior reserva de carboidratos em plantas. Em contraste com a celulose, ele pode ser digerido por humanos e representa uma das principais fontes de energia que sustenta a vida. De acordo com Santos et al (2014), define-se o amido como um carboidrato nutricional, sendo um polissacarídeo composto pelos polissacarídeos amilose e amilopectina, que são facilmente hidrolisados, produzindo carboidratos de baixo peso molecular. Este possui grande potencial de aplicação no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, por ser renovável e obtido a partir de diversas fontes de baixo custo.

Na estrutura do amido é possível identificar dois componentes: a amilose e a amilopectina, como pode ser observado na Figura 5:

Figura 5 – Estrutura esquemática do amido.



Fonte: Brito (2011)

A amilose é uma macromolécula essencialmente linear formada por longas cadeias não ramificadas que estão unidas por ligações  $\alpha$ -1,4. Ela também apresenta grau de polimerização entre 500 e 2000 unidades de glicose. Normalmente a molécula de amilose se encontra na forma helicoidal, com átomos de hidrogênio no interior da hélice, tornando-o hidrofóbico e permitindo a formação de complexos com ácidos graxos livres, álcoois e iodo. A complexação com iodo é uma ferramenta importante para a caracterização do amido, pois gera coloração azul (POLESI, 2009).

Por outro lado, segundo Macedo (2007), a amilopectina tem uma estrutura altamente ramificada, semelhante a uma árvore, onde cada ramificação contém 20 a 30 unidades de glicose e cada molécula contém centenas de ramificações. De acordo com Polesi (2009), ela é formada por unidades de D-glicose unidas em  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6, sendo esta última responsável pela ramificação da molécula. Além disso, diferentemente da amilose, quando a amilopectina está em contato com solução de iodo, apresenta coloração avermelhada.

Na amilose a viscosidade intrínseca é maior, pois, devido a sua forma linear a hidratação é maior, dificultando seu movimento, o que não ocorre na amilopectina devido à sua forma arredondada (MACEDO et al., 2007).

Os grânulos de amido apresentam birrefringência quando observados em microscópio óptico sob luz polarizada, ou seja, há uma cruz formada por regiões cristalinas e os espaços vazios formados por regiões amorfas, o que indica uma grande ordenação molecular. A parte linear das moléculas de amilopectina resulta em estruturas helicoidais duplas, estabilizadas por

ligações de hidrogênio entre grupamentos hidroxila. São elas que dão origem às regiões cristalinas dos grânulos. A região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina (MACEDO et al., 2007).

Segundo Brito (2011), na maioria das vezes, as moléculas de amilose são lineares. Elas ainda podem variar em sua distribuição do peso molecular e em seu grau de polimerização, afetando sua viscosidade, que é essencial no processamento, e seu comportamento de cristalização, importantes no desempenho do produto. Já a amilopectina é um polissacarídeo extremamente grande e ramificado. Apesar do seu peso molecular mais elevado (107 – 109 g/mol), sua viscosidade é baixa devido ao grande número de ramificações que ela possui.

#### 2.4.2 Amido termoplástico

O amido termoplástico (TPS - thermoplastic starch), é um material amorfo ou semicristalino composto pelo amido plastificado por uma única mistura de plastificantes (BELGACEM; GANDINI, 2008).

Segundo Halley (2005), o amido termoplástico possui baixo custo e propriedades para ser utilizado em equipamentos convencionais de processamento de termoplásticos. O TPS é geralmente produzido processando-se uma mistura de amido e plastificante em extrusora sob temperaturas de 140 – 160 °C.

Se a composição final contiver apenas água como plastificante, em níveis acima de 15 – 20%, ela mantém suas propriedades termoplásticas que, se controladas, geram o efeito desejado explorado na produção do amido expandido. Entretanto, se a temperatura de processo for superior a 100° C, a água evapora e o material fundido expande (BELGACEM; GANDINI, 2008).

De acordo com Brito (2011), o amido termoplástico vem sendo estudado desde os anos 70, devido ao baixo custo e capacidade de ser modificado ou misturado a outros polímeros, melhorando suas condições de processamento e propriedades, pois os grupamentos hidroxila no amido favorecem sua modificação. O autor ainda ressalta que o amido termoplástico sem modificação é sensível a umidade e são mais frágeis que os plásticos sintéticos, principalmente após o envelhecimento.

Desta forma, para obtenção de produtos com aceitação comercial, o amido deve ser modificado ou misturado a outros polímeros em prol de melhorar suas propriedades, minimizar sua sensibilidade a água e diminuir a temperatura de gelatinização, reduzindo, desta forma, a recristalização e melhorando a flexibilidade do produto (BRITO, 2011).

### 2.4.3 Cereais e raízes

Os cereais são produtos originários de gramíneas, sendo as principais culturas o trigo, arroz, milho, centeio, cevada, sorgo, aveia e o triticale (cruzamento de trigo e centeio). Eles são considerados importantes fontes de proteínas e possuem cerca de 70% de carboidratos digeríveis na sua porção comestível (MACEDO et al., 2007).

Ainda segundo Macedo (2007), a composição química dos grãos varia de acordo com o ambiente, solo e variedade. Sendo assim, os teores de proteína, carboidratos, lipídeos e minerais podem apresentar variações para o mesmo cereal. O autor reforça também que as espécies de amido extraídas de fontes diferentes são quimicamente similares, porém seus grãos são heterogêneos em relação ao tamanho, distribuição de tamanho, forma, massa molar, distribuição de massa molar e grau de ramificações. A descrição mais crítica relaciona-se à proporção dos polissacarídeos amilose e amilopectina que o constituem, sendo que o amido encontrado em cereais naturalmente contém 72- 82% em peso de amilopectina e 18-33% em peso de amilose. Entretanto, o arroz (*Oryza sativa*) pode conter até 70% de amilose, como pode ser observado na Tabela 2:

Tabela 2 – Composição média dos grãos de cereais (Base Seca)

	Trigo	Centeio	Milho	Cevada	Aveia	Arroz	Sorgo
Umidade (%)	11,00	10,5	15	10,6	9,8	11,4	10,6
Proteína (%)	14,30	13,4	10,2	13	12	9,2	12,5
Gordura (%)	1,90	1,8	4,3	2,1	5,1	1,3	3,4
Fibra (%)	3,40	2,2	2,3	5,6	12,4	2,2	2,2
Cinza (%)	1,60	1,9	1,2	2,7	3,6	1,6	2
Carboidrato - Amido (%)	59,20	52,4	62,6	52,2	40,1	70,4	-

FONTE: Macedo et al (2007).

Desta forma, é possível observar que o arroz é o cereal que contém uma porcentagem maior de amido comparado aos demais. Por isso, neste trabalho, para a síntese do polímero a base do amido proveniente de cereais, será utilizado o arroz.

Em relação às raízes, escolheu-se a mandioca, planta da família *Euphorbiaceae*, já que esta possui raízes essencialmente energéticas, apresentando elevados teores de carboidratos, principalmente polissacarídeos. Desta maneira, foram apresentadas as características físico-químicas da raiz na Figura 6.

Figura 6 – Características físico-químicas do amido de mandioca

Determinações	Amido nativo
Umidade (%)	14,9
Amido (%)	87,6
Fibras (%)	0,5
Matéria-graxa (%)	0,2
Açúcares totais (%)	0,2
Cinzas (%)	0,2
Proteínas (%)	0,2
pH	5,6
Acidez <sup>(1)</sup>	-

Fonte: Henrique (2008)

Sobretudo, propriedades importantes dos biopolímeros podem ser investigadas a partir do estudo do comportamento térmico das amostras. A partir desses estudos, propriedades como a estabilidade térmica, umidade das amostras, decomposição térmica experimental e reações entálpicas podem ser determinadas.

## 2.5 ANÁLISE TÉRMICA

A análise térmica é definida como “um grupo de técnicas por meio das quais uma propriedade física de uma substância e/ou de seus produtos de reação é medida em função da temperatura, enquanto essa substância é submetida a uma programação controlada de temperatura e sob uma atmosfera especificada” (CANEVAROLO JR., 2004).

Segundo a literatura, para que uma técnica térmica seja considerada termoanalítica, devem ser satisfeitos três critérios: uma propriedade física deve ser medida, ela deve ser expressa direta ou indiretamente em função da temperatura e deve ser executada sob um programa controlado de temperatura (CANEVAROLO JR., 2004).

Desta forma, para o trabalho de graduação proposto, é de interesse a técnica de Termogravimetria (TG), que estuda a variação massa da amostra em função da temperatura em um determinado período.

Segundo Canevarolo Jr. (2004), todos os instrumentos de análise térmica têm características em comum e, de maneira geral, o que os diferencia é o tipo de transdutor empregado na sua construção, que tem a função de converter as propriedades físicas avaliadas em sinais elétricos.

Um analisador térmico atual é constituído por um forno (célula de medida) em que a amostra é aquecida ou resfriada a uma taxa controlada, sob atmosfera previamente estabelecida. As mudanças que ocorrem na amostra são monitoradas por um transdutor seletivo que pode ser constituído por termopares, balança, sensor calorimétrico, medidor de deslocamento ou detector de gás. A partir disso, o transdutor gera um sinal elétrico que é amplificado e transferido para a unidade controladora, mantendo a comunicação permanente com a célula medida (CANEVAROLO JR., 2004).

Essa unidade controladora é interfaceada a um microcomputador que controla a operação, a aquisição e análise de dados e o registro da curva termoanalítica gerada, que além de receber os dados da célula de medidas, transfere as informações necessária para colocar o equipamento em operação de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos (CANEVAROLO JR., 2004).

Ainda de acordo com Canevarolo Jr., o uso de somente uma análise térmica pode não oferecer dados suficientes de um determinado sistema. Logo, para informações adicionais, associa-se os resultados obtidos entre duas ou mais técnicas termoanalíticas. Pode-se utilizar, por exemplo, os dados de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para complementar os dados de TG.

### 2.5.1 Termogravimetria

A termogravimetria (TG) é uma análise térmica na qual a variação da massa da amostra, seja ela perda ou ganho, é determinada em função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura. Com essa técnica, é possível conhecer as alterações que o acontecimento pode provocar na massa das substâncias, permitindo estabelecer a faixa de temperatura em que elas adquirem composição química fixa, definida e constante, a temperatura em que começam a se decompor, acompanhar o andamento de reações de desidratação, oxidação, combustão, decomposição, entre outros (CANEVAROLO JR., 2004).

Sobretudo, no que concerne o campo de materiais poliméricos, a TG vem sendo largamente utilizada desde a década de 1960 no desenvolvimento dos mais variados tipos de estudos para avaliação dos fenômenos físicos e químicos, desde que estes estejam relacionados à variação de massa em função da temperatura ou tempo. Para polímeros, especificamente, estão inclusas a avaliação da estabilidade térmica, o efeito de aditivos sobre a estabilidade térmica, a determinação de conteúdos de umidade e de aditivos, estudos de cinética, análise de sistemas de copolímeros, entre outros estudos (CANEVAROLO JR., 2004).

## 2.6 FATORES QUE AFETAM AS CURVAS TERMOGRAVIMÉTRICAS

Fatores instrumentais relacionados às características da amostra podem influenciar a natureza, precisão e a exatidão dos resultados experimentais. Os principais fatores instrumentais são: razão de aquecimento; atmosfera do forno; forma, tamanho e composição do cadinho (CANEVAROLO JR., 2004).

No que concerne as características da amostra, Canevarolo Jr. (2004) cita que as principais são: massa da amostra e tamanho da partícula ou granulometria da amostra. Enquanto as fontes de erro em termogravimetria são: impulsão da atmosfera; correntes de convecção e turbulência; medida de temperatura; flutuação da temperatura e condensação de produtos liberados da amostra. Sobretudo, devido a todos os erros que podem ser considerados durante o procedimento, conclui-se que o mais correto é referir-se à temperatura de decomposição experimental e não, simplesmente, à temperatura de decomposição. Desta forma, dentre os tópicos citados, serão apresentados neste trabalho os fatores mais relevantes ao atual estudo.

### 2.6.1 Atmosfera do forno

Dependendo das características da amostra ou do tipo do estudo, determina-se se a atmosfera será estática ou fluente, se o gás será reativo ou inerte e se decide qual será a pressão exercida. De modo geral, as curvas de TG são obtidas sob uma atmosfera dinâmica, que possui as funções de proteger o compartimento da balança dos voláteis liberados durante a decomposição térmica da amostra e evitar a condensação desses produtos nas partes frias do sistema, gerando eventos inesperados (CANEVAROLO JR., 2004).

Além disso, o efeito da atmosfera do forno sobre as curvas TG dependem do tipo de reação da natureza dos produtos formados e do tipo da atmosfera empregada. Para tanto, há dois casos: quando o polímero sofre despolimerização<sup>1</sup> e quando ele não sofre (CANEVAROLO JR., 2004).

Para polímeros que sofrem despolimerização, o processo de decomposição térmica é pouco influenciado pela atmosfera. A despolimerização inicia-se praticamente na mesma temperatura, independente se a atmosfera é inerte ou oxidante. No entanto, o polímero politetrafluoretileno (PTFE), sob a atmosfera de ar, a partir de aproximadamente 30% de perda de massa, sofre uma aceleração no processo devido à oxidação do monômero liberado. Isso conduz uma diminuição de cerca de 25 °C a temperatura final em relação à curva TG obtida sob atmosfera de nitrogênio (CANEVAROLO JR., 2004).

<sup>1</sup> Despolimerização é a degradação de uma macromolécula em moléculas mais simples mantendo a mesma fórmula empírica, como os monômeros, por exemplo.

Para polímeros que não despolimerizam, o processo é muito influenciado pela atmosfera. Quando ela não ocorre, a decomposição térmica se processa por quebra aleatória da cadeia, gerando uma baixa produção de monômero e uma rápida diminuição da massa molar, com a conseqüente formação de material carbonáceo. Utilizando uma atmosfera de ar, esse material carbonáceo é completamente convertido em gás carbônico, independente da razão de aquecimento empregada. Porém, se for utilizada atmosfera de nitrogênio, o material carbonáceo gerado não é decomposto, a quantidade é alta e depende da razão de aquecimento utilizada (CANEVAROLO JR., 2004).

Como em razões de aquecimento maiores as temperaturas mais altas são alcançadas mais rapidamente, ocorre a formação de uma maior quantidade de material carbonáceo, que praticamente não é decomposto sob atmosfera de nitrogênio. Por outro lado, a atmosfera de ar acelera o processo de decomposição térmica, devido à oxidação provocada pela presença de oxigênio. Nessas condições, além da antecipação do processo de decomposição térmica, o material carbonáceo formado é oxidado completamente e a perda de massa é de 100% (CANEVAROLO JR., 2004).

#### 2.6.2 Massa da amostra

Dependendo das características entálpicas das reações, é possível que ocorra desvios nas curvas de TG. De maneira geral, para reações exotérmicas, o intervalo de temperatura em que ocorre a perda de massa pode ser diminuído de forma significativa, visto que o calor liberado durante a reação de decomposição faz com que a temperatura da amostra aumente mais rapidamente do que a taxa de aquecimento do forno. Este aumento é diretamente proporcional, aumentando conforme a massa de amostra aumente. Por outro lado, em reações endotérmicas, o efeito é contrário (CANEVAROLO JR., 2004).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

De acordo com a literatura, observou-se que dentre as raízes e cereais, os que possuem a maior quantidade de amido são a mandioca e o arroz. Portanto, a síntese dos biopolímeros foi realizada a partir do amido dessas fontes.

A Tabela 3 apresenta os materiais e reagentes que foram utilizados neste trabalho.

Tabela 3 – Materiais e reagentes

Materiais		Reagentes
Liquidificador	Papel de filtro	Ácido Acético Glacial (Neon)
Bastão de vidro	Termômetro	Água destilada
Béquer de 500 mL	Centrífuga de bancada (Nova Instruments)	Glicerina Bidestilada (Rioquímica)
Proveta de 100 mL	Agitador magnético com aquecimento (WEA lab)	Mandioca
Espátula	Balança semi-analítica - modelo M723 (BEL Engineering®)	Arroz
Funil	-	-

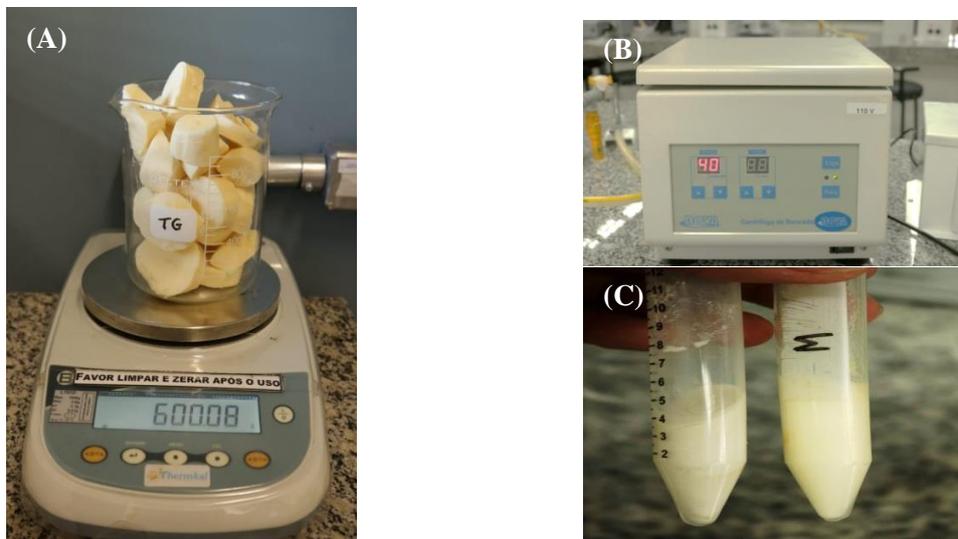
Fonte: autoria própria

### 3.1 PARTE EXPERIMENTAL

A parte experimental deste trabalho é apresentada a seguir. As sínteses foram realizadas no laboratório da Faculdade de Tecnologia de Campinas.

Pesou-se 600 g de mandioca sem casca, como apresentado na Figura 7 (A) e triturou-se no liquidificador com 500 mL de água. Posteriormente, filtrou-se o líquido com papel de filtro. O sistema foi mantido em repouso por 20 minutos. Após o repouso, como não foi possível separar efetivamente o amido decantado do sobrenadante, transferiu-se o líquido para um tubo Falcon de 15 mL e centrifugou-se por 5 minutos, como ilustrado nas Figuras 7 (B) e (C). Em seguida, descartou-se o sobrenadante e separou-se o amido que se depositou no fundo do tubo. Repetiu-se esse procedimento, conforme as Figuras 7 (B) e (C):

Figura 7– (A) Pesagem inicial da mandioca; (B) Centrífuga utilizada durante o procedimento e (C) amido após centrifugação



Fonte: autoria própria

Para dar continuidade ao experimento, fez-se, primeiramente, a síntese do biopolímero de amido de mandioca, de acordo com o procedimento a seguir: pesou-se 38,70 g do amido extraído da mandioca em um béquer e adicionou-se 100 mL de água destilada, 5 mL de glicerina e 30 mL de ácido acético. O sistema foi mantido sob agitação por 10 minutos, sob aquecimento controlado entre 60 °C – 65 °C, até que a solução se tornasse gelatinosa. Após a etapa de agitação-aquecimento, transferiu-se todo o conteúdo do béquer para um recipiente de vidro para que ficasse em repouso por uma semana, até a secagem e formação do biopolímero de mandioca. A Figura 8 apresenta o biopolímero obtido após o período de repouso.

Figura 8 – Biopolímero de mandioca após o repouso de uma semana



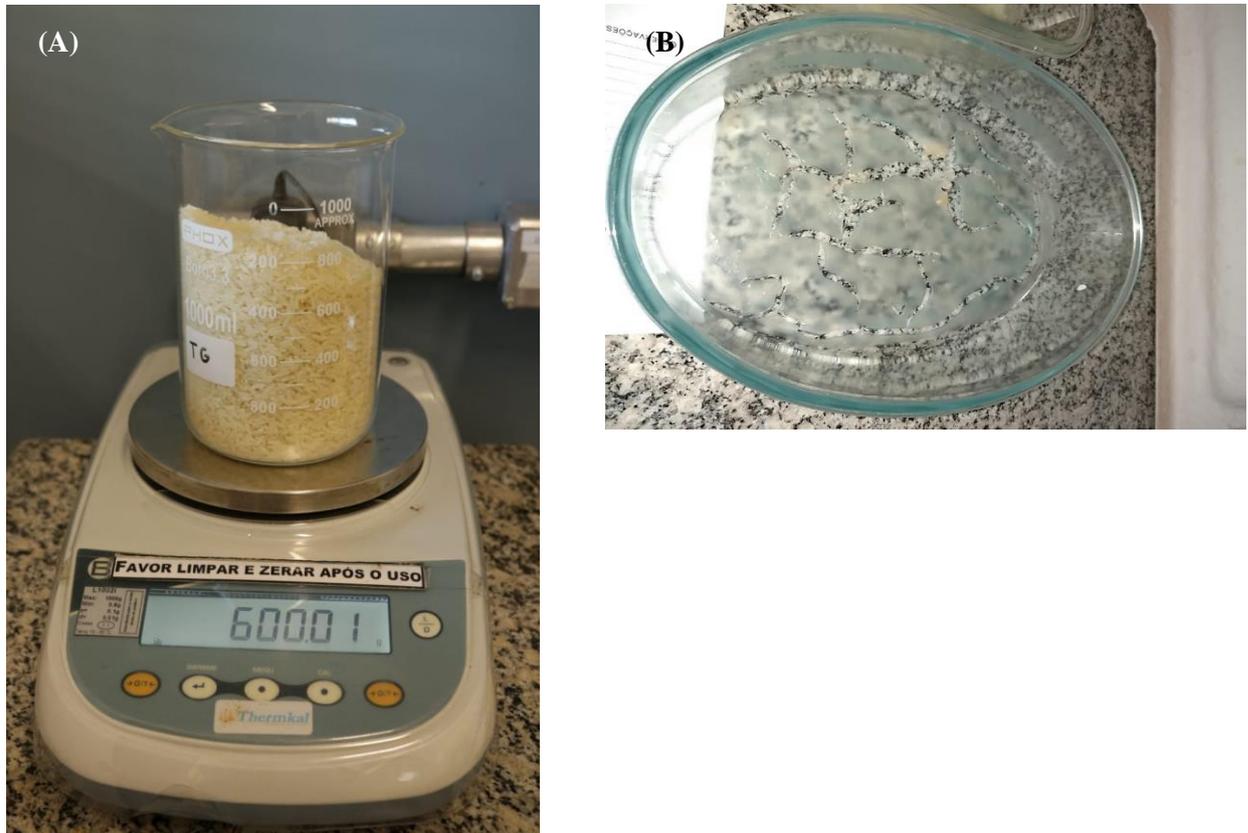
Fonte: autoria própria

Por conseguinte, fez-se a extração do amido do arroz. Pesou-se 600 g de arroz, como apresentado na Figura 9 (A) e triturou-se no liquidificador com 500 mL de água. Posteriormente, filtrou-se o líquido com papel de filtro. O sistema foi mantido em repouso por 20 minutos. Após o repouso, como não foi possível separar efetivamente o amido decantado do sobrenadante, transferiu-se o líquido para um tubo Falcon de 15 mL e centrifugou-se por 5 minutos. Em seguida, descartou-se o sobrenadante e separou-se o amido que se depositou no fundo do tubo. Repetiu-se esse procedimento até que fosse obtida quantidade suficiente para dar continuidade à análise. Em seguida, realizou-se o experimento para a obtenção do biopolímero de arroz.

Para a síntese, pesou-se 15,23 g do amido do arroz um béquer. Ao amido adicionou-se 50 mL de água destilada, 2,5 mL de glicerina e 15 mL de ácido acético. O sistema permaneceu em agitação por 10 minutos, sob aquecimento controlado entre 60 °C – 65 °C, até que a solução se tornasse gelatinosa. Após a etapa de agitação-aquecimento, transferiu-se todo o conteúdo do

béquer para um recipiente de vidro para que ficasse em repouso por uma semana, até a secagem e formação do biopolímero de arroz. A Figura 9 apresenta a pesagem inicial do biopolímero de arroz e o resultado após o período de repouso.

Figura 9 – Pesagem inicial do arroz (A) e o biopolímero após uma semana de repouso (B)



Fonte: autoria própria

### 3.2 PREPARO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE TÉRMICA

Para dar início às análises térmicas, separou-se uma pequena quantidade de cada um dos biopolímeros para a secagem em estufa e posterior maceração para a análise termogravimétrica. Entretanto, posteriormente à secagem, as duas amostras estavam muito consistentes e não foi possível fazer a maceração – Figura 10 (B). Porém, os dois materiais apresentaram características distintas entre si. O biopolímero de arroz, mesmo seco, se apresentou maleável comparado com o biopolímero de mandioca. Já o segundo, apresentou uma alta rigidez, sendo praticamente impossível dobrá-lo ou realizar algum outro movimento semelhante.

Figura 10 – Amostra dos biopolímeros de arroz e mandioca (A) e maceração do biopolímero de mandioca (B)



Fonte: autoria própria

Como não foi possível macerar as amostras, transferiu-se as amostras secas em estufa para um eppendorf e coletou-se mais uma amostra de cada biopolímero somente com o descanso de uma semana e transferiu-se também para outros mesmos recipientes. Dessa forma, as amostras foram levadas à Unicamp para a realização das análises térmicas.

As amostras separadas para os estudos térmicos foram identificadas como amostra de arroz seco e *in natura* e mandioca seca e *in natura*. Totalizando assim quatro amostras. Vale salientar que se denominou “*in natura*” para as amostras que não passaram pela etapa de secagem na estufa.

As medidas foram realizadas no Laboratório de Análise Térmica, locado no Instituto de Química da Unicamp, utilizando o equipamento Seiko extar 600, iniciando-se a temperatura ambiente (24 °C) até 900 °C, a uma razão de aquecimento 10 °C/min, sob atmosfera inerte de argônio. Foi utilizado cadinho de alumina e as massas das amostras foram de aproximadamente 10,0 mg. Além disso, nas mesmas condições, fez-se, para cada amostra citada anteriormente, a análise térmica sob atmosfera oxidante, utilizando-se ar sintético.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que concerne à formação dos biopolímeros, destaca-se que a amilopectina, apresentada na Figura 5 deste trabalho, possui muitas ramificações, o que impossibilita uma interação efetiva de suas moléculas para a formação do material. Desta forma, acrescentou-se o ácido acético, que reagiu com as moléculas do amido rompendo as ramificações e

transformando a amilopectina parcialmente em amilose para facilitar a formação dos biopolímeros.

Além disso, segundo Brito (2011), o processo de gelatinização não ocorre sem a presença de um plastificante, devido a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e a temperatura de fusão ( $T_m$ ) do amido puro e seco serem maiores que sua temperatura de decomposição. Assim, a água tem sido o plastificante mais comum usado no processamento do amido, entretanto seu uso isolado apresenta sérias desvantagens, já que a água pode escapar rapidamente do produto, resultando na fragilização do produto. Desta maneira, pode-se adicionar outros plastificantes como glicóis e açúcares ao produto para baixar sua  $T_g$  e aumentar sua ductilidade, isto é, a propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura. Desta forma, utilizou-se a glicerina no procedimento, pois esta age como um plastificante e lubrificante, permitindo a maleabilidade e elasticidade do biopolímero, já que fica localizada entre as moléculas do amido fazendo com que as interações entre elas diminuam.

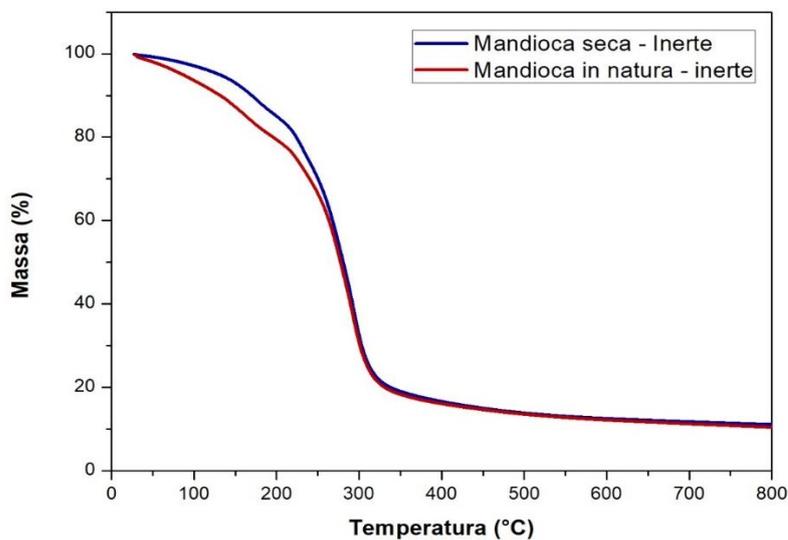
Em relação à formação da mistura gelatinosa, observa-se a ocorrência do fenômeno da gelatinização que é explicado pela literatura:

“Uma das importantes características do amido é o fenômeno da gelatinização. Quando o amido é colocado em água à temperatura ambiente ou inferior, pouca modificação ocorre já que ele absorve apenas cerca de 30% de seu peso em água. Ao aquecer a suspensão de amido nada ocorre até que seja alcançada uma temperatura crítica usualmente em torno de 60 °C, na qual o nível de energia é suficientemente alto para dissociar as ligações mais fracas nas áreas intermicelares amorfas e mais suscetíveis da estrutura. Neste ponto, algumas dessas estruturas entumecem progressivamente e perdem parte de sua opacidade e da cruz de polarização” (MACEDO et al., 2007).

Por esse motivo, manteve-se a temperatura de síntese a faixa de 60 °C – 65 °C para que ocorresse o fenômeno citado. Permitindo o aumento de temperatura, observou-se que a 65 °C houve a formação de um gel de amido viscoso. De acordo com Brito (2011), isso ocorre porque, conforme aumenta-se a temperatura acima da faixa de gelatinização, ocorre uma ruptura progressivamente maior das ligações de hidrogênio e uma maior penetração de água, a qual se liga aos grupos hidroxílicos liberados, continuando assim o intumescimento dos grânulos. Portanto, durante esse estágio de inchamento, algumas das cadeias lineares maiores podem ser dissolvidas e liberadas no meio aquoso. Este processo continua até que os grânulos intumescidos tenham absorvido água livre, formando um gel de amido de transparência e viscosidade variáveis.

As curvas termogravimétricas obtidas para os polímeros de mandioca seca e *in natura* sob atmosfera inerte estão representadas na Figura 11. Observou-se que houve dois estágios de perda de massa principais: o primeiro relaciona-se à perda de água e o segundo é relativo à degradação dos polímeros. Observou-se que ambos perderam certa porcentagem de água, todavia, em uma faixa de temperatura de 218 a 220 °C, a mandioca *in natura* já havia perdido 23,94% de água, enquanto a mandioca seca havia perdido 19,34%. O segundo evento térmico teve início em aproximadamente 222 °C e foi finalizado em 388 °C, constatando-se que neste segundo período houve perda de massa de aproximadamente 59,8% para ambos testes.

Figura 11 – Curvas TG para amostras de mandioca sob atmosfera inerte

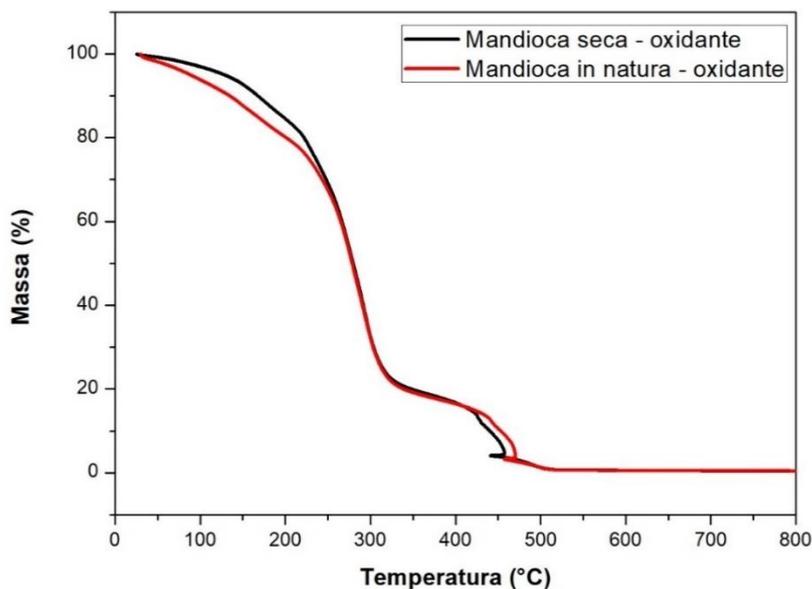


Fonte: autoria própria

Já na Figura 12, é possível observar as curvas TG obtidas para os mesmos polímeros sob atmosfera oxidante. Vê-se que o perfil é divergente em relação à atmosfera inerte. É possível observar que ambos, independente da atmosfera do forno, perdem praticamente a mesma porcentagem de água a uma temperatura limite de 230 °C (mandioca *in natura*: 21,18% e mandioca seca: 12,16%). No segundo evento térmico, que ocorreu entre a faixa de 230 à 375°C, perdeu-se cerca de 56,85% de massa, como ocorrido na atmosfera anterior. Já em 551 °C, houve perda de 100% de massa. Entretanto, entre 436 a 505 °C, percebeu-se que a temperatura da amostra diminuiu juntamente com a perda de massa. Logo, de acordo com o item 2.6.2, pode ter ocorrido um evento exotérmico, visto que o calor liberado durante a reação de decomposição faz com que a temperatura da amostra aumente mais rapidamente do que a taxa de aquecimento do forno. Por outro lado, também pode ter ocorrido a condensação de produtos liberados da amostra, gerando imperfeições nas curvas TG, devido ao forno estar sob

atmosfera de ar sintético. Por conseguinte, notou-se também que houve a perda total da massa, diferente do ocorrido na Figura 11. Essa diferença de perda de massa na decomposição da amostra pode ocorrer por conta da despolimerização, pois quando não ocorre esse processo, há uma quebra aleatória da cadeia, gerando uma baixa produção de monômeros e uma rápida diminuição da massa molar, com a conseqüente formação de material carbonáceo, já que na presença de oxigênio o processo de oxidação é acelerado. Contudo, afirma-se que o material analisado não sofreu despolimerização, pois foi extremamente influenciado pela atmosfera do forno.

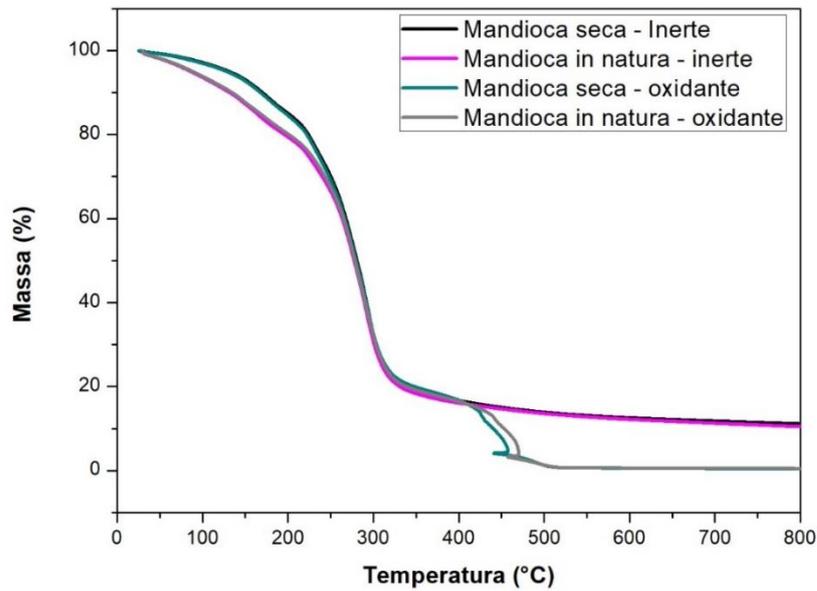
Figura 12 – Curvas TG para amostras de mandioca sob atmosfera oxidante



Fonte: autoria própria

Em prol de uma melhor visualização, gerou-se um gráfico comparativo entre as duas amostras – seca e *in natura* – sob atmosferas oxidante e inerte, apresentado na Figura 13:

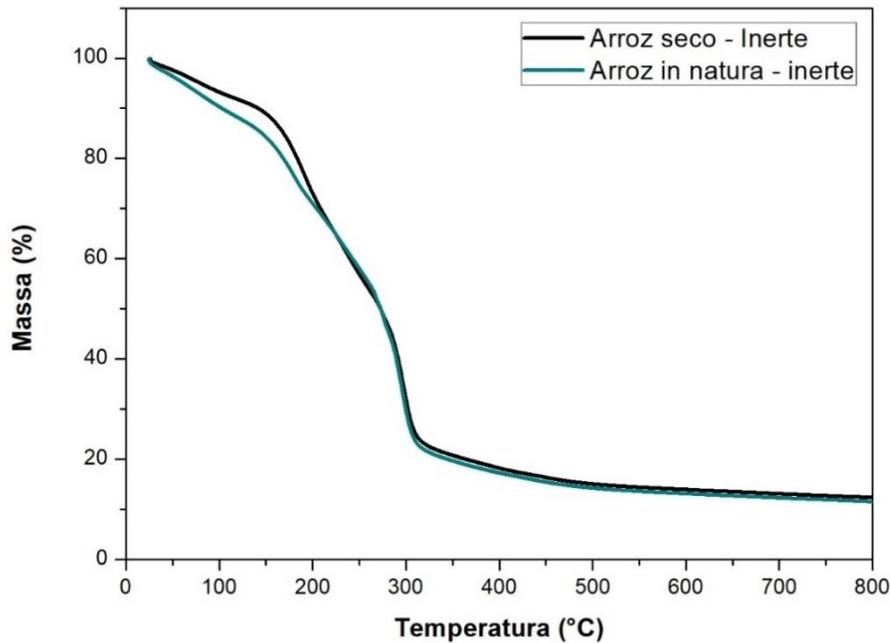
Figura 13 – Curvas TG para amostras de mandioca sob atmosfera oxidante e inerte



Fonte: autoria própria

Em seguida, realizou-se as mesmas análises para o arroz *in natura* e para o arroz seco sob atmosfera inerte. As curvas termogravimétricas obtidas para ambos estão representadas na Figura 14. Observou-se que houve, também, dois eventos térmicos de perda de massa principais: o primeiro relacionado à perda de água, e o segundo, à degradação dos biopolímeros. Observou-se que o polímero de arroz seco perdeu apenas 9,68% de água enquanto a *in natura* perdeu 13,54%. No que concerne o segundo evento, foi possível constatar que, em uma faixa de 168 a 396,5 °C, o primeiro perdeu 72,56% de massa e, o segundo, 68,7% de sua massa inicial.

Figura 14 – Curvas TG para amostras de arroz sob atmosfera inerte

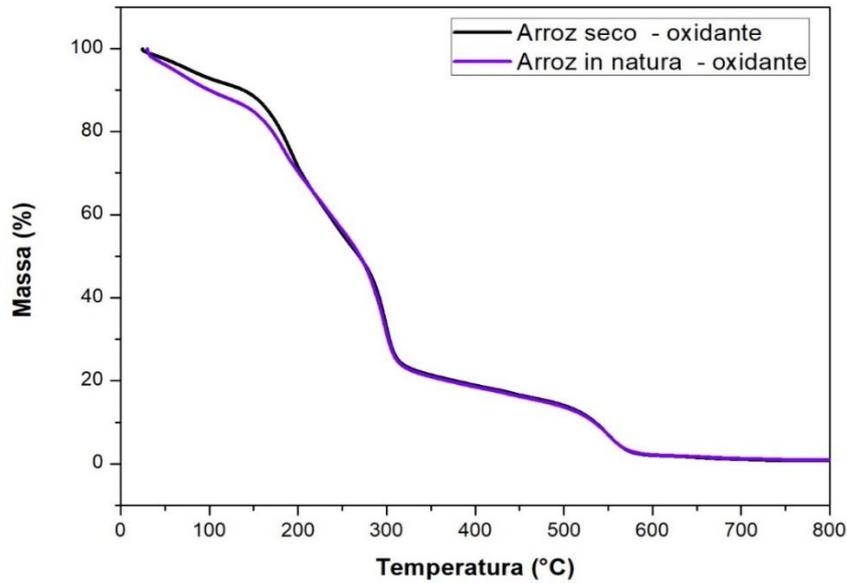


Fonte: autoria própria

Da mesma maneira, gerou-se os gráficos para os resultados obtidos durante o experimento sob atmosfera oxidante, como pode ser observado na Figura 15. Diferente do experimento com a mandioca, observou-se que não houve uma provável condensação de materiais ou reações exotérmicas ou endotérmicas. Porém, vê-se que ocorreram também, sob atmosfera de ar sintético, três eventos térmicos respectivamente: perda de água, decomposição do material de interesse e perda de 100% da massa, devido ao processo acelerado de oxidação.

Em relação à porcentagem de água perdida sob atmosfera oxidante, vê-se que a uma temperatura média de 140 °C, houve perda de 10,22% de água do arroz seco e, para a amostra *in natura*, houve perda de 16,12%. A decomposição do material polimérico ocorreu em uma faixa de temperatura entre 149 à 368 °C e perdeu-se 69,89% da massa de arroz seco e 63,99% da amostra *in natura*.

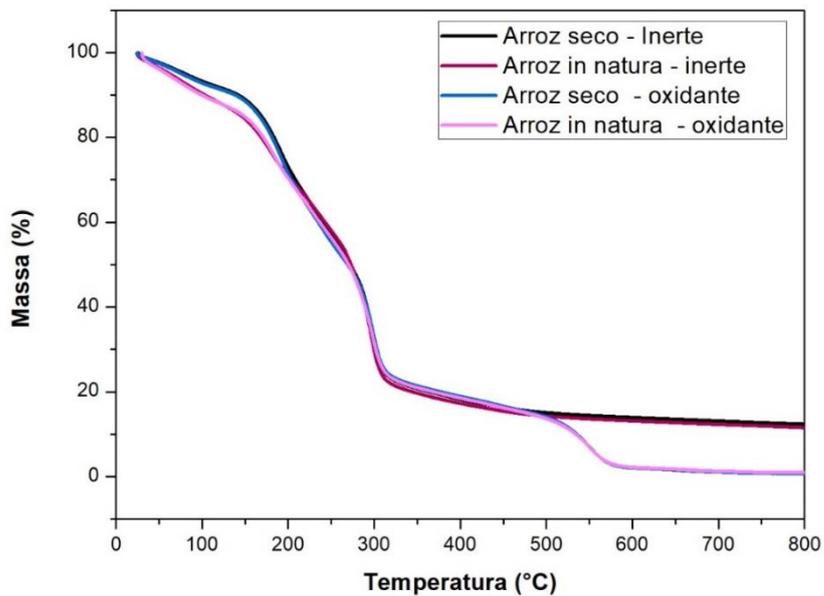
Figura 15 – Curvas TG para amostras de arroz sob atmosfera oxidante



Fonte: autoria própria

A fim de uma melhor visualização, comparou-se também ambos os gráficos do arroz, sob as duas atmosferas analisadas, na Figura 16.

Figura 16 – Curvas TG para amostras de arroz sob atmosfera inerte e oxidante

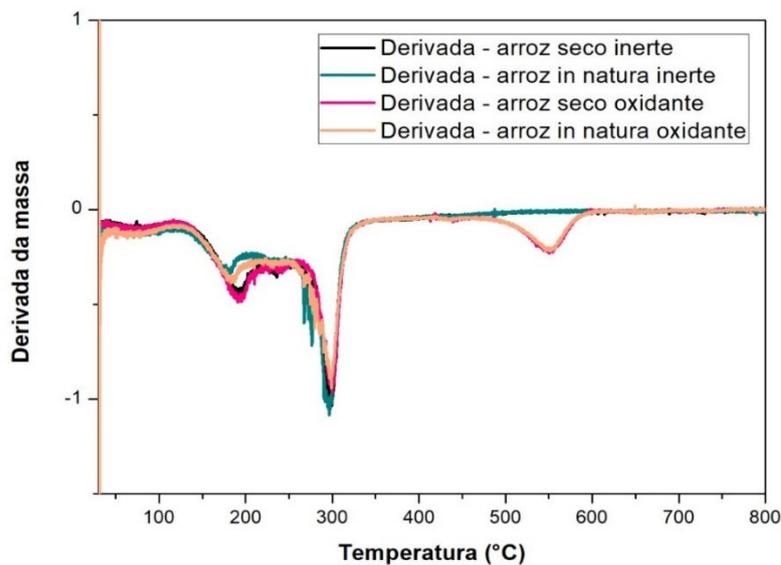


Fonte: autoria própria

Durante o estudo térmico, geralmente são feitas as derivadas primeiras de cada uma das curvas TG em prol de se obter um melhor entendimento dos eventos térmicos que ocorreram,

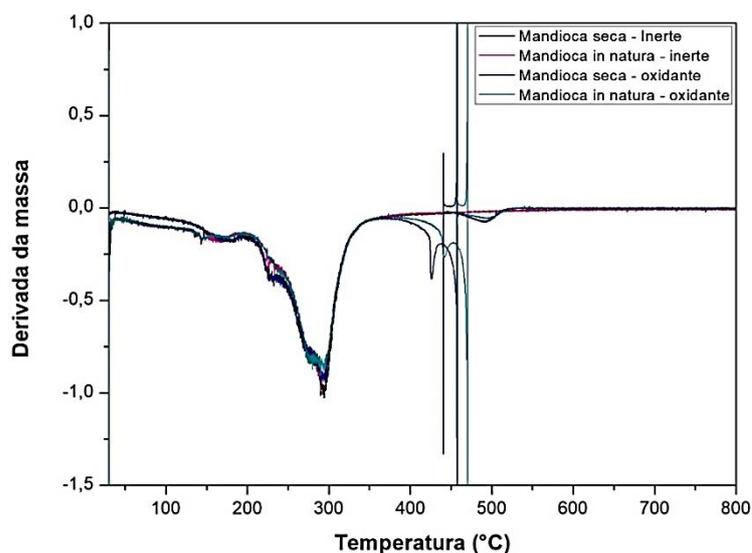
já que estas podem fornecer informações importantes, como por exemplo, quantas etapas de degradação ocorreram durante todo o procedimento ou até mesmo a temperatura exata em que ocorre cada uma delas. Contudo, para uma melhor representação, fez-se a derivada primeira da massa em função da temperatura de cada uma das curvas TG e reuniu-se todos os resultados em um só gráfico. Observe as Figuras 17 e 18:

Figura 17 – Curvas TG: derivada das massas das amostras de arroz sob atmosfera inerte e oxidante



Fonte: autoria própria

Figura 18 – Curvas TG: derivada das massas das amostras de mandioca sob atmosfera inerte e oxidante



Fonte: autoria própria

Com base nos gráficos anteriores, reitera-se que houve três eventos térmicos tanto para o biopolímero de arroz quanto para o biopolímero sintetizado a partir do amido da mandioca.

Entretanto, observou-se que a quantidade de água perdida na mandioca foi maior do que a quantidade perdida no arroz, embora a curva desse evento esteja mais acentuada no gráfico da Figura 18. Isso pode ter ocorrido devido à resistência dos materiais, pois embora a mandioca tenha perdido mais água, foi necessário que a temperatura fosse superior à do arroz para que toda essa água fosse eliminada. Quanto à resistência, obteve-se nos resultados que o biopolímero de mandioca se apresentou mais rígido e, desta forma, a dificuldade para haver a quebra das ligações e chegar até as ligações de hidrogênio podem ter sido maiores, o que ocasionou a perda de água em uma temperatura mais elevada.

Ainda observando os gráficos da derivada primeira, conclui-se que a temperatura máxima de decomposição de materiais carbonáceos, do segundo estágio, ocorreu a uma temperatura final de aproximadamente 300 °C para os dois biopolímeros (mandioca: 295,4 °C; arroz: 299 °C). Já o terceiro evento térmico, referente à perda total de massa sob atmosfera oxidante, ocorreu em temperaturas diferentes para cada um deles: a decomposição total para o biopolímero de arroz ocorreu a 551,9 °C enquanto o de mandioca ocorreu a 490,7 °C. Portanto, baseado nos valores aqui citados, fez-se duas tabelas contendo todos os resultados a fim de facilitar a visualização e discussão. Veja a tabela 4:

Tabela 4- Resultados obtidos nas análises termogravimétricas sob atmosfera inerte e oxidante

<b>Eventos e temperaturas</b>	<b>Mandioca <i>in natura</i> - Atmosfera inerte</b>	<b>Mandioca seca - Atmosfera inerte</b>	<b>Arroz <i>in natura</i> - Atmosfera inerte</b>	<b>Arroz seco - Atmosfera inerte</b>
1° Evento térmico - % perda de água	23,94	19,34	13,54	9,68
Temperatura (°C)	218 a 220 °C	218 a 220 °C	133°C	135°C
2° Evento térmico - % perda de massa	59,8	59,8	68,7	72,56
Temperatura (°C)	222 a 388 °C	222 a 388 °C	168 a 396,5 °C	168 a 396,5 °C
3° Evento térmico - % perda de massa total	-	-	-	-
Temperatura (°C)	-	-	-	-
<b>Eventos e temperaturas</b>	<b>Mandioca <i>in natura</i> - Atmosfera oxidante</b>	<b>Mandioca seca - Atmosfera oxidante</b>	<b>Arroz <i>in natura</i> - Atmosfera oxidante</b>	<b>Arroz seco - Atmosfera oxidante</b>
1° Evento térmico - % perda de água	21,18	16,12	16,12	10,22
Temperatura (°C)	Até 230 °C	Até 230 °C	140 °C	140 °C
2° Evento térmico - % perda de massa	56,85	56,85	63,99	69,89
Temperatura (°C)	230 a 375 °C	230 a 375 °C	149 a 368 °C	149 a 368 °C
3° Evento térmico - % perda de massa total	100	100	100	100
Temperatura (°C)	551,9 °C	551,9 °C	490,7 °C	490,7 °C

Fonte: autoria própria

Portanto, com base nos dados obtidos, vê-se que o biopolímero de mandioca é termicamente mais estável do que o biopolímero de arroz, tanto sob atmosfera inerte quanto oxidante, sendo possível perceber esta diferença devido aos valores de temperatura em que ocorrem os eventos térmicos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vista do conteúdo apresentado neste trabalho, vê-se a importância do estudo de materiais biodegradáveis que possam vir a substituir o tão difundido plástico, mantendo as características do material primário e, simultaneamente, preservando o meio ambiente devido às suas características em relação à biodegradação. Desta forma, por meio dos estudos realizados neste trabalho, concluiu-se que é possível obter biopolímeros a partir do amido da mandioca e do arroz e, ainda, realizar a caracterização térmica de cada um dos materiais obtidos.

No que se refere às divergentes temperaturas e perdas de massa de ambos biopolímeros, constata-se que, sob atmosfera inerte, a decomposição do material proveniente do amido da mandioca ocorreu em uma faixa de temperatura entre 222 – 388 °C e houve perda de massa de 59,80% tanto para o material seco quanto para a *in natura*. Já para o biopolímero de arroz *in natura* e seco, constatou-se que sua decomposição ocorreu entre uma faixa de 168 – 396,5 °C e houve perda de massa de 68,70% e 72,56%, respectivamente.

Em relação às diferentes temperaturas e perdas de massa de ambos materiais sob atmosfera oxidante, concluiu-se que o biopolímero de mandioca teve seu segundo estágio de decomposição a uma faixa de temperatura de 230 a 375 °C, com perda de massa de 56,85% para as duas amostras – *in natura* e seca. Por outro lado, o segundo estágio de decomposição do biopolímero de arroz ocorreu entre 149 e 368 °C e a amostra *in natura* perdeu 63,99% de massa, enquanto a amostra seca perdeu 69,89%. Ademais, para as amostras analisadas sob atmosfera oxidante, constatou-se que há perda de 100% da massa ao final da análise. Este foi denominado como terceiro evento térmico. Para tanto, concluiu-se que a mandioca perdeu toda sua massa em uma temperatura de 551,9 °C e o arroz em 490,7 °C.

Portanto, constatou-se que o biopolímero proveniente do amido de mandioca, em relação ao de arroz, é termicamente mais estável. Acredita-se que isso se deve ao fato do primeiro material possuir uma rigidez acentuada após seu preparo e ao fato de que em sua estrutura química, segundo a literatura, o teor de amido é superior ao do arroz, sendo que o primeiro contém 87,6% e o último 70,4%, ocasionando diversas diferenças de temperatura e perda de massa durante os eventos térmicos analisados.

No que diz respeito aos produtos que podem ser produzidos com biopolímeros, de acordo com o Gráfico 1 deste trabalho e toda a conclusão, acredita-se que os materiais aqui estudados podem ser utilizados na agricultura, como bens de consumo e até mesmo como embalagens alimentícias se, posteriormente, passarem por um processo de tratamento a fim de diminuir a umidade destes.

Sobretudo, concluiu-se que o presente Trabalho de Graduação atingiu os objetivos estabelecidos e foi de extrema importância para o aprendizado, agregando um extenso conhecimento sobre a técnica termogravimétrica e contribuindo positivamente para novos estudos mais aprofundados e, conseqüentemente, para a melhoria e estabelecimento de um planeta mais sustentável e benéfico para toda a população.

Mediante o exposto, sugere-se como perspectiva a continuidade do estudo térmico com análises por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), permitindo a visualização das reações entálpicas que ocorrem durante o aquecimento das amostras. Além disso, por meio do DSC, pode-se determinar as temperaturas de fusão e cristalização, bem como a temperatura de transição vítrea do biopolímero. Salienta-se ainda que é relevante estudar a biodegradação das amostras. Esse estudo pode ser realizado utilizando um catalisador, que contribuirá para o processo acelerando a decomposição do material a ser analisado. Pode-se ainda expor a amostra em um ambiente controlado e compará-la com polímeros comuns, como garrafas PET, por exemplo. Desta forma, podem ser estudados e desenvolvidos materiais inovadores e sustentáveis, corroborando de forma positiva com o ambiente em que a sociedade está inserida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Maria Margarida de et al. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. 1999.

ARAÚJO, Iverton Aleff dos Santos; RAMOS, Jonas de Assis Almeida; LEMOS, Morgana Catharina Martins. **Deposição de resíduos sólidos na zona costeira: O impacto ambiental causado pelo lixo no ambiente marinho**. João Pessoa - PB, 21 mar. 2010. Disponível em: <https://eventos.ifpb.edu.br/index.php/IESCC/IESCC/paper/view/1919>. Acesso em: 29 mar. 2019.

AZEVEDO, Alexandre Reis; ALMEIDA, Victor Miranda; SANTOS, Suzana Arleno Souza. **Síntese de bioplásticos feitos com polímeros naturais: uma alternativa para a gestão ambiental**. *Conhecimento & Diversidade*, v. 9, n. 19, p. 59-70, 2018.

Bastioli, C. **Handbook of Biodegradable Polymers**. Shawbury: Rapra Technology Limited, 2005.

De Paoli, M. A. *Degradação e Estabilização de Polímeros*. São Paulo: Editora Artliber, 2008.

Belgacem, M. N. Gandini, A. **The State of the Art**. In: Belgacem, M. N.; Gandini, A. *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*. Oxford: Elsevier, 2008.

BITAR, O.Y & ORTEGA, R.D. **Gestão Ambiental**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

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

BRUICE, Paula Yurkanis. **Química Orgânica**. 4ª edição. Hall, São Paulo, 2006.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. et al. **Técnicas de caracterização de polímeros**. Artliber, São Paulo, v. 430, 2004.

CANGEMI, J. M., SANTOS, A. M., NETO, S. C. Biodegradação: **Uma Alternativa Para Minimizar os Impactos Decorrentes dos Resíduos Plásticos**. Revista Química Nova na Escola, n.22, p.17-21, 2005.

CHIOU, B. S.; GLENN, G. M.; IMAM, S. H.; Inglesby, M. K.; Wood, D. F.; Orts W. J. **Starch Polymers: Chemistry, Engineering, and Novel Products**. In: Mohanty, A. K.; Misra, M.; DA SILVA, Brunno Henrique et al. **TEOR DE GLICOSE E AMIDO EM TUBÉRCULOS DE BATATA INGLESA (*Solanum tuberosum* L.)**. In: XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX 2013 – UFRPE: RECIFE, 09 A 13 DE DEZEMBRO., 2013, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). - [...]. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: <http://www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R1073-3.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

Drzal, L. T. **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005.

EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO - EBC. **Como surgiu o plástico?** [S. l.], 11 jul. 2014. Disponível em: <http://www.ebc.com.br/infantil/voce-sabia/2014/07/como-surgiu-o-plastico>. Acesso em: 29 mar. 2019.

FOGAÇA, Jennifer. **Produção de plástico biodegradável de amido de batata**. Brasil Escola, 2019. Disponível em: Brasil Escola - <https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/producao-plastico-biodegradavel-amido-batata.htm>. Acesso em: 27 abr. 2019.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. **Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos**. Química Nova, Rio Claro - SP, 24 mar. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v29n4/30263.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2019.

HALLEY, P. F. **Thermoplastic starch biodegradable polymers**. In: Smith, R. **Biodegradable Polymers for Industrial Application**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005.

HENRIQUE, Celina Maria; PASCOLI CEREDA, Marney; BRUDER SILVEIRA SARMENTO, Silene. **Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n. 1, 2008

LIGÓRIO, Caroline. **ONU Meio Ambiente alerta para a poluição por plásticos no Planeta.** [S. l.], 2018. Disponível em: <http://envolverde.cartacapital.com.br/onu-meio-ambiente-alerta-para-a-poluicao-por-plasticos-no-planeta/>. Acesso em: 29 mar. 2019.

MACEDO, Crithian Gomes *et al.* Amido. *In: SENAI-SP. Industrialização de Pães, Massas e Biscoitos.* São Paulo: Senai-SP, 2007.

MACEDO, Crithian Gomes *et al.* Cereais. *In: SENAI-SP. Industrialização de Pães, Massas e Biscoitos.* São Paulo: Senai-SP, 2007.

MALI, Suzana; GROSSMANN, Maria Victória Eiras; YAMASHITA, Fábio. **Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização.** Seminário: Ciências Agrárias, 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744095013>> Acesso em: 29 de março de 2019

PAOLI, M. A. D. **Degradação e Estabilização de Polímeros.** Segunda edição online, 2008.

PIATTI, Tania Maria; RODRIGUES, Reinaldo Augusto Ferreira. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais.** Alagoas: Editora da Universidade Federal de Alagoas, 2005.

PRADELLA, J. G. C. **Biopolímeros e Intermediários Químicos.** Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Relatório Técnico nº 84 396-205. São Paulo: março de 2006.

RÓZ, Alessandra Luzia Da. O Futuro dos Plásticos: Biodegradáveis e Fotodegradáveis. **Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol 13, nº 4, 2003,** São Carlos, outubro/dezembro 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v13n4/19874.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.

SANTOS, Bruna dos; COELHO, Tânia Maria; FILHO, Nabi Assad. **Produção de Plástico Biodegradável a base de amido modificado.** In: IX EPCT – ENCONTRO DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 2014, Campo Mourão. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: [http://www.fecilcam.br/nupem/anais\\_ix\\_epct/PDF/TRABALHOS-COMPLETO/Anais-ENG/05.pdf](http://www.fecilcam.br/nupem/anais_ix_epct/PDF/TRABALHOS-COMPLETO/Anais-ENG/05.pdf). Acesso em: 29 mar. 2019.

SOUZA, Líria Alves de. **Polímeros.** [S. l.], (s.d). Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/polimeros.htm>. Acesso em: 6 abr. 2019.

TAMAR, Projeto. *Lixo X Animais marinhos.* Disponível em: <http://tamar.org.br/interna.php>?Acesso em 20 de maio de 2016

ZAGO, Mayara; DURANTE, Stéphanie. **Entenda o impacto do plástico nos oceanos e no meio ambiente.** São Paulo, 24 jul. 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2018/07/24/entenda-o-impacto-do-plastico-nos-oceanos-e-no-meio-ambiente/>. Acesso em: 29 mar. 2019.