

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

ANA LUÍZA SANTOS VIEIRA

CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO ISOLADO DE CULTIVARES DE SORGO (*Sorghum
bicolor* L. Moench) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E TEMPO DE
ARMAZENAMENTO DO GRÃO

Belo Horizonte
2020

ANA LUÍZA SANTOS VIEIRA

CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO ISOLADO DE CULTIVARES DE SORGO (*Sorghum
bicolor* L. Moench) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E TEMPO DE
ARMAZENAMENTO DO GRÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestra em Ciência de Alimentos.

Área de concentração: Qualidade de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Argenta Fante
Coorientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia

V658c Vieira, Ana Luíza Santos.
Caracterização do amido isolado de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) em função da temperatura e tempo de armazenamento do grão / Ana Luíza Santos Vieira. – 2020.
92 f. : il.

Orientadora: Camila Argenta Fante.
Coorientadora: Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.

1. Polímero – Teses. 2. Amido – Teses. 3. Sorgo – Teses. 4. Alimentos – Análise – Teses. 5. Alimentos – Armazenamento – Teses. 6. Alimentos – Qualidade – Teses. I. Fante, Camila Argenta. II. Garcia, Maria Aparecida Vieira Teixeira. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Farmácia. IV. Título.

CDD:664.07

Elaborado por Darlene Teresinha Schuler – CRB-6/1759



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

PPGCA

FOLHA DE APROVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO ISOLADO DE CULTIVARES DE SORGO
(*Sorghum bicolor* L. Moench) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E TEMPO DE
ARMAZENAMENTO DO GRÃO

ANA LUÍZA SANTOS VIEIRA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, área de concentração CIÊNCIA DE ALIMENTOS.

Aprovada em 10 de fevereiro de 2020, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Dra. Camilla Argenta Faete (Orientadora e Presidente da Comissão)
Faculdade de Farmácia - UFMG

Prof. Dra. Raquel Linares Belo de Araújo
Faculdade de Farmácia - UFMG

Prof. Dr. Rodrigo Lázaro de Lencastre
Instituto de Ciências Exatas - UFMG

Belo Horizonte, 10 de fevereiro de 2020.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu amado pai, Matusalém do Carmo Vieira, pois sem ele, eu não teria chegado até aqui!

AGRADECIMENTOS

Dizem que nada é por acaso! Eu acredito que Deus coloca em nosso caminho, pessoas que farão diferença em nossa jornada.

Nesse caminho do mestrado, não seria diferente!

Primeiramente agradeço a minha orientadora Camila Argenta Fante, por ter aceitado me orientar, logo no comecinho, mesmo que ainda eu não soubesse o que iria desenvolver em meu projeto.

Através dela, conheci a minha querida coorientadora, Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia, que também me acolheu e juntas desenvolvemos um belo trabalho, com muita confiança e afinidade.

À Embrapa Milho e Sorgo, em especial à Valéria Aparecida Vieira Queiroz, pelo fornecimento dos grãos de sorgo.

Às professoras Scheilla Vitorino Carvalho de Souza Ferreira e Raquel Linhares Bello de Araújo, por permitirem a realização das análises em seus laboratórios.

Ao professor Rodrigo Lassarote Lavall, pela parceria no desenvolvimento das análises no Departamento de Química.

À professora Thaís Rotsen Correa, pelo auxílio na realização das análises estatísticas.

Aos meus companheiros de laboratório, Vivi, Camila, Maria Clara, Vinícius, Victor e Amanda, pela paciência em me ensinar e me acompanhar durante os procedimentos no laboratório. Sem eles, eu não teria conseguido.

À minha aluna de Iniciação Científica, Gabriela, pela dedicação, comprometimento e disponibilidade.

À Maju, pela disponibilidade sempre, durante o desenvolvimento das análises no laboratório de Química de Alimentos.

À Edna, pela boa vontade em ajudar em tudo que precisei.

Ao Departamento de Alimentos e à Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade de realização do trabalho.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

À minha amiga Geisa, pela convivência e amizade desenvolvidas nesses dois anos de mestrado.
Às nossas conversas sobre as inseguranças que tínhamos logo no início e como crescemos juntas!

Aos meus queridos amigos Amayi, Paulo e Guilherme, por comemorarem comigo cada vitória e por me aconselharem nos momentos difíceis que ocorreram durante essa jornada.

Ao meu companheiro Flávio, pelo apoio emocional, por me escutar, me aconselhar, enfim, por ser o meu porto seguro em todos os momentos da minha vida.

E finalmente, e não menos importante, à minha família, sem ela eu não teria chegado até aqui!
À minha mãe, que não está mais entre nós, mas devo muito do que sou a ela e em especial ao meu pai, por me ensinar desde sempre a importância do conhecimento e os valores que carrego dentro de mim! Agradeço por ser o meu exemplo de força, resignação e fé, o qual tento seguir nos momentos turbulentos da vida.

Obrigada a todos que fizeram parte dessa jornada!

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos”

(Marcel Proust)

RESUMO

O amido é um polímero que pode ser extraído de fontes como raízes, tubérculos e cereais, dentre estes, destaca-se o sorgo. Sua funcionalidade depende da origem genética e das condições de plantio, podendo também ser influenciada pelas condições de tempo e temperatura de armazenamento do grão, bem como pela forma de extração do amido. O objetivo deste estudo foi caracterizar o amido de diferentes cultivares de sorgo (BR 501, BRS 305 e BRS 310), obtido após o armazenamento do grão em diferentes temperaturas (10, 24 e 40 °C) e tempo de armazenamento (0, 3 e 6 meses). Para isso, realizou-se a extração dos amidos, caracterizando-os quanto ao rendimento, composição química, cor, espectroscopia no infravermelho, cristalinidade, propriedades térmicas e poder de inchaço e solubilidade. O rendimento médio do processo de extração do amido de sorgo foi de (17,14 ± 5,12). Os teores de carboidratos totais, cinzas e proteínas, variaram de acordo com o tipo de sorgo, sendo que o BRS 310 apresentou o maior teor de carboidratos totais (91,71%), o BRS 501 apresentou o maior teor de cinzas (1,18%) e de proteínas (1,17%), não apresentando influência das condições de armazenamento. O tempo de armazenamento influenciou nos teores de umidade, lipídeos e carboidratos totais, sendo que a temperatura de armazenamento influenciou apenas no teor de umidade. Com relação ao teor de amilose, o BR 501 apresentou o maior valor (26,88%), sendo que as condições de armazenamento não influenciaram. Os valores variaram de 25,38 a 26,06% para o fator tempo e de 25,34 a 25,53% para o fator temperatura. Em relação à cor, os três amidos apresentaram alta luminosidade, caracterizando coloração branca, desejável para amido. Com relação ao índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção em água (IAA), constatou-se que o poder de inchamento e a solubilidade em água dos amidos aumentaram com a elevação da temperatura. Os espectros na região do infravermelho, bem como as características de cristalinidade e propriedades térmicas, foram iguais em todos os amidos analisados, apresentando características inerentes ao amido, independentemente do tempo e temperatura de armazenamento. Poucos foram os efeitos das condições de armazenamento na composição química, concluindo-se que os grãos de sorgo podem ser armazenados durante os períodos e temperaturas demonstrados neste estudo, sem grandes alterações nas características do amido.

Palavras-chave: Polímero. Características. Condições de armazenamento. Qualidade.

ABSTRACT

Starch is a polymer that can be extracted from sources such as roots, tubers and cereals, among which, sorghum stands out. Its functionality depends on the genetic origin and the planting conditions, and can also be influenced by the conditions of time and temperature of storage of the grain, as well as by the way of extracting the starch. The aim of this study was to characterize the starch of different sorghum cultivars (BR 501, BRS 305 and BRS 310), obtained after storage of the grain at different temperatures (10, 24 and 40 ° C) and storage time (0, 3 and 6 months). For this, the extraction of starches was carried out, characterizing them in terms of yield, chemical composition, color, infrared spectroscopy, crystallinity, thermal properties and swelling and solubility power. The average yield of the sorghum starch extraction process was (17.14 ± 5.12) . The levels of total carbohydrates, ashes and proteins, varied according to the type of sorghum, the BRS 310 had presented the highest content of total carbohydrates (91.71%), BRS 501 having the highest content of ash (1, 18%) and proteins (1.17%), with no influence of storage conditions. The storage time influenced the moisture content, lipids and total carbohydrates, and the storage temperature influenced only the moisture content. Regarding the amylose content, the BR 501 presented the highest value (26.88%), and the storage conditions did not influence. The values ranged from 25.38 to 26.06% for the time factor and from 25.34 to 25.53% for the temperature factor. Regarding color, the three starches showed high luminosity, characterizing a white color, desirable for starch. Regarding the water solubility index (ISA) and water absorption index (IAA), it was found that the swelling power and water solubility of starches increased with the temperature increase. The spectra in the infrared region, as well as the characteristics of crystallinity and thermal properties, were the same in all analyzed starches, presenting characteristics inherent to the starch, regardless of storage time and temperature. There were few effects of storage conditions on the chemical composition, it is concluded that sorghum grains can be stored during the periods and temperatures demonstrated in this study, without major changes in the characteristics of the starch.

Keywords: Polymer. Characteristics. Storage conditions. Quality.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição aproximada de diferentes cultivares de sorgo	19
Tabela 2 – Produtos à base de sorgo produzidos no mundo	20
Tabela 3 – Composição aproximada do amido de diferentes cultivares de sorgo	24
Tabela 4 - Valores médios de Proteína, Cinzas e Carboidratos Totais dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tipo de sorgo	34
Tabela 5 - Valores médios de Lipídeo, Umidade e Carboidratos totais dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tempo de armazenamento em meses	36
Tabela 6 - Valores médios de Umidade dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados à temperatura de armazenamento em °C	37
Tabela 7 - Valores médios de Amilose dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tipo de sorgo	37
Tabela 8 - Parâmetros de cor dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tipo de sorgo	39
Tabela 9 - Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção em Água (IAA) dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tipo de sorgo	45
Tabela 10 – Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção em Água (IAA) dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados à temperatura de aquecimento em °C	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Calendário agrícola de plantio e colheita – Sorgo.	17
Figura 2 – Mapa da produção agrícola – Sorgo.	17
Figura 3 – Estrutura do grão de Sorgo	18
Figura 4 – Representação das cadeias de amilose (a) e amilopectina (b)	22
Figura 5 – Representação das áreas cristalinas e amorfas do amido.....	23
Figura 6 – Fluxograma do processo de obtenção do amido de sorgo	29
Figura 7 – Amidos das cultivares BR 501, BRS 310 e BRS 305.....	38
Figura 8 – Espectro de infravermelho dos amidos das cultivares BRS305, BRS310 e BR501	41
Figura 9 - Difrátogramas de raios-X dos amidos das cultivares BRS305, BRS310 e BR501...	42
Figura 10 – Curva termogravimétrica dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOAC – Association of Official Analytical Chemists

CNPMS - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAFAR – Faculdade de Farmácia

IAA – Índice de Absorção de Água

IAL – Instituto Adolfo Lutz

ISA – Índice de Solubilidade em Água

T(G) - Temperatura de gelatinização

TG – Termogravimetria

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 SORGO	16
3.1.1 Produção	16
3.1.2 Características, composição química do grão e utilização na alimentação humana	18
3.2 AMIDO	21
3.2.1 Amido de sorgo	24
3.2.1.1 Extração do Amido de sorgo	25
3.3 Efeitos das condições do armazenamento de grãos pós colheita	26
3.4 Efeitos do tempo e temperatura de armazenamento do grão de sorgo sobre as propriedades do amido	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Material	28
4.2 Métodos	28
4.2.1 Extração do amido de sorgo	28
4.2.2 Caracterização do Amido do Sorgo	30
4.2.2.1 Rendimento do processo de extração	30
4.2.2.2 Composição química	30
4.2.3 Perfil colorimétrico	30
4.2.4 Espectroscopia no infravermelho	31
4.2.5 Cristalinidade	31
4.2.6 Termogravimetria (TG)	32
4.2.7 Poder de inchaço e solubilidade	32
4.3 Análise estatística	33

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Rendimento do processo de extração	34
5.2 Composição química	34
5.3 Perfil colorimétrico	38
5.4 Espectroscopia no infravermelho	40
5.5 Cristalinidade	42
5.6 Termogravimetria (TG)	44
5.7 Poder de inchaço e solubilidade	45
6. CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	60

1. INTRODUÇÃO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], pertencente à família Poaceae, é o quinto cereal mais plantado no mundo, vindo logo após do trigo, do arroz, do milho e da cevada, sendo o quarto no Brasil. O seu cultivo tem grande importância principalmente nos continentes asiático e africano, onde é utilizado diretamente na alimentação humana. Já nos Estados Unidos, Austrália e Brasil, o mesmo é cultivado essencialmente para a alimentação animal (CONAB, 2019; EMBRAPA, 2015).

Entretanto, nestes países ocidentais tem havido uma crescente utilização na alimentação humana, sendo que esse cereal começou a ser empregado para consumo humano na África, entre 3.000 e 5.000 anos atrás e, posteriormente, difundido para a Índia e a China. Em média, mais de 300 milhões de pessoas, que vivem em países em desenvolvimento, utilizam esse cereal como principal fonte de energia (HANCOCK, 2000; SANCHEZ, 2003).

Por ser cultivado em áreas e situações ambientais muito secas e quentes, o sorgo obtém vantagem em relação ao cultivo de outros cereais, que nessas condições climáticas, possuem produtividade antieconômica (MUTISSYA, 2009). No Brasil, a produção de sorgo aumentou consideravelmente nos últimos anos, devido principalmente ao aumento da área plantada, utilização de novas tecnologias de cultivo e uso de genótipos mais produtivos e adaptados às condições edafoclimáticas de plantio (TERRA *et al.*, 2010).

Existem diversos tipos de cultivares de sorgo (EMBRAPA, 2015), entre elas, a cultivar BRS 305 (pericarpo marrom com tanino, endosperma mais farináceo), cultivar BR 501 (pericarpo branco sem tanino, endosperma mais vítreo), cultivar BRS 310 (pericarpo vermelho sem tanino, endosperma 50% farináceo e 50% vítreo), que serão utilizadas neste estudo.

A composição química dos grãos de sorgo varia de acordo com o genótipo, sendo em todos eles, o amido o principal macronutriente (entre 70 e 80%), que pode ser usado em várias aplicações industriais, principalmente como ingrediente alimentício (BANDEIRA, *et al.*, 2015).

O amido constitui a principal fonte de carboidratos na alimentação humana, podendo fornecer 70 a 80% das calorias totais da dieta. Armazenado sob a forma de grânulos nos órgãos de reserva das plantas superiores, como nos grãos em cereais (milho, arroz, trigo, sorgo), o amido

pode ser extraído desses grãos e utilizado para diversas finalidades (LEONEL; CEREDA, 2002).

A qualidade dos grãos dos cereais, bem como as características estruturais e tecnológicas dos seus amidos podem variar de acordo com as condições de armazenamento. Tempo e temperatura são fatores importantes que podem afetar a qualidade dos grãos durante a armazenagem. Fatores como calor, umidade, oxigênio e atividade enzimática intrínseca do grão podem influenciar nas propriedades físico-químicas e funcionais dos amidos (MALUMBA *et al.*, 2009). Características estruturais e tecnológicas do amido isolado de sorgo podem ser influenciadas pelas condições de armazenamento, como por exemplo, o poder de inchamento dos grânulos de amido (BANDEIRA, *et al.*, 2015).

Os grãos oferecem a possibilidade de serem armazenados por longo período de tempo, sem afetar significativamente a sua qualidade. Porém, devem ser adotadas práticas adequadas pós colheita com o objetivo de evitar alterações em suas características (EMBRAPA, 2007).

Devido à necessidade de atender ao aumento da produção e da crescente preocupação em garantir a qualidade dos grãos e dos seus amidos durante os processos pós-colheita, estudos sobre diferentes formas de armazenamento dos grãos de sorgo tornam-se relevantes.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar a influência do tempo e temperatura de armazenamento dos grãos de sorgo nas características do amido de sorgo extraído dos genótipos BR 501, BRS 305 e BRS 310.

2.2 Objetivos Específicos

- Extrair o amido dos grãos de sorgo submetidos ao armazenamento por 0, 3 e 6 meses, nas temperaturas de 10, 24 e 40 °C;
- Analisar os amidos obtidos e avaliar a influência do tempo e da temperatura de armazenamento dos grãos de sorgo nas propriedades químicas, físicas e térmicas do amido obtido.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SORGO

3.1.1 Produção

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench) pertence à família *Poaceae*, e faz parte do grupo das plantas com metabolismo C4, com altas taxas de fotossíntese, que requer temperaturas superiores a 21°C para o desenvolvimento e crescimento (MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

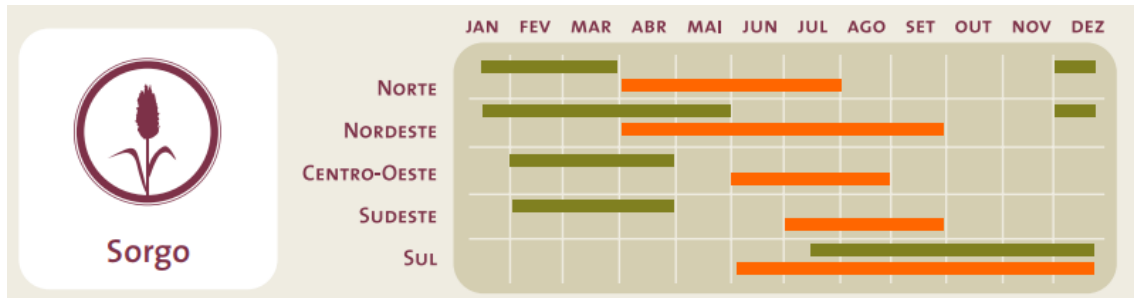
É um grão originário da África, embora algumas evidências indiquem que possa ter havido outra região de dispersão na Índia. Atualmente, ocupa o quinto lugar dentre os cereais em área cultivada no mundo, logo após do trigo, do arroz, do milho e da cevada. Sua produção na América do Sul é principalmente destinada à alimentação animal, ao passo que em países da África, da Ásia, da América Central, bem como na Rússia e na China, destina-se também à alimentação humana (EMBRAPA, 2015; MAGALHÃES; DURÃES, 2003; SINGH *et al.*, 2011).

A planta de sorgo tolera mais o déficit de água do que a maioria dos outros cereais e pode ser cultivada em diferentes condições de solo. Suas características fisiológicas permitem paralisar o seu crescimento, ou diminuir o seu metabolismo, perante o estresse hídrico, e reiniciá-lo quando a água volta a estar disponível (MENEZES; TARDIN; RODRIGUES, 2015).

De acordo com o último levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil encontra-se entre os dez maiores produtores de sorgo do mundo e sua produção aumentou nos últimos anos, devido ao crescimento considerável da área plantada, utilização de novas tecnologias de cultivo e uso de genótipos mais produtivos e adaptados às condições edafoclimáticas de plantio, sendo destinado principalmente à alimentação animal (TERRA *et al.*, 2010; USDA, 2016).

Segundo os dados da Companhia Nacional de Abastecimento, a área cultivada com o sorgo na safra 2018/2019 foi de 737,1 mil hectares com a estimativa de produção de 2.915 mil toneladas. Observa-se que o sorgo vem ganhando espaço devido à maior resistência das lavouras, podendo ter o seu plantio e colheita distribuídos praticamente durante o ano todo (Figura 1) e também ao fato de o produto apresentar menor custo de produção, comparado a outros cereais (CONAB, 2019).

Figura 01- Calendário agrícola de plantio e colheita – Sorgo 2018/2019

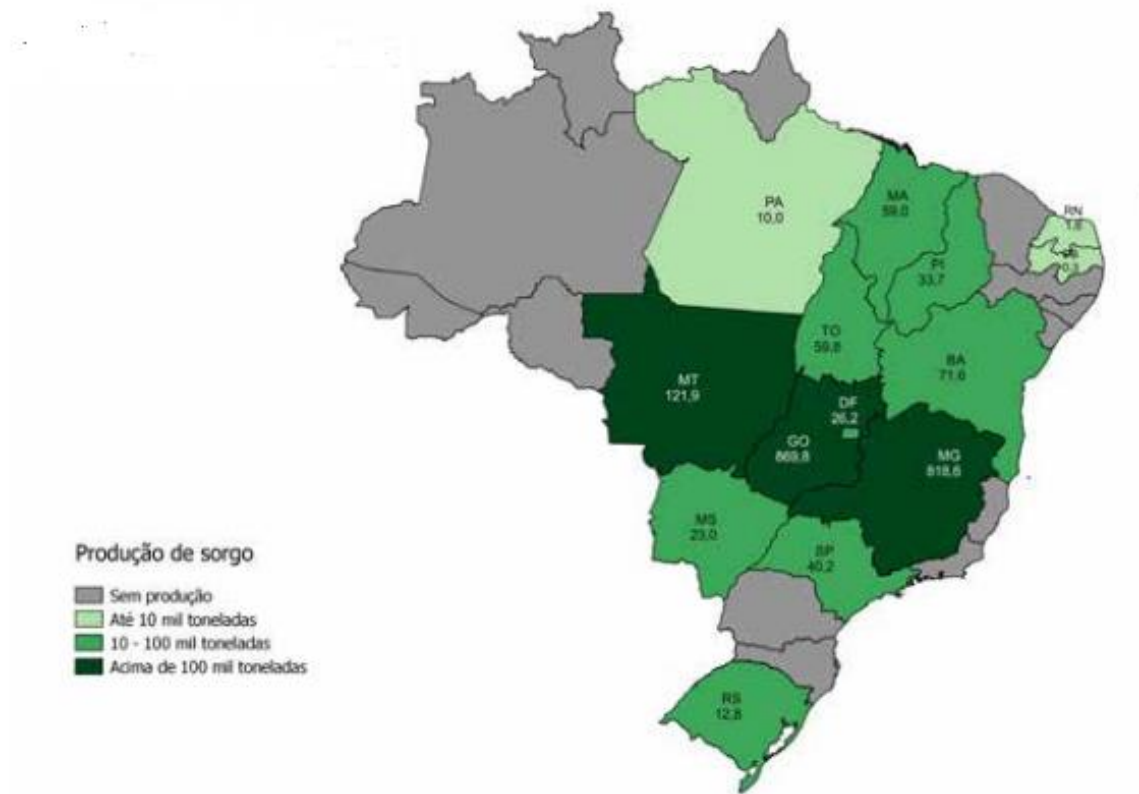


Plantio Colheita

Fonte: Conab (2019)

Em relação à produção brasileira distribuída por áreas, observa-se que a mesma se encontra em diferentes regiões do país, o que reforça a adaptação às diferenças climáticas existentes no Brasil (Figura 2) (CONAB, 2019). De acordo com os dados da Conab, as regiões norte e nordeste tiveram um grande aumento de área plantada, 10,7 e 34% respectivamente e na região sul, 48,9%.

Figura 02- Mapa da produção agrícola – Sorgo 2018/2019



Fonte: Conab (2019)

Essa expressiva produção mundial deve-se ao fato de que o grão de sorgo pode ser utilizado na produção de farinha para panificação, amido industrial e álcool, e palhada como forragem ou cobertura de solo (TARDIN; RODRIGUES, 2008).

3.1.2 Características, composição química do grão e utilização na alimentação humana

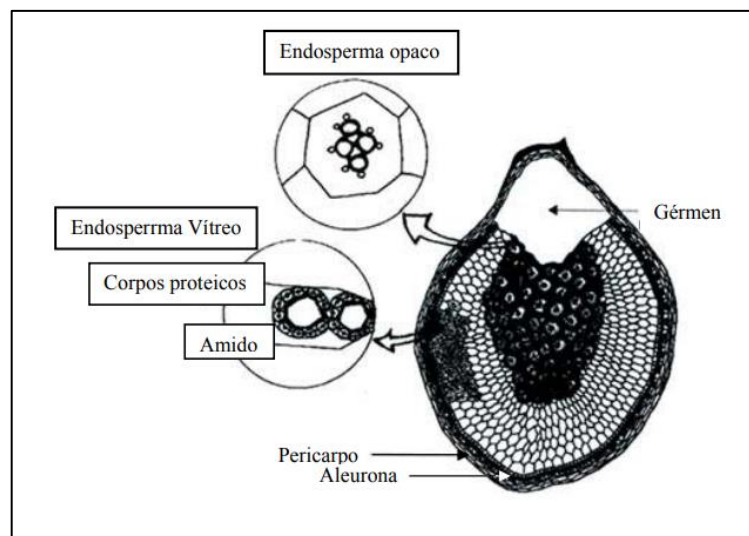
A classificação do sorgo foi desenvolvida em 1972 por Harlan e deWet, sendo dividida em cinco espécies básicas: *S. bicolor*, *S. caudatum*, *S. durra*, *S. guinea* e *S. kafir*. A espécie mais cultivada mundialmente é o *Sorghum bicolor* L. Moench (ICRISAT, 2004).

A planta de sorgo se assemelha ao milho, porém é mais curta (75-127 cm de altura) e mais larga. Possui raízes fibrosas, que penetram até 2,5 m de profundidade no solo. O caule possui folhas em posições alternadas e a panícula contém de 750 a 1250 sementes (FAO, 1995).

As características do grão de sorgo são diversificadas em relação à forma, tamanho e cor, podendo apresentar coloração desde branca, bronze ou vermelha, até quase preta, devido à presença de pigmentos de antocianidinas no pericarpo (EMMAMBUX; TAYLOR, 2013).

Sua estrutura básica se assemelha a de outros cereais, sendo seus componentes anatômicos principais o pericarpo, o endosperma e o gérmen (Figura 3). A distribuição desses três componentes varia de acordo com a espécie de sorgo, correspondendo em média pericarpo 7,9%, endosperma 82,3% e gérmen 9,8% do peso do grão (HUBBARD *et al.*, 1950).

Figura 03 - Estrutura do grão de Sorgo



Fonte: CORREIA, (2010).

A composição química dos grãos de sorgo pode variar bastante entre as cultivares, podendo ser influenciada também pelas condições ambientais onde é cultivado (QUEIROZ *et al.*, 2015). O amido é o seu principal componente, seguido por proteínas, polissacarídeos não amiláceos e lipídeos (DICKO *et al.*, 2006). A composição aproximada do grão de sorgo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição aproximada de diferentes cultivares de sorgo

Cultivar/tipo	Carboidratos totais (%)	Proteínas (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Umidade (%)	Estudo
BR 501	73,90	9,91	3,07	1,51	11,59	Queiroz, <i>et al.</i> (2009)
Não definido	74,63	11,30	3,30	1,57	9,20	USDA (2011)
BRS 310	86,73	12,74	3,53	1,62	12,00	Borges (2013)
BRS 330	72,74	4,14	3,94	1,05	12,58	Cruz (2015)
Sorgo branco	55,24	11,12	4,85	1,65	9,32	Martins (2017)

Assim como os demais cereais, o sorgo apresenta um elevado teor de amido (60 a 75%) (DICKO *et al.*, 2006). Em média, 92% do seu amido total está no endosperma, enquanto que o restante encontra-se na camada do mesocarpo, os quais não são recuperáveis devido ao tamanho pequeno dos grânulos (ECKHOFF; WATSON, 2009).

Após o amido, o segundo componente principal são as proteínas, seguido por polissacarídeos não amiláceos e lipídeos, que estão presentes especialmente na forma de ácidos graxos poli-insaturados (ácido linoleico 49%, oleico 31%, palmítico 14%, linolênico 2,7%, esteárico 2,1%). As proteínas, são consideradas de baixa qualidade nutricional, devido a sua digestibilidade reduzida e ao perfil limitante de aminoácidos essenciais, como a lisina, o triptofano e a treonina. O sorgo é também fonte de vitaminas, principalmente as do complexo B e as lipossolúveis, como de minerais, como fósforo, potássio, ferro e zinco (DICKO *et al.*, 2006).

Por ser um cereal sem glúten, o sorgo pode também ser um substituto do trigo em produtos de panificação para indivíduos portadores de doença celíaca, além de outras utilizações (MARTINO *et al.*, 2012).

Devido ao fato de o sorgo não possuir uma proteção para as sementes, como a palha no milho por exemplo, a planta de sorgo produz diversos compostos fenólicos, que servem como uma defesa química contra parasitas (MAGALHÃES; DURÃES, 2003), sendo os principais os ácidos fenólicos (encontrados em todo tipo de sorgo), os flavonoides e os taninos (podem ser detectados em muitos, porém, não em todo sorgo). A composição desses compostos varia de acordo com as condições ambientais de cultivo e o genótipo (AWIKA; ROONEY, 2004).

Devido às características nutricionais apresentadas, estudos a nível mundial, têm sido desenvolvidos com a finalidade de desenvolver produtos com sorgo destinados à alimentação humana, como demonstrado na Tabela 2:

Tabela 2 – Produtos à base de sorgo produzidos no mundo

Produto a base de sorgo/local	Estudo
Pães não fermentados (África, Sudão e Índia)	
Tortilhas (América Central e México)	
Mingaus de sorgo (África, Índia e América Central)	Rooney (2001)
Salgadinhos (Mercados do Japão)	
Bebidas alcoólicas e cervejas ácidas/opacas (Mundial)	
Mingaus, cuscuz, produtos de panificação, cervejas e farinhas pré-cozidas (África)	Sanchez (2003)
Pães, muffins, roscas (México)	Rooney (2007)
Barra de cereais com pipoca de sorgo (Brasil)	Queiroz (2009)
Macarrão de ovos chinês grãos e farelos de sorgo (China)	Liman Liu (2012)
Macarrão de amido; Cuscuz com amido; Mingau de amido; Tortilha com amido; Cerveja com amido (Mundial)	Zhu (2014)
Cereais matinais, cookies, bolos, farinha solúvel, pães e macarrão sem glúten e encontram-se em fase final de avaliação (Brasil)	EMBRAPA (2015)

3.2 AMIDO

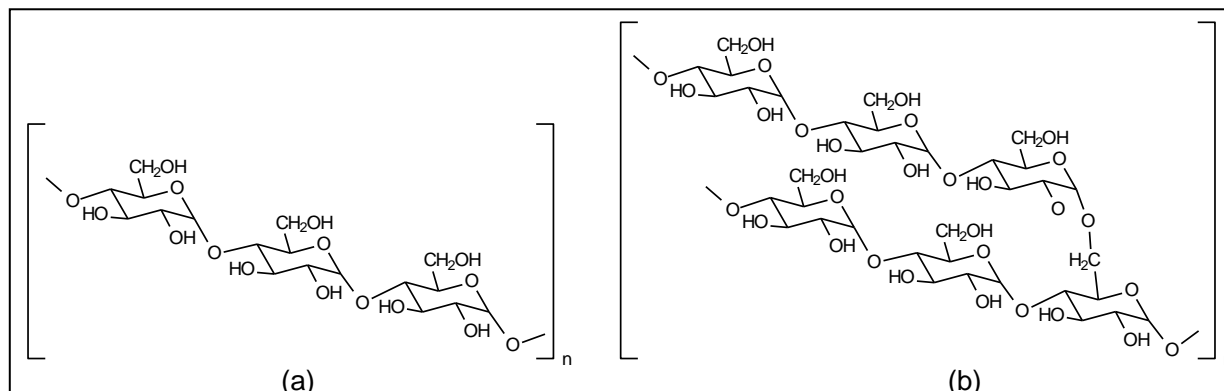
Os carboidratos são divididos em três grupos principais, cuja classificação é feita conforme o comprimento da cadeia carbônica de suas moléculas. São eles: monossacarídeos (glicose, frutose e galactose), dissacarídeos (lactose, sacarose e maltose), oligossacarídeos (carboidratos de cadeia curta), representados pela rafinose e estaquitose e os polissacarídeos, que são divididos em amido e polissacarídeos não amiláceos, como celulose, hemicelulose e pectina (CUMMINGS; STEPHEN, 2007; ROBERFROID, 2005).

O amido é a principal reserva de carbono dos vegetais, além de ser uma importante fonte de energia na alimentação humana. Esse polissacarídeo está amplamente distribuído em diversas espécies de plantas como carboidratos de reserva. As fontes potenciais mais importantes de amido são os grãos de cereais (40 a 90% do seu peso seco), os legumes (30 a 70% do seu peso seco) e os tubérculos (65 a 85% do seu peso seco) (SANDHU, *et al.* 2007). De acordo com a Resolução-RDC N° 263, de 22 de setembro de 2005, amidos são produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas. Segundo a FAO (1994), o amido é caracterizado como um pó branco, inodoro e insolúvel em água fria, com propriedade de formar pasta em água quente.

Dois polissacarídeos compõem o amido em proporções variadas: amilose, molécula linear, e amilopectina, molécula ramificada, apresentando tanto a morfologia, bem como suas forças de ligações variadas dependendo da sua origem. A funcionalidade do amido é atribuída a essas duas moléculas, assim como a organização física destas dentro da estrutura granular. A amilose (Figura 4a), é composta de cadeia helicoidal não ramificada de resíduos de glicose ligados por ligações α -1,4-glicosídicas, originando uma cadeia linear, com ligações entre o carbono 1 de uma unidade e o carbono 4 da unidade vizinha (SINGH *et al.*, 2003).

A amilopectina é um polímero altamente ramificado, de alto peso molecular, contendo ambas as ligações α -1,4 e α -1,6 (Figura 4b). É em sua maior parte ligada da mesma maneira que a amilose, mas contém também ramificações do carbono 6 de uma unidade ao carbono 1 da outra. Estas ramificações ocorrem a cada 20 a 25 unidades de monossacarídeo ao longo da cadeia. (ELIASSON, 2004; TESTER *et al.*, 2004).

Figura 04 - Representação das cadeias de amilose (a) e amilopectina (b)



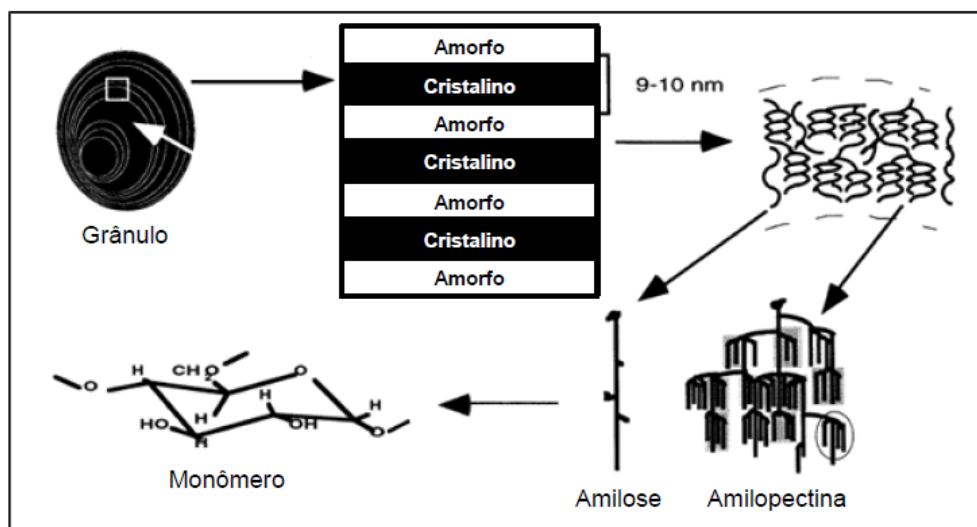
Fonte: Nitschke, 2007.

As características estruturais do amido afetam suas propriedades funcionais, como as propriedades físico-químicas, de gelificação, digestibilidade e estabilidade no armazenamento. Variedade genética, condições de crescimento e clima podem afetar as características dos grânulos de amido (CHAO, *et.al.*, 2014)

Estudos sobre a avaliação da relação existente entre a estrutura molecular do amido e o comportamento de suas propriedades funcionais sugerem que diversas características estruturais, como o teor de amilose, a distribuição de comprimento das cadeias de amilopectina e o grau de cristalinidade dos grânulos, estão intimamente relacionadas aos eventos associados com a gelatinização e a retrogradação (DENARDIN; SILVA 2009).

A amilopectina e a amilose estão agrupadas no grânulo, formando uma estrutura em camadas que se superpõem ao redor de um ponto chamado hilo, podendo este apresentar-se no centro ou lateralmente no grânulo (BILLIADERIS, 1991). Essas macromoléculas formam ligações de hidrogênio por estarem associadas de forma paralela, dando origem a uma estrutura semicristalina, com regiões mais ordenadas (cristalinas), compostas pela parte linear das moléculas de amilopectina, e regiões menos ordenadas (amorfas), constituídas pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina (SOUZA; ANDRADE, 2000) (Figura 5).

Figura 05 – Representação das áreas cristalinas e amorfas do amido



Fonte: Adaptado de BULÉON *et al.*, 1998.

As áreas cristalinas do amido mantêm a estrutura do grânulo, controlam o seu comportamento na presença de água e o torna mais ou menos resistente aos ataques químicos e enzimáticos (BILLIADERIS, 1991).

Alguns amidos de milho, arroz, sorgo e cevada contêm principalmente amilopectina e são conhecidos como 'cerosos'. O amido de sorgo ceroso é composto de teores de amilopectina acima de 95 %, enquanto que o amido de sorgo normal, contém aproximadamente 70 a 80% de amilopectina e 20 a 30% de amilose. Quando gelatinizados, os grânulos de amido de sorgo ceroso incham e perdem sua forma mais facilmente que os de amido de sorgo normal e, quando resfriados, não formam gel como fazem os outros amidos (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010; SREBERNICH, 1989).

Os grânulos de amido nativo apresentam três tipos de estruturas cristalinas diferentes, chamadas de A, B e C. Tais estruturas se diferem pela densidade de empacotamento das hélices simples ou duplas e pelo teor de água. As redes cristalinas dos tipos A e B consistem de estruturas de duplas hélices hexagonais. A cristalinidade dos tipos A e B se diferem pela densidade de empacotamento das hélices duplas no interior da célula unitária. A estrutura do tipo B pode ser descrita como uma associação de hélices com uma coluna de água presente no centro e substituída por Amilose Amilopectina e uma hélice dupla. O volume de água incorporado na rede cristalina é de aproximadamente 1 – 1,25 cm³ em cada um grama de amido seco para as formas A e B, respectivamente (VAN SOEST *et al.*, 1996).

As estruturas do tipo A são normalmente encontradas em cereais, como o de milho, enquanto as estruturas do tipo B são comumente encontradas em tubérculos. A estrutura do tipo C é considerada como uma estrutura intermediária entre as A e B, sendo encontradas em amido de ervilha, por exemplo (LOPEZ-RUBIO, *et al.* 2008).

Alguns fenômenos afetam as propriedades dos amidos. Um deles é a gelatinização: processo de transformação do amido granular em pasta viscoelástica. Durante o aquecimento de dispersões de amido em presença de excesso de água, inicialmente ocorre o inchamento de seus grânulos até temperaturas nas quais ocorre o rompimento dos grânulos, com destruição da ordem molecular e mudanças irreversíveis nas suas propriedades. A temperatura na qual ocorre este tipo de transformação é chamada de temperatura de gelatinização, T(G). Por outro lado, quando o amido é aquecido em presença de pequenas quantidades de água, o fenômeno que indica o rompimento de seus grânulos é conhecido como fusão (SOUZA; ANDRADE, 2000).

3.2.1 Amido de sorgo

A composição aproximada do amido de sorgo é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição aproximada do amido de diferentes cultivares de sorgo

Cultivar/tipo	Carboidratos totais (%)	Proteína (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Umidade (%)	Estudo
Sorgo-doce (<i>Sorghum saccharatum</i>)	91,81	0,5	0,88	0,49	6,32	Rivera- Corona (2014)
BRS 330	88,13	0,57	0,46	1,05	9,62	Cruz (2015)
Sorgo branco	90,36	0,33	0,08	0,38	8,85	Ehtiati, <i>et al.</i> , (2017)
BRS 305	86,66	1,20	0,14	0,16	14,05	Carvalho (2017)
BRS 332	86,48	1,59	0,11	0,19	12,24	Souza (2018)

As aplicações do amido de sorgo são diversas, como em acabamentos nas indústrias de papel e têxtil, matéria prima para a produção de álcool, produção de embalagens biodegradáveis, ingredientes para alimentos e bebidas, podendo ser utilizado em sopas, molhos e cremes como um agente espessante e gelificante. (SINGH *et al.*, 2010). A maior parte destas utilizações é devido à disponibilidade local do amido de sorgo como uma fonte de baixo custo (ZHU, 2014).

3.2.1.1 Extração do Amido de sorgo

A extração do amido de sorgo é feita basicamente por moagem úmida com purificação em múltiplos estágios. Neste caso, fatores como as condições de imersão podem resultar em grandes diferenças na composição do amido e em suas propriedades físico-químicas. Na presença de polifenóis e fortes interações entre o amido e a proteína, o processo de extração provavelmente será mais dispendioso (ZHU, 2014).

As diferentes cultivares de sorgo apresentam uma ampla gama de cores de sementes, de branco a marrom escuro, dependendo da presença de compostos fenólicos no pericarpo. Geralmente, os fenólicos são responsáveis pelas cores encontradas nos produtos e no amido isolado do sorgo (HOSENEY *et al.*, 1981).

A purificação do amido de sorgo escuro é mais difícil do que a de outros cereais, porque as sementes do pericarpo pigmentadas de cor escura, produzem uma preparação de amido colorida. Um branqueamento pré-isolamento por tratamento alcalino e hipoclorito de sódio pode melhorar a aparência dos amidos isolados de sorgo e permitir que o material isolado de grãos escuros ou vermelhos sejam usados por diferentes indústrias. No entanto, o amido obtido por este protocolo deve ser testado quanto à toxicidade, especialmente se for utilizado como ingrediente em a indústria de alimentos (SIRA; AMAIZ, 2004).

Outro método de extração do amido de sorgo amplamente utilizado, semelhante ao relatado acima, é o método por maceração por bissulfito de sódio a 0,1 %, por períodos que variam de 16 a 48 horas, em média, A maceração com solução de bissulfito de sódio tem por finalidade romper a rede proteica, facilitando a liberação dos grânulos de amido e evitar ação microbiana durante a maceração, além de facilitar o processo de moagem do grão de sorgo. Este método, pode ocasionar um menor rendimento de extração em relação ao anterior, porém, resulta em um amido com baixa toxicidade, que poderá ser utilizado posteriormente em diversas aplicações industriais, inclusive em ingredientes alimentícios (SREBERNICH, 1989).

3.3 Efeitos das condições do armazenamento de grãos pós colheita

Armazenamento é o processo de guardar o produto, associada a uma sequência de operações, tais como limpeza, secagem, tratamento fitossanitário, transporte, classificação, dentre outros, com o intuito de preservar as qualidades físicas e químicas da colheita, até o abastecimento (ELIAS, 2003).

Uma característica positiva dos grãos é a possibilidade de serem armazenados por longo período de tempo, sem perdas significativas da qualidade. Entretanto, o armazenamento prolongado só pode ser realizado quando se adotam corretamente as práticas de colheita, limpeza, secagem, combate a insetos e prevenção de fungos (EMBRAPA, 2007).

Atualmente, a infraestrutura brasileira de armazenamento de grãos é constituída em grande parte por unidades específicas para armazenagem a granel (silos), que respondem por 78% da capacidade total. Os outros 22% são constituídos por armazéns convencionais, que utilizam sacas e fardos para o armazenamento do produto (GALLARDO, *et al.*, 2001).

A fim de satisfazer a demanda por uma grande quantidade de grãos, e considerando a produção sazonal encontrada em alguns países devido às condições climáticas, os mesmos precisam ser armazenados durante todo o ano. Em alguns países, as condições climáticas de alta temperatura ambiente e umidade relativa do ar não são favoráveis ao armazenamento e preservação dos grãos, podendo afetar diretamente as propriedades físico-químicas e reológicas dos grãos armazenados. Devido a esses motivos, o tempo e a temperatura do armazenamento são fatores importantes que podem afetar a qualidade dos grãos (PARK *et al.*, 2012)

3.4 Efeitos do tempo e temperatura de armazenamento do grão de sorgo sobre as propriedades do amido

Semelhante a outras cereais, a qualidade dos grãos de sorgo pode sofrer alterações de acordo com as condições de armazenamento. A temperatura e o tempo são fatores importantes que afetam a sua qualidade (PARK *et al.*, 2012). Com isso, os grãos podem sofrer alterações através dos efeitos do calor, umidade, oxigênio e atividade enzimática intrínseca do grão. Esses fatores podem interferir nas propriedades físico-químicas e funcionais dos amidos (MALUMBA *et al.*, 2009).

O armazenamento por longos períodos requer medidas de controle de qualidade obtidas em testes, dentre elas a variação de umidade relativa e temperatura do ar, umidade e temperatura do grão (ELIAS *et al.*, 2012).

Durante o armazenamento dos grãos, podem ocorrer diferentes tipos de reações metabólicas, bioquímicas e físico-químicas, através das quais as reservas energéticas dos grãos, como amido, proteínas e lipídios são hidrolisadas, transportadas e ressintetizadas, formando compostos de defesa e produtos de degradação desses constituintes dos grãos. A velocidade com que essas reações acontecem é diretamente influenciada pelo sistema de armazenamento e pela temperatura, principalmente (AGUIAR *et al.*, 2012; ZIEGLER *et al.*, 2016).

Os grãos armazenados em condições inadequadas, podem resultar em um aumento da oxidação lipídica e do conteúdo de ácidos graxos livres (GALLIARD, 1986), formando um complexo helicoidal com a amilose ou reduzindo o comprimento das cadeias longas de amilopectina, alterando as propriedades físicas e nutricionais do grão e dos seus produtos finais, além de uma diminuição da solubilidade e digestibilidade de proteínas de grãos (PARAGINSKI *et al.* 2014).

O armazenamento pode resultar em menor solubilidade e digestibilidade de proteínas de grãos (REHMAN, *et al.*, 2002), aumento de ácidos graxos livres (PARK *et al.*, 2012), e estes podem formar complexos com cadeias curtas de amilose ou amilopectina, alterando as propriedades nutricionais e as características físicas dos produtos finais (HASJIM *et al.*, 2010; SALMAN *et al.*, 2007).

As propriedades químicas, físicas e térmicas do amido podem sofrer alterações de acordo com o tempo e temperatura de armazenamento (RUPOLLO *et al.* 2011; SETIAWAN *et al.*, 2010). Longos períodos de armazenamento reduzem o rendimento da extração de amido de mandioca durante a moagem úmida, como resultado da degradação do amido e das interações entre o amido e outros constituintes (ABERA & SUDIP, 2004).

Como demonstrado, o amido pode sofrer modificações de acordo com as condições de armazenamento do grão, devido a isso, é de grande relevância a realização de estudos que possam determinar tempo e temperatura ideais, com o objetivo de minimizar essas alterações já que este polímero é muito utilizado nas indústrias de alimentos, como em formulações de molhos, sopas, assados, confeitaria, laticínios, massas, salgadinhos, revestimentos e produtos feitos com carne (PARAGINSKI *et al.*, 2014).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Para realização da pesquisa, utilizou-se os grãos de sorgo cedidos pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) da EMBRAPA, localizado em Sete Lagoas, estado de Minas Gerais.

Foram utilizados três diferentes cultivares de grãos de sorgo, BRS 305 (pericarpo marrom com tanino, endosperma farináceo), BR 501 (Pericarpo branco sem tanino, endosperma vítreo) e BRS 310 (pericarpo vermelho sem tanino, endosperma 50% farináceo e 50% vítreo).

4.2 Métodos

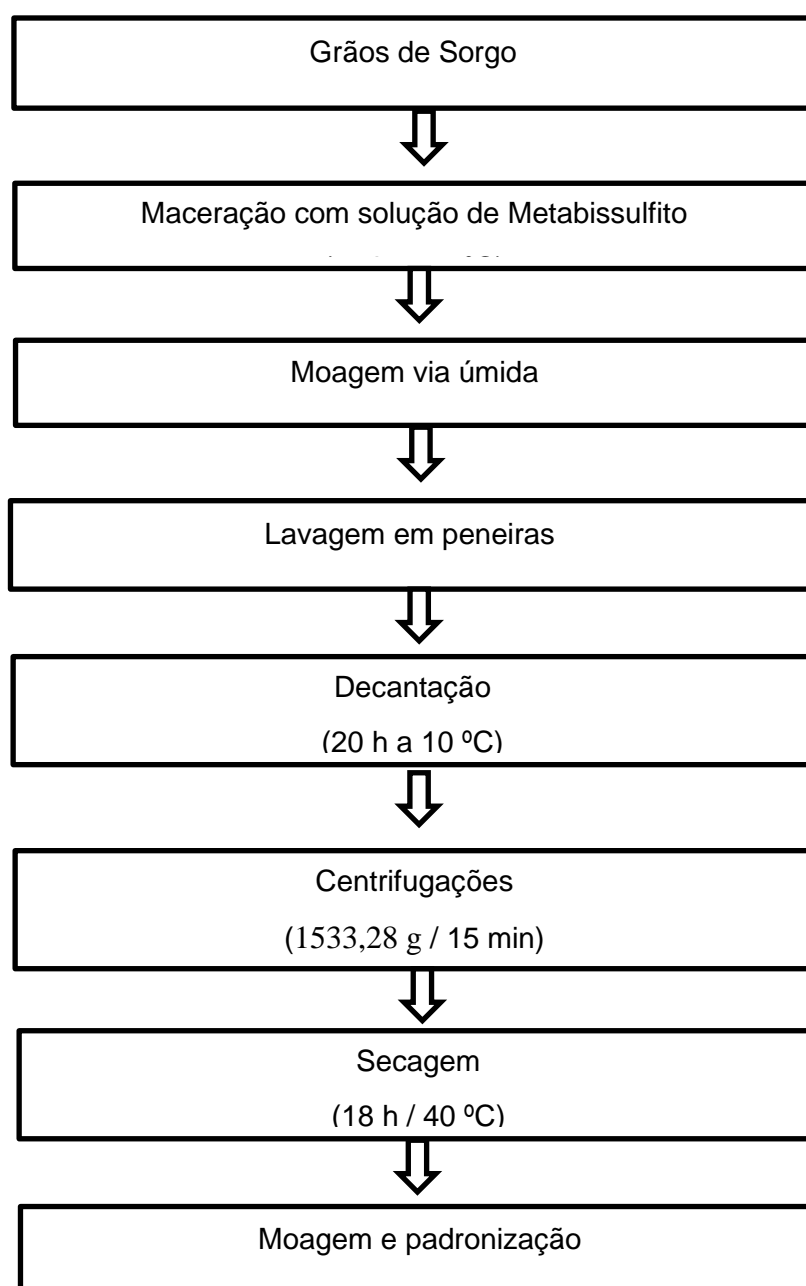
Os grãos de sorgo de cada cultivar, em quantidades totais de 10 kg cada, foram divididos em porções de 1000 g e armazenados em incubadora do tipo BOD (Incubadora BOD com Fotoperíodo SL – 224, SOLAB), por até seis meses a 10, 24 e 40 °C (± 2). O amido controle foi obtido a partir da primeira extração, antes do armazenamento. As demais amostras foram coletadas e o amido extraído após 3 e 6 meses de armazenamento em cada temperatura.

4.2.1 Extração do amido de sorgo

Para a extração do amido, foi utilizado o método descrito por Srebernick (1989), com algumas modificações, conforme fluxograma apresentado na Figura 6. Colocou-se os grãos de sorgo em maceração por 24 h a temperatura de 40 °C em incubadora do tipo BOD (Incubadora BOD com Fotoperíodo SL – 224, SOLAB). Para cada parte de sorgo (500g), utilizou-se duas partes de água destilada (1 L) contendo 1,5 g de metabissulfito de sódio por litro. Após completada a maceração, a água foi drenada e o sorgo foi lavado em água corrente de 5 a 7 vezes, até a água se tornar límpida. O sorgo macerado foi moído em liquidificador industrial (Poli Metalúrgica Siemens, modelo TR-02, frequência 60 Hz, potência 245 W), adicionando-se 2 partes de água destilada para cada parte de sorgo macerado. O material moído passou por uma peneira de 0,53 mm de abertura, onde foi eliminada as impurezas (0,5 mm <partículas < 1,25mm). O material proveniente, foi separado em uma sequência de três peneiras: 1ª peneira – abertura de 0,44 mm, 2ª peneira – abertura de 0,149 mm, 3ª peneira – abertura de 0,074 mm. As peneirações foram realizadas utilizando-se água destilada, obtendo-se uma suspensão de amido. O material retido nas peneiras foi descartado. A suspensão de amido obtida foi decantada por 20 h, em incubadora do tipo BOD (Incubadora BOD com Fotoperíodo SL – 224, SOLAB) a 10°C, eliminando-se

posteriormente, o sobrenadante. O amido decantado foi resuspenso em água destilada e levado para a centrífuga (Mod Jouan BR4), a 1533,28 xg por 15 min. Posteriormente, foram eliminados o sobrenadante e a borra que se formou na superfície do amido. Esta operação foi repetida até a obtenção do amido puro, verificada através do aspecto visual (coloração). Após a etapa de centrifugações, o amido obtido foi transferido para bandejas de alumínio (30 x 50 cm) e distribuído nas mesmas, evitando camada superior a 1 cm. As bandejas foram levadas para estufa (Mod 320-SE – Circulação Mecânica, FANEM) a uma temperatura de 40 °C por um período de 18 h. Após a secagem, o amido foi passado em uma peneira de 0,153 mm de abertura para padronizar a granulometria, uniformizando a sua aparência.

Figura 6 – Fluxograma do processo de obtenção do amido de sorgo



4.2.2 Caracterização do Amido do Sorgo

As análises de caracterização do amido de sorgo foram realizadas nos Laboratórios de Bromatologia e Química de Alimentos – FAFAR/UFMG (composição química); de Tecnologia de Alimentos – FAFAR/UFMG (cor, índice de absorção e solubilidade em água); e nos laboratórios de RX, infravermelho e Análise Térmica – Departamento de Química/UFMG (cristalinidade, infravermelho-e TG).

4.2.2.1 Rendimento do processo de extração

O rendimento do processo de extração do amido de sorgo, expresso em porcentagem, foi calculado pela Equação 1:

$$\text{Equação 1: \% rendimento} = \frac{\text{massa de amido}}{\text{massa dos grãos}} \cdot 100 \quad (1)$$

4.2.2.2 Composição química

A umidade (método gravimétrico por secagem da amostra em estufa a 105 °C até massa constante), cinzas (método gravimétrico por incineração em mufla a 550 °C até massa constante), proteínas (método de Kjeldahl, utilizando o fator de conversão de 6,25), lipídeos (extração com éter etílico em aparelho Soxhlet) foram determinados segundo métodos descritos pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2012) e o cálculo dos carboidratos totais foi realizado por diferença. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Para a determinação do teor de amilose das amostras, foi utilizada a reação colorimétrica com o iodo, de acordo com o método de Mcgrane, Cornell e Rix (1998).

4.2.3 Perfil colorimétrico

O perfil colorimétrico do amido isolado foi determinado utilizando colorímetro (CM-2300d, Konica Minolta), com iluminante D65 e observador padrão 10°. Foi utilizado o sistema de leitura CIELab, representado pelos parâmetros coordenada L*, que indica o grau de luminosidade numa escala de 0 (preto) a 100 (branco); coordenada de cromaticidade a* (-a*: verde, +a*: vermelho) e coordenada de cromaticidade b* (-b*: azul, +b*: amarelo). A amostra foi colocada em placa de Petri, em quantidade suficiente até cobrir completamente o fundo da placa e analisada por meio de cinco leituras, alternando-se a sua posição entre as medidas. As

leituras dos parâmetros L^* , a^* e b^* permitiram calcular o Croma (saturação) e o ângulo Hue (tonalidade) mediante as Equações 2 e 3, respectivamente, conforme ASTM D2244 – 16.

$$\text{Equação 2: } C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$\text{Equação 3: } h = 180 - (180/\pi)\arctan(a^*/b^*) - 90\text{sign}(b^*) \quad (3)$$

4.2.4 Espectroscopia no infravermelho

O espectro de absorção na região do infravermelho do amido de sorgo foi obtido no espectrômetro Spectrum One FT-IR (Perkin Elmer do Brasil Ltda) equipado com ATR (Refletância Total Atenuada), no modo de transmitância, 4 cm^{-1} de resolução e 4 scans/min. A faixa espectral considerada foi de 4500 a 350 cm^{-1} . O espectro foi analisado por meio do software KnowItAll e de tabelas fornecidas pela literatura (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2006).

4.2.5 Cristalinidade

A cristalinidade do amido foi determinada com um difratômetro de raios-X, operando com radiação de cobre, voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA. A varredura foi realizada em intervalo de 5 a 50° (2θ) a uma velocidade de $2,0^\circ \cdot \text{min}^{-1}$. O grau de cristalinidade da amostra foi quantitativamente estimado como descrito por Nara; Komiya (1983) (Equação 4), sendo as áreas calculadas com o auxílio do software Origin 9.

$$\text{Equação 4: } CR(\%) = 100 \cdot A_c / (A_c + A_a) \quad (4)$$

Em que:

CR = cristalinidade relativa (%);

A_c = área cristalina;

A_a = área amorfa.

4.2.6 Termogravimetria (TG)

A curva termogravimétrica dos amidos foi obtida com um analisador termogravimétrico (DTG-60 Simultaneos DTA-TG, Shimadzu). Foi pesada cerca de 6 mg de amostra em cadinho de alumina e aquecida de 28 a 900 °C a uma taxa de 10 °C. min⁻¹, em atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo de 50 mL. min⁻¹. O software utilizado para o processamento dos resultados foi ta60.

4.2.7 Poder de inchaço e solubilidade

O Índice de Absorção de Água (IAA) e o Índice de Solubilidade em Água (ISA) foram determinados segundo método descrito por Anderson et al. (1969), com algumas modificações. Em um tubo de centrífuga, foi pesada 0,5 g de amostra e adicionada 6 mL de água destilada. Os tubos foram submetidos ao banho-maria com agitação por 30 minutos às temperaturas de 65, 75, 85 e 95 °C. Em seguida, foram centrifugados a 1008 xg por 10 minutos. O líquido sobrenadante foi transferido para um béquer, previamente tarado, e seco em estufa (105 °C) até massa constante para a determinação do ISA. O material remanescente foi pesado e o IAA calculado. O ISA e o IAA foram calculados pelas equações 5 e 6, respectivamente. As determinações em diferentes temperaturas foram realizadas em triplicata.

$$\text{Equação 5: } ISA (\%) = 100 \cdot PRE/PA \quad (5)$$

$$\text{Equação 6: } IAA (g \text{ gel}/g \text{ de matéria seca}) = PRC/(PA - PRE) \quad (6)$$

Em que:

PRE = peso do resíduo da evaporação (g);

PA = peso da amostra (g) (base seca);

PRC = peso do resíduo da centrifugação (g).

4.3 Análise estatística

O delineamento deste estudo foi realizado por Delineamento em Parcela Subdividida. Os resultados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5%. A transformação Box-Cox foi utilizada para todas as medidas que não apresentavam normalidade. As versões não paramétricas para análise de variância e comparação de médias (teste de Kruskal Wallis) foram utilizadas para as medidas nas quais a transformação Box-Cox não foi suficiente para corrigir a falta de normalidade. As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa estatístico RStudio. Os gráficos foram elaborados pelo software OriginPro 9.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Rendimento do processo de extração

Os rendimentos de extração dos amidos de sorgo foram de 20,01%, 19,90%, 11,59% para as cultivares BRS 310, BRS 305 e BR 501, respectivamente. Apesar destes resultados serem menores quando comparados ao obtido por Sira; Amaiz (2004), para o sorgo branco, obteve rendimento de 27,73, por Biduski (2015), 26,7% que estudou o sorgo vermelho e por Carvalho (2017), que encontrou 24,27% de rendimento em extração de amido da cultivar BRS 305, estes autores extraíram o amido de diferentes cultivares de sorgo por diferentes métodos, o que comprova que o tipo de sorgo e a metodologia aplicada podem influenciar no rendimento de extração e pureza do amido obtido.

O método de extração do amido de sorgo utilizado no presente estudo, priorizou a pureza do amido obtido, bem como a evitar a contaminação microbiana. O objetivo deste estudo não foi avaliar o rendimento do processo de extração do amido, mas sim realizar a caracterização do amido de sorgo obtido de diferentes cultivares de sorgo, em função das condições de armazenamento (tempo e temperatura) do grão.

5.2 Composição química

Foram apresentados apenas os resultados estatisticamente significativos. A tabela completa da composição química está apresentada no anexo A.

Os resultados da composição química dos amidos de sorgo obtidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 estão representados nas Tabelas 4, 5, 6 e 7.

Tabela 4 - Valores médios de Proteínas, Cinzas e Carboidratos Totais dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tipo de sorgo

	Tipo de Sorgo		
	BRS 305	BRS 310	BR 501
Proteínas (%)	0,72 ± 0,14 a	0,90 ± 0,23 a	1,17 ± 0,19 b
Cinzas (%)	0,16 ± 0,05 a	0,27 ± 0,09 b	1,18 ± 0,15 c
Carboidratos totais (%)	90,77 ± 0,98 b	91,71 ± 2,23 c	89,34 ± 1,51 a

Média ± desvio padrão

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($p \leq 0,05$).

É possível observar (Tabela 4) que houve diferença significativa entre os tipos de sorgo e os teores de proteínas, cinzas e carboidratos totais, não havendo diferença significativa entre os tempos e temperaturas de armazenamento para proteína e cinzas. Já para carboidratos totais, houve diferença entre os tempos de armazenamento (Tabela 5).

Com relação à proteína, verifica-se que os teores de amido de sorgo das cultivares BRS 305 e BRS 310 foram semelhantes, sendo que BR 501 apresentou resultado estatisticamente superior entre os três. Choi, *et al.* (2004) encontraram valores de 0,2%, ao estudar o amido de sorgo ceroso; Rivera-Corona, *et al.* (2014), 0,5% para amido de sorgo-doce (*Sorghum saccharatum*) e Olayinka, *et al.* (2013), 1,5%, para o amido de sorgo branco.

Cabe ressaltar que os tempos e as temperaturas não influenciaram os teores de proteína das cultivares em estudo, variando de 0,84% a 0,98% para tempo e de 0,88% a 1,03% para temperatura, nas faixas estudadas (Anexo A).

Os teores de cinzas dos amidos diferiram entre os três tipos de sorgo. O valor de 1,18% apresentado pela cultivar BR 501 foi estatisticamente maior que os demais e semelhante ao relatado por Olayinka, *et al.* (2013), que encontraram valor de 1,6% em amido de sorgo branco. Na sequência, encontra-se valores de 0,27% para BRS 310 e 0,16% para BRS 305. Ehtiati, *et al.*, (2017), ao estudarem diferentes cultivares de sorgo, KDFGS1, KDFGS20, KDFGS6 e KDFGS9, encontraram valores de 0,31, 0,34, 0,37 e 0,53%, respectivamente. Ao analisar tempo e temperatura nesse estudo, os valores variaram de 0,46% a 0,58% para tempo e 0,52% a 0,57% para temperatura, não sendo diferentes estatisticamente (Anexo A).

O teor de carboidratos totais foi diferente entre os três tipos de amido de sorgo, sendo que o BRS 310 apresentou o maior valor (91,71%), posteriormente o BRS 305 (90,77%) e o BR 501 (89,34%) o menor. Valores estes semelhantes ao relatado por Rivera-Corona, *et al.* (2014), que foi de 91,81% para amido de sorgo-doce (*Sorghum saccharatum*) e Olayinka, *et al.* (2015), que foi de 86,09% para amido de sorgo amarelo. As temperaturas de armazenamento dos grãos de sorgo não influenciaram significativamente nos teores de carboidratos totais dos amidos. Estes valores variaram de 90,72% a 91,41% (Anexo A).

As variações nos conteúdos de carboidratos, proteínas e cinzas do amido de sorgo, comparados aos da literatura, podem ser atribuídas à variedade do grão estudada e condições ambientais de cultivo, bem como ao método de extração do amido (ZHU, 2014).

Ainda em relação aos carboidratos totais, é possível verificar na Tabela 5 que os teores dessa variável foram influenciados pelo tempo de armazenamento, sendo que quanto maior o tempo de armazenamento, maior o teor observado. Porém, como os carboidratos totais foram obtidos por diferença, essas variações podem ser devido às mudanças sofridas nos outros parâmetros: umidade, proteína, lipídeo e cinzas e não propriamente no teor de carboidratos totais.

A Tabela 5 também apresenta os teores de umidade e lipídio nos diferentes tempos de armazenamento dos grãos.

Tabela 5 - Valores médios de Lipídeos, Umidade e Carboidratos totais dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tempo de armazenamento em meses

	Tempo de armazenamento (meses)		
	0	3	6
Lipídeos (%)	0,47 ± 0,24 b	0,46 ± 0,24 b	0,20 ± 0,11 a
Umidade (%)	9,72 ± 0,45 a	8,45 ± 0,89 b	6,80 ± 0,59 c
Carboidratos totais (%)	88,50 ± 1,01 a	90,15 ± 1,88 b	91,76 ± 1,28 c

Média ± desvio padrão

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($p \leq 0,05$).

O tempo de armazenamento influenciou no teor de lipídeos. No tempo inicial e aos 3 meses de armazenamento, o teor de lipídeos foi semelhante estatisticamente, diminuindo aos 6 meses de armazenamento. A hidrólise dos lipídeos que ocorre durante o armazenamento devido a processos bioquímicos, como a respiração ou por processos de oxidação, resulta na diminuição do seu conteúdo total. Cruz (2015), que estudou o efeito do tempo de armazenamento sobre as propriedades do amido isolado de sorgo, encontrou maior teor de lipídeos nos grãos não armazenados (3,94%) em relação aos armazenados por 3 e 6 meses (3,12 e 2,99% respectivamente).

É notório que o teor de umidade, independente da cultivar em estudo, diminuiu com o tempo de armazenamento. Chanapamokkhot; Thongngam, (2007) relataram teores de umidade de 10,13–10,81%, para amido de sorgo da Tailândia e Rivera-Corona, *et al.* (2014), em estudo com amido de sorgo-doce (*Sorghum saccharatum*), encontraram 6,32% de umidade, valores semelhantes ao encontrado por este estudo. Cruz (2015) relatou o mesmo efeito na umidade de amido de sorgo armazenado por 3 e 6 meses, em que a interação do amido com a atmosfera possibilitou a absorção e perda de água ao ambiente. As variações no conteúdo de umidade dos

grãos se devem ao sistema de armazenamento utilizado, que é o semi-hermético. A embalagem utilizada neste experimento foi de polietileno de baixa densidade, que é permeável ao vapor de água. Esse sistema permite trocas de ar com o ambiente externo de armazenamento (ZIEGLER, V. et al. 2017).

Houve interação significativa entre a temperatura de armazenamento e o teor de umidade, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios de Umidade dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados à temperatura de armazenamento em °C

	Temperatura de armazenamento (°C)			
	Controle	10	24	40
Umidade (%)	9,72 ± 0,45 b	7,80 ± 1,18 a	7,14 ± 0,92 a	7,92 ± 1,14 a

Média ± desvio padrão

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($p \leq 0,05$).

Observa-se que a umidade do grupo controle foi estatisticamente maior que os demais, que não diferiram entre si e apresentaram valor médio de 7,62%. Esse resultado afirma o fato de que há perda de água para o ambiente, durante o armazenamento, independente da temperatura.

O teor de amilose dos amidos extraídos (Tabela 7) variou de acordo com o tipo de sorgo, sendo o BR 501 o que apresentou valor significativamente maior que os demais, seguido por BRS 310 e BRS 305. Tempo e temperatura de armazenamento não influenciaram significativamente no teor de amilose dos amidos. Estes valores variaram de 25,38 a 26,06% para o fator tempo e de 25,34 a 25,53% para o fator temperatura de armazenamento.

Tabela 7 - Valores médios de Amilose dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tipo de sorgo

	Tipo de Sorgo		
	BRS 305	BRS 310	BR 501
Teor de amilose (%)	23,98 a	25,79 b	26,88 c

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($p \leq 0,05$).

Beta, *et al.* (2001) estudaram 95 genótipos de sorgo, sendo que a porcentagem de amilose variou de 24 a 33%. Já Beta, *et al.* (2000) relataram uma variação de 21,5 a 29,9% nos teores de amilose de dez variedades de sorgo, com diferentes teores de polifenóis, textura do endosperma e espessura do pericarpo. Singh, *et al.* (2010), ao estudarem 15 cultivares indianas de sorgo, de

pericarpo branco, encontraram uma variação entre 11,2% e 28,5%, concluindo que o teor de amilose varia de acordo com o genótipo de sorgo e que quanto maior o teor de amilose, mais vítreo foi o endosperma, o que corrobora o resultado encontrado no presente estudo.

Alterações no conteúdo de amilose também foram relatadas por Sompong, *et al.* (2011), que observaram uma variação no teor de amilose em 10 variedades de grãos de arroz. Segundo esses autores, diferentes concentrações de amilose são principalmente resultado de fatores genéticos, condições ambientais e práticas de cultivo de plantas.

A maioria dos genótipos de sorgo comum contém amilose em torno de 20% a 30% (ZHU, 2014). Já o amido de sorgo ceroso possui praticamente 100% de amilopectina, em contraste com o amido de sorgo normal, que contém aproximadamente 73% de amilopectina e 27% de amilose. Os grânulos de amido de sorgo ceroso, quando gelatinizados, incham e perdem sua forma mais facilmente que os de amido de sorgo normal; e, quando resfriados, não possuem a mesma capacidade de formarem géis, como acontece com os outros amidos (SREBERNICH, 1989).

5.3 Perfil colorimétrico

A cor é um atributo importante na qualidade do amido, sendo desejável uma coloração branca, a qual é caracterizada pelo elevado valor da luminosidade (L^*) (LADEIRA; PENA, 2011). Na Figura 7 é possível observar a alta luminosidade e coloração branca, com pequenas alterações que serão apresentadas abaixo, com a análise dos demais parâmetros de cor avaliados.

Figura 7 – Amidos das cultivares BR 501, BRS 310 e BRS 305



O *hue angle* (h°) refere-se à tonalidade, onde 0° é vermelho e 90° é amarelo. O valor de croma (C^*) indica a pureza e intensidade da cor e, quando se encontra bem mais próximo do eixo do que da extremidade, indica baixa saturação da cor. Nesse contexto, verifica-se as referidas variáveis na Tabela 8, observando que o tipo de sorgo influencia estatisticamente os resultados.

Tabela 8 - Parâmetros de cor dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tipo de sorgo

	Tipo de Sorgo		
	BRS 305	BRS 310	BR 501
L*	87,19 ± 3,57 a	94,42 ± 10,83 b	91,34 ± 4,65 b
C*	7,80 ± 1,42 a	4,74 ± 1,12 b	3,87 ± 0,76 c
h	60,39 ± 1,75 a	66,22 ± 12,89 a	75,46 ± 2,79 b

Média ± desvio padrão

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($p \leq 0,05$).

Com relação à Luminosidade (L*) e o tipo de sorgo, as três cultivares apresentaram alta luminosidade, caracterizando coloração branca, desejável para amido (LADEIRA; PENA, 2011). Entretanto, os amidos do sorgo BRS 310 e BR 501 apresentaram as maiores luminosidades, diferindo do BRS 305. Souza (2018) avaliou o amido do sorgo BRS 332, com coloração vermelha, sem tanino e endosperma de cor branca. O valor obtido para a coordenada L* foi 94,3 revelando que o amido do sorgo BRS 332 é bem claro, apresentando-se semelhante ao BRS 310, avaliado neste estudo.

O amido do sorgo BRS 305 (pericarpo marrom com tanino), apresentou menor luminosidade (87,19), valor semelhante ao relatado por Carvalho (2017), $L^* = 86,55$, que também estudou o amido do sorgo da cultivar BRS 305.

Boudries, *et al.* (2009) obtiveram alto grau de brancura; os valores de L foram de 92,91 e 91,06, respectivamente, para o sorgo branco e vermelho, valores que confirmam a elevada pureza dos amidos isolados. Wang, *et al.* (1993) estimaram que um valor superior a 90 fornece uma brancura satisfatória para a pureza do amido. Sira; Amaiz (2004), utilizando processo semelhante de maceração, obtiveram um valor mais alto para o amido isolado de sorgo branco (91,3), mas menor para o amido de sorgo pigmentado (78,4). Resultado semelhante ao encontrado por este estudo, que confirmou um valor mais baixo de L (87,19) para o amido do sorgo BRS 305, pericarpo marrom, que contém tanino em sua composição.

Com relação ao Cromo (C*), Ângulo hue (h) e o tipo de sorgo, o BR 501, apresentou ângulo hue de 75,46, expressando tendência de cor para o marrom claro, porém com baixa intensidade (Croma=3,87); o BRS 305 expressou tendência de cor para o rosa claro (h=60,39) de baixa

intensidade ($C=7,80$) e o BRS 310 coloração rosa claro ($h=66,22$), de mais baixa intensidade em relação ao anterior ($C=4,74$).

Estas diferenças estão associadas ao tipo de sorgo, sendo que um dos genótipos do grão estudado neste trabalho (BRS 305) conta, principalmente, com a presença de tanino ($57,16$ mg CE/g). Os taninos são compostos fenólicos solúveis em água e podem ser classificados em duas categorias: hidrolisáveis ou condensados (QUEIROZ *et al.*, 2009).

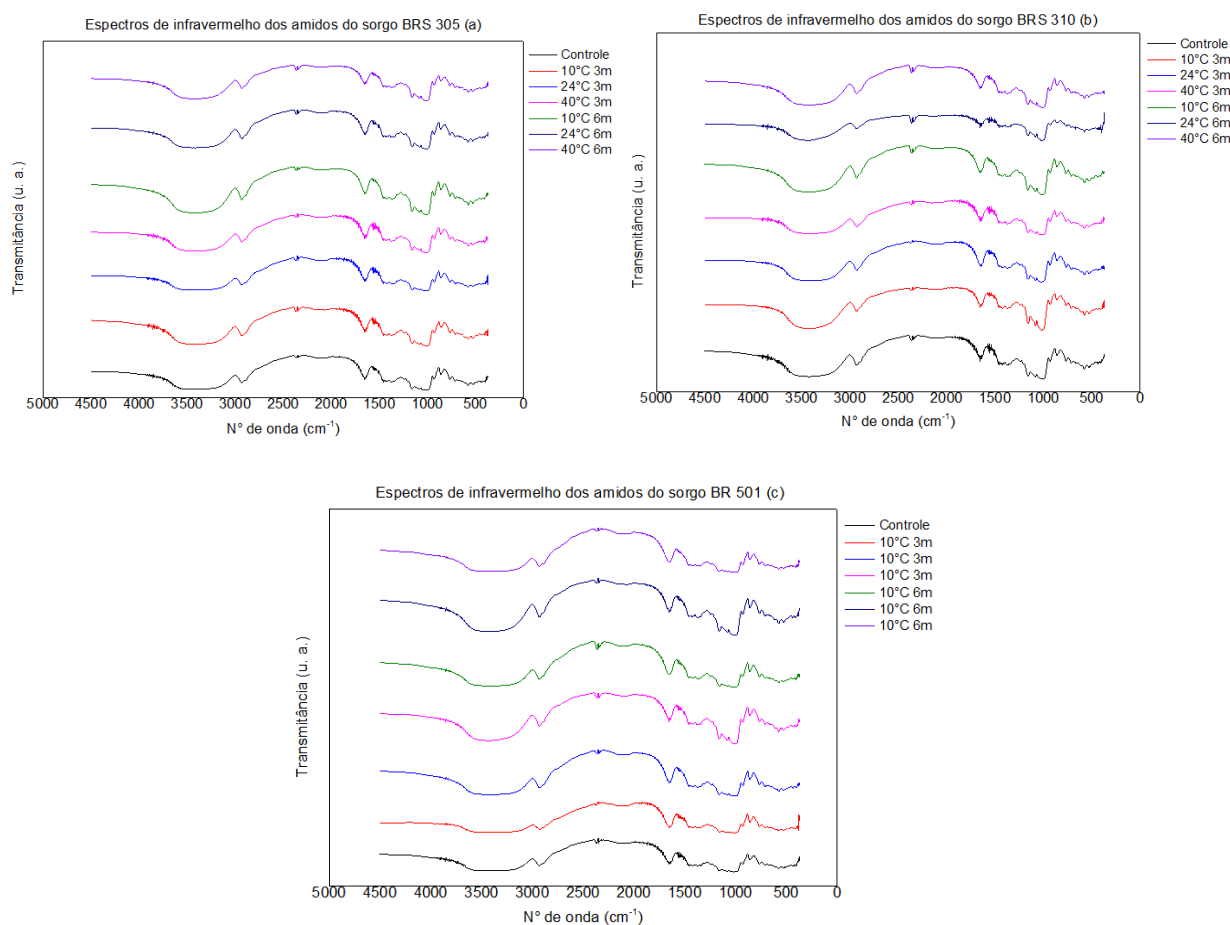
O tempo e a temperatura de armazenamento dos grãos de sorgo não influenciaram nos parâmetros de cor dos amidos de sorgo.

5.4 Espectroscopia no infravermelho

Os espectros de absorção no infravermelho dos amidos foram compilados na Figura 8 e estão apresentados separadamente com identificação das bandas nos anexos (B, C e D).

Os espectros de absorção na região do infravermelho dos amidos dos três tipos de sorgo foram semelhantes, apresentando as bandas características dessa macromolécula.

Figura 8 – Espectros de infravermelho dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501



Bandas em 3295 cm⁻¹, corresponde ao estiramento O-H, resultante de associação polimérica. A banda 3.400 cm⁻¹ a 3.300 cm⁻¹ pode ser atribuída ao estiramento vibracional do grupo O-H de água e alcoóis. As absorções localizadas na região de 2.950 cm⁻¹ até 2.800 cm⁻¹ são características de vibrações simétricas e assimétricas de grupos C-H metilas e metilenos. A absorção situada em 1.680 cm⁻¹ a 1.630 cm⁻¹ é característica de estiramento vibracional de C=O de carbonila e ou compostos aromáticos (TAVARES, *et al.*, 2010).

As bandas na região de 1200 a 800 cm⁻¹ são correspondentes a composição da glicose, sendo consideradas bandas características do amido (HONGBO *et al.*, 2015). São atribuídas ao estiramento C-O e C-C e a vibrações de deformação axial do sistema O-C-O (LIMA *et al.*, 2012).

De acordo com Van Soest, *et al.*, (1995), as bandas 1047 a 1022 cm⁻¹ correspondem, respectivamente, às zonas cristalina e amorfa do amido. A banda em 994 cm⁻¹ pode ser atribuída

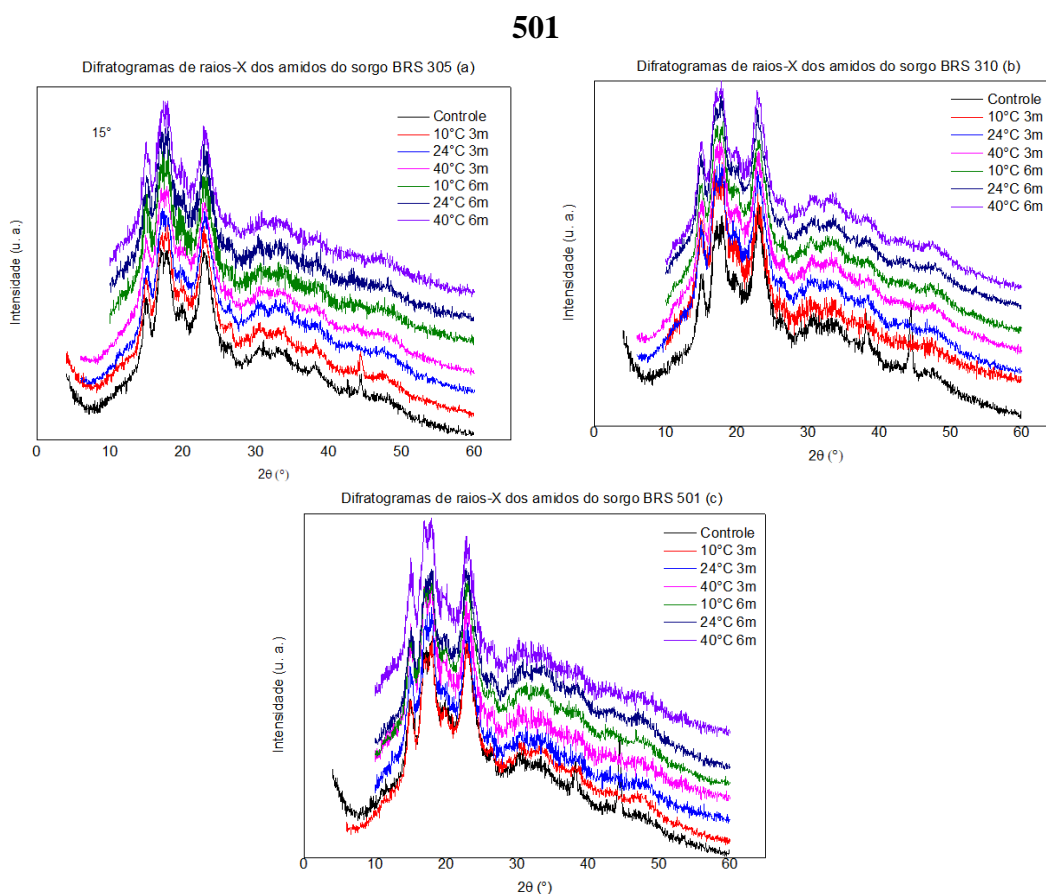
à deformação C-OH que envolve a interação água-amido, sendo sensível ao teor de água (RIVAS-GONZÁLEZ *et al.*, 2008).

Os espectros apresentaram-se semelhantes ao relatado por Carvalho (2017), Souza (2018) e Rivera-Corona, *et al.* (2014), que também estudaram amido de sorgo.

5.5 Cristalinidade

Abaixo estão representados os difratogramas de raios-x dos amidos dos sorgos 305, 310 e 501 (Figura 9). Os mesmos estão apresentados separadamente com identificação dos picos nos anexos (E, F e G).

Figura 9 - Difratogramas de raios-X dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR



Os amidos do sorgo BRS 305 (Figura 9a), BRS 310 (Figura 9b) e BR 501 (Figura 9c) apresentaram perfil de difração de estrutura semicristalina e padrão de cristalinidade do tipo A, já que os difratogramas de raios-X mostraram picos mais intensos posicionados em $2\theta \approx 15$, 17, 18 e 23° (LOPEZ-RUBIO, *et al.* 2008). Guimarães, *et al.* (2010) encontraram bandas análogas em amido de milho ($15,5^\circ$, $17,7^\circ$, $19,9^\circ$, $23,3^\circ$ e $26,5^\circ$). De acordo com esses autores,

a ocorrência dos picos em 19,9° e 23,3° podem ser relacionados à amilose e amilopectina presentes nos grânulos (WEBER, *et al.*, 2009).

A cristalinidade do tipo A ocorre na maioria dos cereais (milho, arroz, trigo, aveia) e é descrita como uma unidade celular monocíclica altamente condensada e cristalina, onde 12 resíduos de glicose de duas cadeias no sentido anti-horário abrigam quatro moléculas de água entre as hélices (DENARDIN; SILVA, 2009).

O tempo e temperatura de armazenamento, bem como o tipo de sorgo, não influenciaram no perfil de difração de raios-X dos amidos analisados.

A cristalinidade relativa para os amidos do sorgo BRS 305 foi de (31,75 ± 0,63%), resultado semelhante ao encontrado por Carvalho (2017), que foi de 32,48%, para o mesmo genótipo de sorgo avaliado neste estudo. Segundo Buléon, *et al.* (1998), os amidos nativos contêm entre 15 e 45% de material cristalino, sendo que, em geral, a cristalinidade do amido tipo A é superior à do amido tipo B (LIU, Q., 2005).

A cristalinidade relativa para os amidos do sorgo BRS 310 foi de (29,15 ± 0,60%), resultado semelhante ao encontrado por Ehtiati, *et al.* (2017) que foi de 26,1, 27,6, 8,1 e 29,7% em diferentes genótipos de sorgo.

Já a cristalinidade relativa dos amidos do sorgo BR 501 foi de (28,56 ± 0,67%). Muitos estudos relataram o padrão tipo A para o amido de sorgo, entretanto, a porcentagem de cristalinidade apresentou variação: 25,8 a 29,6% em 5 genótipos de sorgo (AI *et al.*, 2011), 31,86% em 1 genótipo (SUN *et al.*, 2014), 15 a 25,14% em 12 genótipos de sorgo estudados (AHMED, *et al.*, 2016).

Estas variações podem ser explicadas por alguns fatores: Liu (2005) explica que o grau de hidratação dos grânulos de amido durante a análise pode afetar a cristalinidade. Entretanto, o teor de amilose tem pouco efeito sobre esse parâmetro para amidos do tipo A, mas uma maior proporção de amilopectina tende a aumentar a cristalinidade (ELIASSON; GUDMUNDSSON, 2006).

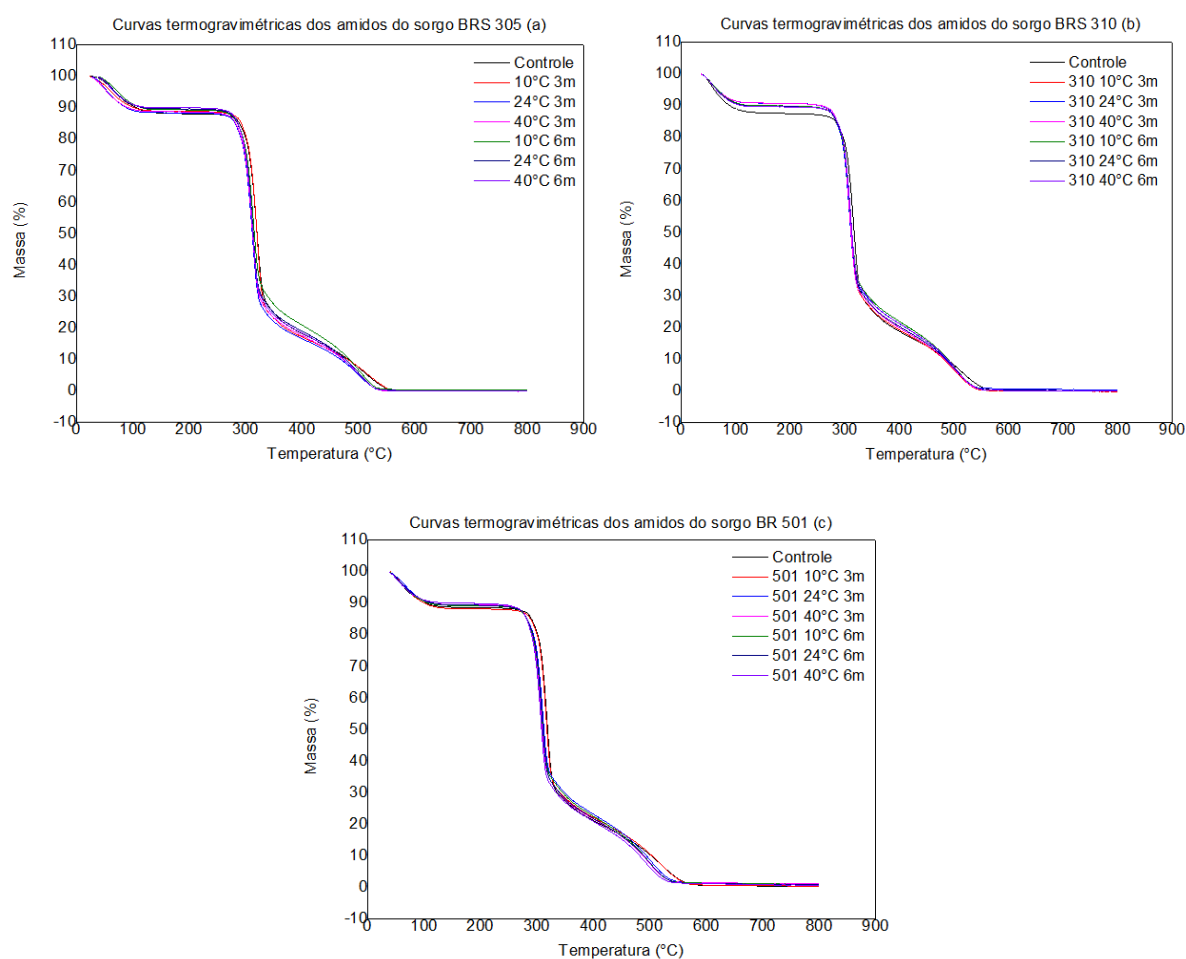
Boudries, *et al.* (2009) encontraram valores de cristalinidade de 22,72 e 28,91% para o amido de sorgo branco e vermelho, respectivamente. Em geral, o padrão de difração de raios-X varia de acordo com a origem do amido bem como com as condições ambientais de crescimento e a variedade do grão (WEBER, *et al.*, 2009).

5.6 Termogravimetria (TG)

A Figura 10 apresenta as curvas termogravimétricas dos amidos do sorgo BRS 305, BRS 310 e BR 501. As mesmas estão representadas separadamente nos anexos (H, I e J).

As curvas de TG foram utilizadas com o objetivo de verificar se há alteração no perfil de degradação dos amidos analisados em função do tempo.

Figura 10 – Curvas termogravimétricas dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501



Todas as curvas apresentaram três eventos de perda de massa: o primeiro evento inicia-se à temperatura de 25 °C até cerca de 120 °C, o que representa a evaporação da água e compostos voláteis. Uma vez desidratados, os segundo e terceiro eventos estão relacionados à degradação da matéria orgânica (amilose e amilopectina), com formação de resíduos finais (cinzas) (LACERDA et al., 2014). O perfil das curvas termogravimétricas dos amidos de sorgo analisados foi semelhante às curvas obtidas por Carvalho (2017) e Souza (2018), que também

analisaram amido de sorgo. Também se assemelhou às curvas obtidas por Beninca (2008) para o amido de milho e de mandioca.

No segundo evento, que ocorreu na temperatura de 300 a 325 °C aproximadamente, foi possível observar a principal perda de massa (50%), que pode ser explicada pela despolimerização e degradação do amido em um processo não-oxidativo, onde acontece, inicialmente, a modificação da estrutura polimérica para formar produtos denominados pirodextrinas. Em temperaturas mais elevadas, a degradação final das macromoléculas leva à formação de levoglucosano, furfural e produtos voláteis de menor massa molecular (AGGARWAL; DOLLIMORE, 1998). O terceiro evento aconteceu em uma ampla faixa de temperatura (entre 340 e 580 °C) e corresponde à degradação de resíduos carbonáceos.

De acordo com os dados obtidos, observou-se que as condições de armazenamento, como tempo e temperatura, bem como o tipo de sorgo, não influenciaram no perfil das curvas termogravimétricas dos amidos de sorgo analisados

5.7 Poder de inchaço e solubilidade

Abaixo estão apresentados os resultados de índice de solubilidade em água e índice de absorção em água, avaliados após armazenamento em diferentes tempos e temperaturas.

O índice de solubilidade em água (ISA) e o índice de absorção em água (IAA), foram influenciados pelo tipo de sorgo, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção em Água (IAA) dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados ao tipo de sorgo

	Tipo de Sorgo		
	BRS 305	BRS 310	BR 501
ISA (%)	1,00 ± 0,88 a	0,97 ± 1,59 a	1,29 ± 0,82 b
IAA (g gel/g matéria seca)	6,89 ± 1,72 a	6,65 ± 1,59 a	5,92 ± 1,63 b

Média ± desvio padrão

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($p \leq 0,05$).

Em relação ao ISA, o BR 501 apresentou o maior valor, o que significa que a quantidade de componentes solúveis que foram lixiviados nos grânulos de amido foi maior nesse genótipo. As demais cultivares não apresentaram diferença estatística entre si. Da mesma forma, para

IAA, as cultivares BRS 305 e BRS 310 não apresentaram diferença significativa. Já o BR 501 apresentou o menor valor, o que significa que a massa de água absorvida pelo amido seco neste genótipo foi menor (POLESI, 2009).

Singh, *et al.* (2010) encontraram valores de 6,2 a 15,3 g/g (IAA) e de 5 a 19% (ISA) para 15 cultivares de amido de sorgo. Já Ahmed, *et al.* (2016) relataram valores de 3,0 a 20,0 g/g para o IAA e de 10,0 a 95,0% para o ISA (a 95 °C), estudando 12 variedades de amido de sorgo. Estes autores atribuíram essas diferenças a fatores genéticos e ambientais, bem como ao método de isolamento do amido.

Ehtiati, *et al.* (2017) estudaram a solubilidade do amido de diferentes genótipos de sorgo. O amido que apresentou a maior solubilidade foi atribuído por esses autores a diferenças nas suas propriedades moleculares de amilose e amilopectina, sendo que um maior teor de amilose pode resultar em uma maior quantidade de amilose lixiviado. Amidos de diferentes fontes botânicas mostram variados padrões de IAA e ISA (SINGH *et al.*, 2003).

O ISA e o IAA variaram de acordo com a temperatura de aquecimento, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção em Água (IAA) dos amidos das cultivares BRS 305, BRS 310 e BR 501 relacionados à temperatura de aquecimento em °C

	Temperatura de aquecimento (°C)			
	65	75	85	95
ISA (%)	0,55 ± 0,35 a	0,73 ± 0,42 a	1,23 ± 0,75 b	1,82 ± 1,02 c
IAA (g gel/g matéria seca)	4,39 ± 1,70 a	6,7 ± 0,85 b	7,16 ± 0,85 b	7,71 ± 0,84 c

Média ± desvio padrão

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias ($p \leq 0,05$).

Diante dos resultados apresentados, constatou-se que o ISA e o IAA do amido de sorgo aumentaram de acordo com o aumento da temperatura. Este resultado era esperado, já que com a elevação da temperatura, há um aumento da energia cinética média das moléculas e o rompimento das ligações intermoleculares, o que permite a formação de pontes de hidrogênio com a água e, conseqüentemente, o inchamento dos grânulos e a solubilização dos componentes do amido (ELIASSON; GUDMUNDSSON, 2006; HOOVER, 2001).

Quanto ao ISA, observou-se valores que variaram de 0,55 a 1,82%, resultados semelhantes ao relatado por Carvalho (2017), 0,23 a 1,24%, em estudo utilizando amido de sorgo do genótipo BRS 305, de pericarpo marrom e com presença de tanino. Os compostos solubilizados em água são em grande parte a amilose, já que se encontra distribuída na região amorfa dos grânulos, ou seja, tem maior tendência para lixiviar durante o inchaço. Já a amilopectina, por ser uma molécula grande, é parcialmente fixada na parte cristalina, tornando-a menos propensa à lixiviação (ZHU, 2014). Segundo Ehtiati *et al.* (2017), após a gelatinização, as moléculas de amido solúvel podem facilmente lixiviar em água, mas complexos insolúveis de amilose-lipídios retardam esse processo.

Foi possível notar um súbito aumento no poder de inchamento (IAA) entre as temperaturas 65 e 75 °C, enquanto que para temperaturas acima de 75 °C, o aumento no inchamento foi mais sutil. Isto sugere que os amidos apresentaram forças associativas internas frágeis e uniformes, as quais foram rompidas a baixas temperaturas (ROCHA; DEMIATE; FRANCO, 2008). Os valores variaram de 4,39 a 7,71g/g nas temperaturas de 65 a 95 °C. Estes resultados estão de acordo com os valores encontrados por Carvalho (2017), 3,11 a 9,63 g/g utilizando a mesma faixa de temperatura, para o amido nativo de sorgo e por Olayinka; Adebowale; Olu-Owolabi (2013), 3,3 a 8,8 g/g (60 a 90 °C) para o amido de sorgo nativo branco.

Tempo e temperatura de armazenamento não influenciaram significativamente no ISA e no IAA dos amidos.

6. CONCLUSÕES

Os amidos extraídos dos genótipos de sorgo BRS 305, BRS 310 e BR 501 apresentaram elevado teor de carboidratos (maior que 80%) e baixos teores de proteínas, lipídeos e cinzas, o que indicou a sua alta pureza.

As diferentes cultivares de sorgo interferiram nos índices de absorção e solubilidade em água (IAA e ISA). O tempo de armazenamento dos grãos de sorgo influenciou nos teores de carboidratos totais, lipídeos e umidade dos amidos estudados. Já a temperatura de armazenamento do grão influenciou apenas no teor de umidade, diminuindo após o armazenamento em 10, 24 e 40 °C.

A composição e coloração dos grãos de sorgo influenciaram nos parâmetros avaliados. Os amidos provenientes dos genótipos analisados apresentaram as mesmas características de cristalinidade e propriedades térmicas, apresentando atributos inerentes ao amido, não sofrendo influência do tempo e temperatura de armazenamento dos grãos de sorgo.

Desse modo, poucos foram os efeitos das condições de armazenamento dos grãos na composição química dos amidos avaliados. concluindo-se que os grãos de sorgo podem ser armazenados nas temperaturas demonstradas neste estudo, sobretudo em temperatura ambiente, por até 6 meses, sem grandes alterações nas características destes amidos.

Entretanto, não foram verificados todos os parâmetros que podem influenciar nas características do amido durante o armazenamento dos grãos de sorgo, dentre eles rancidez oxidativa e atividade enzimática e contaminação microbológica.

Perspectivas futuras: mais pesquisas são necessárias para verificar outros efeitos das condições de armazenamento dos grãos no amido de sorgo e sua potencial utilização na indústria como fonte alternativa de amido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERA, Solomon; RAKSHIT, Sudip Kumar. Effect of dry cassava chip storage on yield and functional properties of extracted starch. **Starch/Stärke**, Pathumthani, Thailand, v. 56, n. 6, p. 232–240, mai. 2004.

AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. A. Thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. **Thermochimica Acta**, n. 319, p. 17-25, 1998.

AGUIAR, R. W. S.; BRITO, D. R.; OOTANI, M. A.; FIDELIS, R. R.; PELUZIO, J. N. Efeito do dióxido do carbono, temperatura e armazenamento sobre sementes de soja e microflora associada. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p.554-560, 2012.

AHMED, A. M.; ZHANG, C.; LIU, Q. Comparison of physicochemical characteristics of starch isolated from sweet and grain sorghum. **Journal of Chemistry**, v. 16, p. 1-15, 2016.

AI, Y. et al. Starch characterization and ethanol production of sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 59, p. 7385-7392, 2011.

ANDERSON, R. A. *et al.* Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Science Today*, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 4-12, 1969.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis** of the AOAC Internacional. 18 ed. Rev. 2. HORWITZ, W.; LATIMER JR., G. W. (Editors). Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2012.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, n. 65, p. 1199-1221, 2004.

BANDEIRA, D., Schellin, W., Petrarca, I., Zavareze, E. R., & Elias, M. C. Structural and technological characteristics of starch isolated from sorghum as a function of drying temperature and storage time. **Carbohydrate Polymers**, 133, 46–51, 2015

BENINCA, Cleoci. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados de diferentes fontes botânicas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BETA, T. *et al.* Effect of steeping treatment on pasting and thermal properties of sorghum starches. *Cereal Chemistry*, v. 78, n. 3, p. 303-306, 2001. BETA, T.; CORKE, H. Genetic and environmental variation in sorghum starch properties. ***Journal of Cereal Science***, n. 34, p. 261-268, 2001.

BETA, T. *et al.* Starch properties as affected by sorghum grain chemistry. ***Journal of the Science of Food and Agriculture***, n. 81, p. 245-251, 2000.

BIDUSKI, B. **Modificação ácida e oxidação de amido de sorgo e sua aplicação em filmes biodegradáveis**. Orientador: Elessandra da Rosa Zavareze. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, 2015.

BILLIADERIS CG. The structure and interactions of starch with food constituents. ***Canadian Journal of Physiology and Pharmacology***. V. 69, p. 60-78, 1991.

BORGES, P. T. **Classificação e métodos de cozimento de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) em grãos**. Orientador: Mônica Ribeiro Pirozi. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2013.

BOUDRIES, N. *et al.* Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. ***Carbohydrate Polymers***, n. 78, p. 475-480, 2009.

BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1.

BULÉON, A. *et al.* Starch granules - structure and biosynthesis. ***International Journal of Biological Macromolecules***, n. 23, p. 85-112, 1998.

CARVALHO, A. P. A. **Amido de sorgo: extração, caracterização e desenvolvimento de filmes**. Orientador: Roberto Gonçalves Junqueira. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Minas Geris, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2017.

CHANAPAMOKKHOT, H.; THONGNGAM, M.. The chemical and physico-chemical properties of sorghum starch and flour. ***Journal: Natural Science***: Tailândia, v. 41, Número, p. 343-349, 2007.

CHAO, G., Gao, J., Liu, R., Wang, L., et al., Starch physicochemical properties of waxy proso millet (*Panicum miliaceum* L.). ***Starch/Stärke***, 66, 1005–1012, 2014.

CHOI, H.; KIM, W.; SHIN, M. Properties of Korean amaranth starch compared to waxy millet and waxy sorghum starches. **Starch/Stärke**, n. 56, p. 469-477, 2004.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira. Grãos**. Volume 6 – Safra 2018/2019, n. 8 – oitavo levantamento, maio 2019. Brasília: Conab, 2019

CORREIA, A. I. L. **Contribuição para a melhoria da qualidade nutricional do sorgo**, 269p. Tese (doutorado) Universidade de Aveiro, 2010.

CRUZ, D. B. **Efeitos da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento sobre propriedades físico-químicas dos grãos e sobre físico-químicas, estruturais, térmicas e de pasta do amido isolado de grãos de sorgo**. Orientador: Moacir Cardoso Elias. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, 2015.

CUMMINGS, J. H.; STEPHEN, A M. Carbohydrate terminology and classification. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 61, p. 5–18, 2007.

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.

DICKO, M.H.; GRUPPEN, H.; TRAORÉ, A.S.; VORAGEN, A.J.; BERKEL, W. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v.5, p.384-395, 2006.

ECKHOFF, S. R.; WATSON, S. A. Corn and Sorghum Starches: production. In: BEMILLER, J.; WHISTLER, R. **Starch: chemistry and technology**. 3 ed. New York: Academic Press, Chapter 9, p. 373-431, 2009.

ELIAS, M. C. Armazenamento e Conservação dos Grãos. Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul Conselho Regional de Desenvolvimento da Região Sul. Pelotas, p.1-83, 2003.

ELIAS, M. C., OLIVEIRA, M., VANIER, N. L. Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo. 1.ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária UFPEL. v. 1. 626 p. 2012.

ELIASSON, A.C. **Starch in food – Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 605p, 2004.

ELIASSON, A. C.; GUDMUNDSSON, M. Starch: physicochemical and functional aspects. **Carbohydrates in food**. 2 ed. New York: CRC Press, Chapter 10, p. 391-469, 2006.

EMBRAPA. **Ministério da agricultura pecuária e abastecimento**. Fisiologia da Planta de Sorgo. Novembro de 2003. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/16163/1/Com_86.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2019.

EMBRAPA. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistemas de Produção, 1. ISSN 1679-012 Versão Eletrônica - 3ª edição. Nov./2007. Cultivo do Milho. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27310/1/Colheita-pos-colheita-Pragas.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

EMBRAPA. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Israel Alexandre Pereira Filho, José Avelino Santos Rodrigues, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2015. Disponível em: <<http://www.mais500p500r.sct.embrapa.br/view/pdfs/90000032-ebook-pdf.pdf>>

EMMAMBUX, M. N.; TAYLOR, J. R. N. Morphology, physical, chemical, and functional properties of starches from cereals, legumes, and tubers cultivated in Africa: a review. **Starch/Stärke**, n. 65, p. 715-729, 2013.

EHTIATI, A. *et al.* Pasting, rheological, and retrogradation properties of starches from dual-purpose sorghum lines. **Starch - Stärke**, 69: 1600262. doi:[10.1002/star.201600262](https://doi.org/10.1002/star.201600262), jul./2017.

FAO- **Sorghum and Millets in Human Nutrition**, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 27 de dezembro de 2018.

FAO (2004). Food outlook. Available at <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/j2084e/j2084e00.pdf>, consulted in 25 of November 2008.

FAO (1995). El sorgo y el mijo en la nutrición humana Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

GALLARDO, A. P.; STUPELLO, B.; GOLDBERG, D. J. K.; CARDOSO, J. S. L.; PINTO, M. M. O. **Avaliação da capacidade da infraestrutura de armazenagem para os grãos agrícolas produzidos no Centro-Oeste brasileiro**. Centro de Estudos em Gestão Naval. p.1-15, 2001.

GALLIARD, T.; Hydrolytic and oxidative degradation of lipids during storage of whole meal flour: Effects of bran and germ components. **Journal Cereal Science**, v.4, p.179-192, 1986.

GUIMARÃES, J. L. et al. Studies of the processing and characterization of corn starch and its composites with banana and sugarcane fibers from Brazil. **Carbohydrate Polymers**, v. 80, n. 1, p. 130–138, 2010.

HANCOCK, J. D. Value of sorghum and sorghum coproducts in diets for livestock. In: SMITH, C. W.; FREDERICKSON, R. A. (Ed.). **Sorghum: origin, history, technology and production**. New York: John Wiley & Sons., p. 731-751, 2000.

HASJIM, *et al.* Characterization of a novel resistant-starch and its effects on postprandial plasma-glucose and insulin responses. **Cereal Chemistry**, United States, v. 87, n. 4, p. 257-262, jul./2010.

HONGBO, T. *et al.* Debranching potato starch: synthesis, optimization and thermal property. **Polymer Bulletin**, n. 72, p. 2537-2552, 2015.

HOSENEY *et al.*, 1981. **Sorghum and millet**. Advances in cereal science, vol. IV, American Association of Cereal Chemis AACC, St. Paul, MN, 1981.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydr Polym** 45: 253– 7, 2001.

HUBBARD, J. E.; HALL, H. H. E EARLE, F. R. Composition of the component parts of the sorghum kernel. **Cereal Chemistry**, v.27, p.415-420, 1950.

ICRISAT. **Sorghum, a crop of substance**. (In En.) Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. ISBN 92-9066-473-8. Order code GAE 049, 2004.

LACERDA, L. G. *et al.* Thermal, structural and rheological properties of starch from avocado seeds (*Persea Americana*, Miller) modified with standard sodium hypochlorite solutions. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, n. 115, p. 1893-1899, 2014.

LADEIRA, T. M. S.; PENA, R. S. Propriedades físico-químicas e tecnológicas dos polvilhos azedos de três cultivares de mandioca. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 22, n. 4, p. 631-640, out./dez. 2011.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 22, p. 65 – 69, 2002.

LIMA, B. N. B. *et al.* Estudo do amido de farinhas comerciais comestíveis. **Polímeros**, v. 22, n. 5, 2012.

LIU, L. *et al.* Characterization of sorghum grain and evaluation of sorghum flour in a Chinese egg noodle system. **Journal of Cereal Science**, v. 55, n. 1, p. 31-36, jan./2012.

LIU, Q. Understanding starches and their role in foods. In: CUI, S. W. **Food carbohydrates – chemistry, physical properties and applications**. New York: CRC Press. Chapter 7, p. 309-355, 2005.

LOPEZ-RUBIO, A. *et al.* A novel approach for calculating starch crystallinity and its correlation with double helix content: a combined XRD and NMR study. **Biopolymers**, v. 89, n. 9, p. 761-768, set./2008.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. Tanino no grão de sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2p. Embrapa Milho Sorgo. (Comunicado técnico, 88), 2003.

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

MALUMBA, P. *et al.* Influence of drying temperature on functional properties of wet-milled starch granules. **Carbohydrate Polymers**, [S.L], v. 75, n. 2, p. 299-306, jan. 2009.

MARTINO, H. S. D. *et al.* Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 2, p. 337-344, 2012.

MARTINS, K. R. B. **Efeito de dois genótipos de grãos integrais de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moech) e arroz (*Oriza sativa* L.) sobre as propriedades funcionais e tecnológicas de macarrão sem glúten de massa seca**. Orientador: Mayra C. Peixoto Martins Lima. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano). Rio Verde, Goiás, 2017.

MCGRANE, S. J.; CORNELL, H.J.; RIX, C.J. A simple and rapid colourimetric method for determination of amylose in starch products. **Starch/Stärke**, v. 50, n. 158-163, (1998).

MENEZES, C. B.; TARDIN, F. D.; RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do sorgo**. 9 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

MUTISSYA, J. Diurnal oscilation of SBE expression in sorghum endosperm. **Jornal of Plant Physiology**, v. 166, p. 428-434, 2009.

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

NITSCHKE, M., BERTOLINI A. C., GARCIA C. F., TEIXEIRA M. A. V, Biopolymers on Food Technology: Production and Applications of Modified Starches. **Biopolymers Technology** (Ed.: A. C. Bertolini), Cultura Acadêmica, São Paulo, SP 2007.

OLAYINKA, F. S.; OLAYINKA, O. O.; ADEBOWALE, K. O. Effect of chemical modifications on thermal , rheological and morphological properties of yellow sorghum starch. v. 52, n. December, p. 8364–8370, 2015.

OLAYINKA, O. O.; ADEBOWALE, K. O.; OLU-OWOLABI, I. B. Physicochemical properties, morphological and X-ray pattern of chemically modified white sorghum starch. (Bicolor-*Moench*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 70-77, jan./feb. 2013.

PARAGINSKI, R. *et al.* Characteristics of starch isolated from maize as a function of grain storage temperature. **Carbohydrate Polymers**, [S.L], v. 102, p. 88-94, 2014.

PARK, Y. Kim, K. Park, B. Kim. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, 48, pp. 25-29, 2012.

POLESI, Luis Fernando. **Amido resistente obtido a partir de amido de leguminosas e de seus hidrolisados**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* Nutritional composition of sorghum [sorghum bicolor (L.) Moench] genotypes cultivated without and with water stress. **Journal of Cereal Science**, n. 65, p. 103-111, 2015.

QUEIROZ, V. A. V.; Vizzotto, M., CARVALHO, C.W.P., MARTINO, H.S.D. O sorgo na Alimentação Humana. Sete Lagoas: **EMBRAPA Milho e Sorgo, Circular técnica**, n. 133, p 19, 2009.

REHMAN, *et al.* Nutritional changes in maize (*Zea mays*) during storage at three temperatures. **Food Chemistry**, Pakistan, v. 77, n. 2, p. 197-201, 2002.

RIVAS-GONZÁLEZ, M. *et al.* Caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado y lintnerizado. **Agrociencia**, n. 42, p. 487-497, 2008.

RIVERA-CORONA, J. L. *et al.* Thermal, structural and rheological properties of sorghum starch with cactus mucilage addition. **Food Science and Technology**, n. 59, p. 806-812, 2014.

ROBERFROID, M.B. Introducing inulin-type fructans. **Br. J. Nutr.**, v.93, suppl. 1, p.S13-S25, 2005.

ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioca-salsa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 620-628, jul./set. 2008.

ROONEY, L.w. Food and nutritional quality of sorghum and millet. In: **UNIVERSITY OF NEBRASKA**. INTSORMIL 2001 Annual Report: Project TAM-226. [Lincoln, 2001]. p.105-114.

ROONEY, L.w. Food and nutritional quality of sorghum and millet. In: **UNIVERSITY OF NEBRASKA**. INTSORMIL 2007 Annual Report. Lincoln, EUA, 2007. p.91-93. (University of Nebraska. INTSORMIL. Publication, 07-01).

RUPOLLO, G. *et al.* Pasting, morphological, thermal and crystallinity properties of starch isolated from beans stored under different atmospheric conditions. **Carbohydrate Polymers**, Pelotas, Brazil, v. 86, n. 3, p. 1403-1409, ago. 2011.

SALMAN, *et al.* Effect of storage on fat acidity and pasting characteristics of wheat flour. **Cereal Chemistry**, Australia, v. 84, n. 6, p. 600-606, nov./2007.

SANCHEZ, DA White food-type sorghum in direct-expansion extrusion applications. 2003. 132p. Thesis (**Master of Science in Food Science and Technology**) - Texas A&M University, College Station, TX, 2003.

SANDHU, K. S.; KAUR, M.; SINGH, N.; LI, S. T. A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. **Swiss Society of Food Science and Technology**, v. 41, p. 1000-1010, 2007.

SETIAWAN, S. *et al.* Effects of Drying Conditions of Corn Kernels and Storage at an Elevated Humidity on Starch Structures and Properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S.L], v. 58, n. 23, p. 12260-12267.

SILVERSTEIN; R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. Identificação espectrométrica de compostos orgânicos. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. Cap. 2, p. 70-104. SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, n. 81, p. 219-231, 2003.

SINGH, N. *et al.* Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, n.219-231, 2003.

SINGH, H.; SODHI, N. S.; SINGH, N. Characterisation of starches separated from sorghum cultivars grown in India. **Food Chemistry**, n. 119, p. 95-100, 2010.

SINGH, H. *et al.* Influence of heat–moisture treatment and annealing on functional properties of sorghum starch. **Food Research International**, v. 44,p. 2949–2954, 2011

SIRA, E. E. P.; AMAIZ, M. L. A laboratory scale method for isolation of starch from pigmented sorghum. **Journal of Food Engineering**, n. 64, p. 515-519, 2004.

SOMPONG, R. *et al.* Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. **Food Chemistry**, Local, v. 124, n. 1, p. 132-140, jan./2011.

SOUZA, P. T. F. **Elaboração e caracterização de filmes de amido de sorgo e quitosana.** Orientador: Roberto Gonçalves Junqueira. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2018.

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

SREBERNICH, Silvana Mariana. **Efeito da umidade, temperatura, velocidade do parafuso e diâmetro da matriz nas características do amido de sorgo submetido à extrusão termoplástica.** Orientador: Ahmed A. El-Dash.1989. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

SUN, Q. *et al.* Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. **Food Chemistry**, n. 145, p. 756-764, 2014.

TARDIN, F. D.; RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do sorgo.** 4 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

TAVARES, S. A. *et al.* Physical and chemical characteristics of the mucilage of lyophilized yam. **Ciênc. agrotec.**, v. 35, n. 5, p. 973-979, set./2010.

TERRA, T. G. R. *et al.* Desenvolvimento e produtividade de sorgo em função de diferentes densidades de plantas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 208-215, 2010.

TESTER, R.F. *et al.* Starch – composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v.39, p.151-165, 2004.

USDA. National Nutrient Database for Standard Reference. Release 24. 2011
Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl>. Acesso em: 10/01/2020.

USDA, United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://ers.usda.gov>>. Acesso em: 23 Jan. 2020.

VAN SOEST, J. J. G. *et al.* Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy. **Carbohydrate Research**, n. 279, p. 201-214, 1995.

VAN SOEST, J. J. G., *et al.* Crystallinity in Starch Bioplastics. **Industrial Crops and Products**, v.5, pp. 11-22, 1996.

WANG, Y.J. *et al.* Characterization of starch structure of 17 maize endosperm mutant genotypes with Oh43 inbred line background. **Cereal chemistry**, 70 (2) (1993), pp. 171-179

WEBER, F. H., *et al.* Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p. 748–753, 2009.

ZIEGLER V. A. *et al.* Changes in properties of starch isolated from whole rice grains with brown, black, and red pericarp after storage at different temperatures. **Food Chemistry**, 1 February, Vol.216, pp.194-200, 2017.

ZIEGLER, V. *et al.* Efeitos da temperatura de armazenamento sobre as propriedades tecnológicas e sensoriais de arroz integral de pericarpo pardo, preto e vermelho. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 7, n. 3, p. 173-189, set./dez. 2016.

ZIEGLER, V. *et al.* Effects of storage temperature of whole rice grains with brown, black and red pericarps, on the physicochemical and pasting properties. **Brazilian Journal of Food Technology**, Pelotas/RS, v. 20, n. 2016051, jan./2017.

ZHU, F. Structure, physicochemical properties, modifications, and uses of sorghum starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, p. 597-610, 2014.

ANEXOS

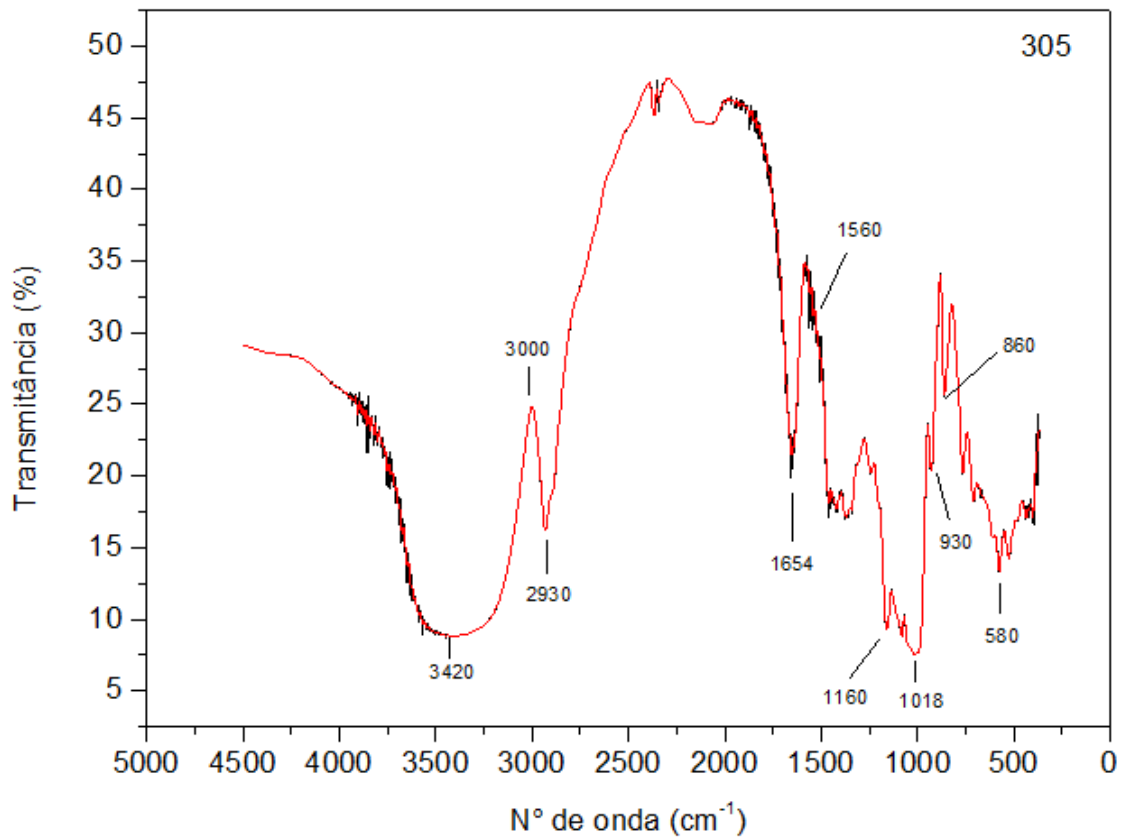
ANEXO A Tabela de composição química: valores médios de Umidade, Cinzas, Lipídeos, Proteínas e Carboidratos Totais dos amidos das cultivares de sorgo BRS 305, BRS 310 e BR 501 submetidos a diferentes condições de armazenamento (tempo em meses e temperatura em °C)

Cultivar	Tempo de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)	Umidade (%)	Cinzas (%)	Lipídeos (%)	Proteínas (%)	Carboidratos totais (%)	
BRS 305	0	-	9,41 ± 0,01	0,19 ± 0,04	0,40 ± 0,03	0,64 ± 0,01	89,36 ± 0,02	
		10	9,01 ± 0,18	0,13 ± 0,00	0,52 ± 0,06	0,74 ± 0,17	89,60 ± 0,01	
		24	7,83 ± 0,09	0,13 ± 0,00	0,59 ± 0,22	0,63 ± 0,00	90,81 ± 0,27	
	3	40	8,59 ± 0,04	0,10 ± 0,00	0,24 ± 0,07	0,63 ± 0,00	90,66 ± 0,04	
		6	10	6,77 ± 0,24	0,18 ± 0,03	0,25 ± 0,02	0,63 ± 0,01	92,16 ± 0,21
			24	7,05 ± 0,10	0,20 ± 0,05	0,30 ± 0,14	0,95 ± 0,01	91,71 ± 0,11
	40		7,61 ± 0,18	0,20 ± 0,05	0,23 ± 0,08	0,84 ± 0,18	91,11 ± 0,30	
	BRS 310	0	-	9,91 ± 0,32	0,19 ± 0,08	0,53 ± 0,46	0,63 ± 0,00	88,75 ± 0,76
			10	7,91 ± 0,56	0,35 ± 0,02	0,50 ± 0,22	0,96 ± 0,02	91,64 ± 2,73
24			6,56 ± 0,04	0,39 ± 0,02	0,67 ± 0,40	0,94 ± 0,00	92,86 ± 2,40	
3		40	9,48 ± 0,03	0,16 ± 0,05	0,61 ± 0,09	1,05 ± 0,35	90,14 ± 2,20	
		6	10	6,26 ± 0,29	0,30 ± 0,00	0,14 ± 0,04	1,17 ± 0,19	93,27 ± 1,55
			24	7,01 ± 0,09	0,27 ± 0,06	0,10 ± 0,02	0,95 ± 0,00	92,58 ± 1,61
40			6,92 ± 0,19	0,23 ± 0,03	0,14 ± 0,03	0,63 ± 0,01	92,73 ± 0,99	
BR 501		0	-	9,85 ± 0,70	1,01 ± 0,04	0,48 ± 0,08	1,27 ± 0,01	87,39 ± 0,69
			10	9,39 ± 0,95	0,95 ± 0,07	0,06 ± 0,03	1,27 ± 0,00	88,33 ± 0,19
	24		8,58 ± 0,12	1,14 ± 0,02	0,47 ± 0,10	1,05 ± 0,17	88,76 ± 0,20	
	3	40	8,68 ± 0,31	1,34 ± 0,04	0,48 ± 0,04	0,95 ± 0,01	88,55 ± 0,27	
		6	10	7,49 ± 0,19	1,23 ± 0,03	0,36 ± 0,11	1,44 ± 0,17	89,47 ± 0,05
			24	5,78 ± 0,10	1,32 ± 0,03	0,09 ± 0,01	1,06 ± 0,18	91,75 ± 0,16
	40		6,28 ± 0,07	1,25 ± 0,05	0,21 ± 0,02	1,16 ± 0,18	91,10 ± 0,20	
	Fatores com influencia estatística significativa			Tempo	Cultivar	Tempo	Cultivar	Tipo
				Temperatura				Tempo

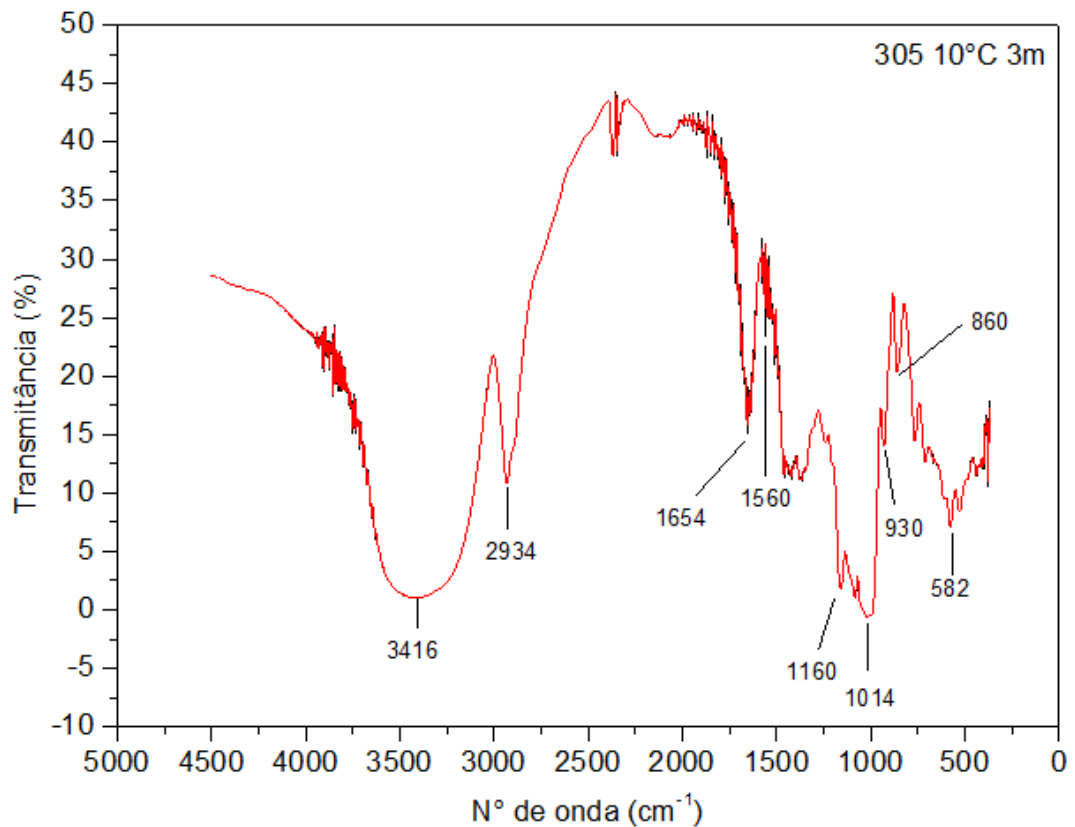
Média ± desvio padrão
n= 21

ANEXO B Espectros na região do infravermelho do amido de sorgo BRS 305

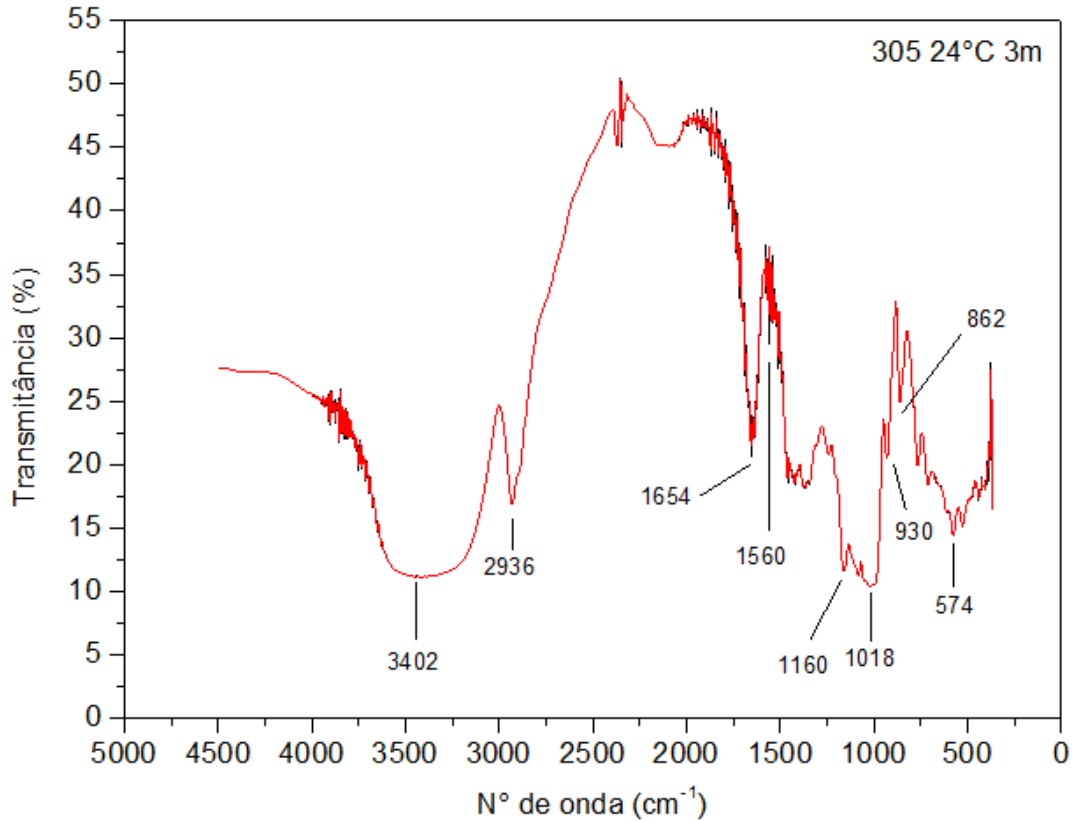
B.1 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 305 – Grupo Controle



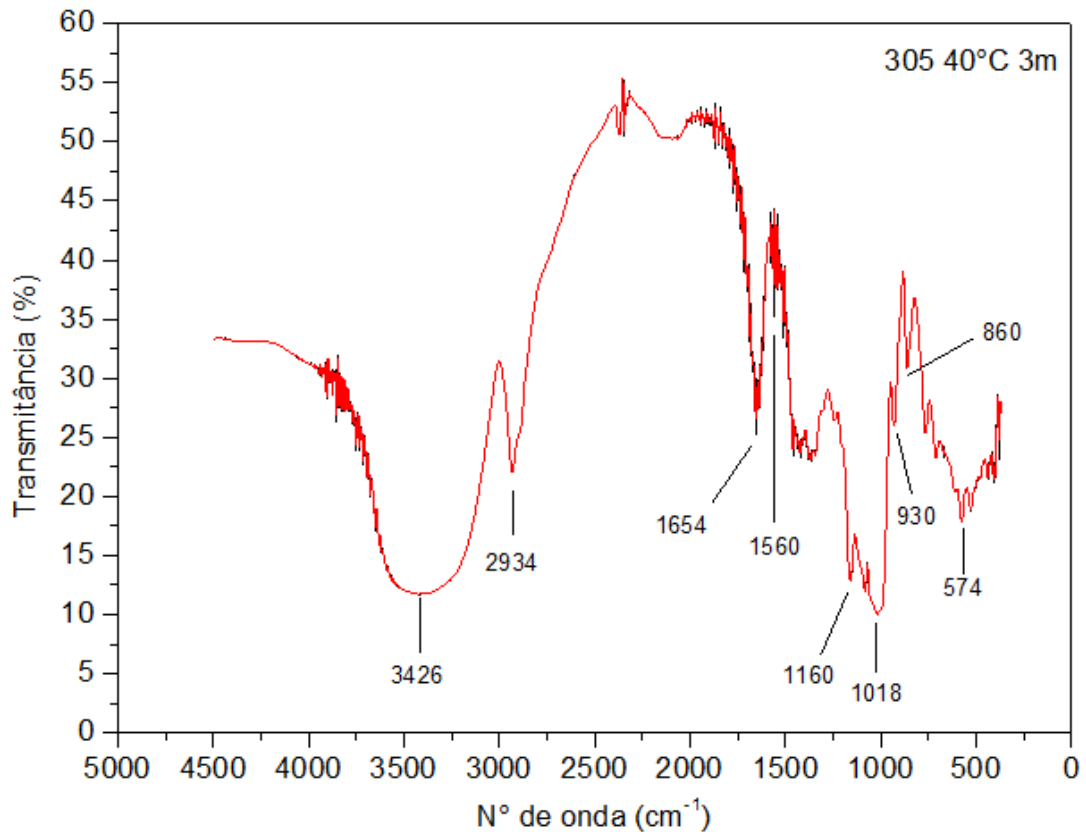
B.2 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 305/10 °C/3 meses



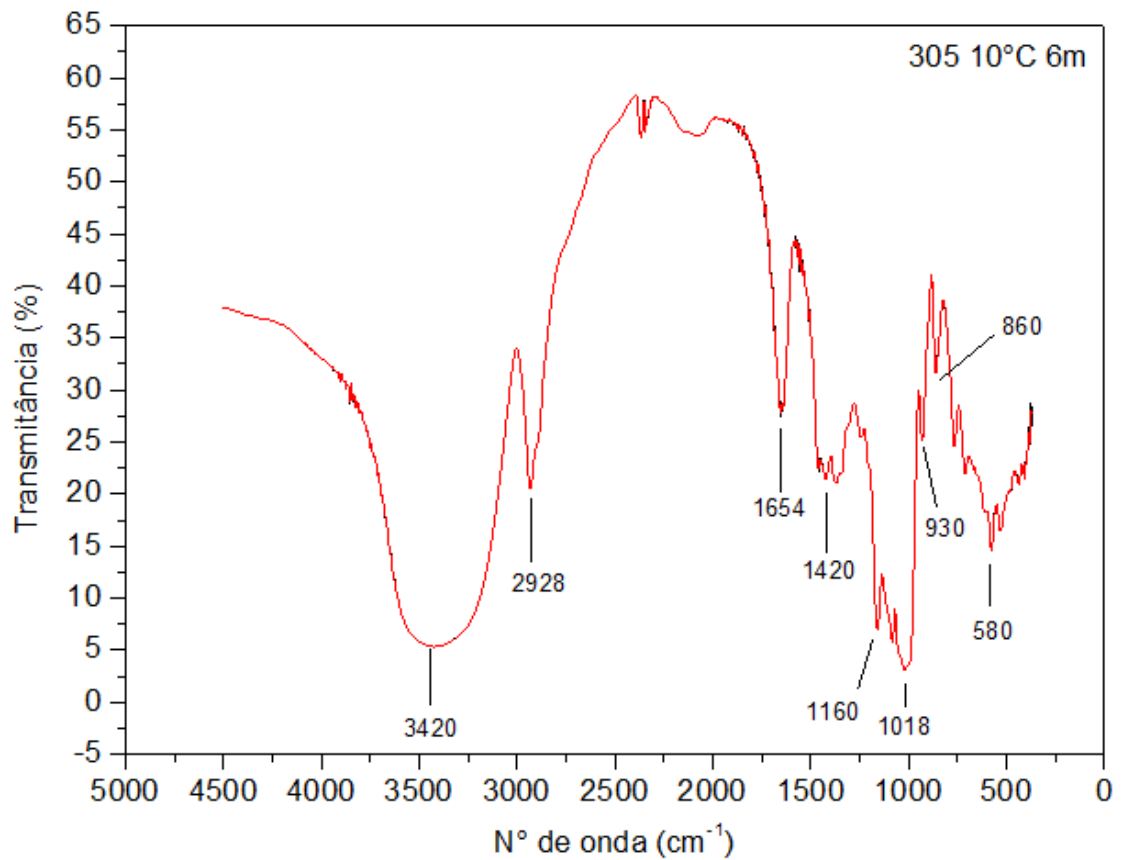
B.3 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 305/24 °C/3 meses



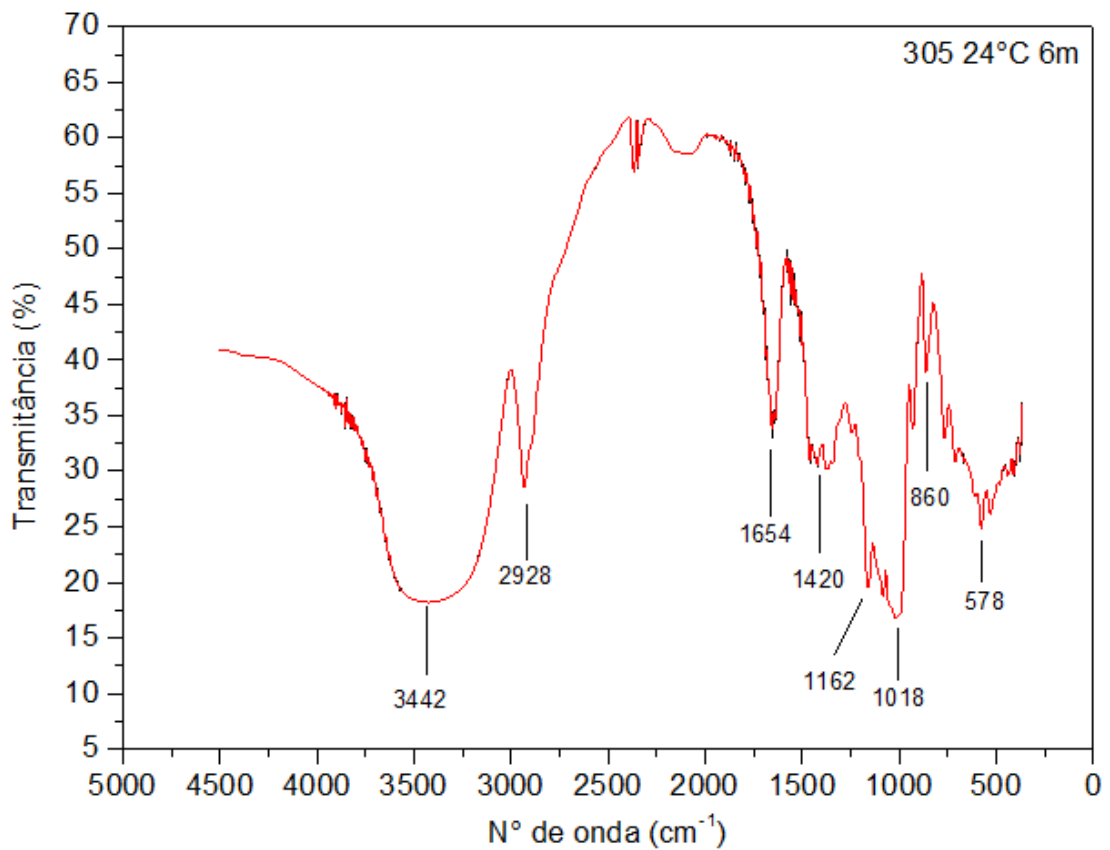
B.4 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 305/40 °C/3 meses



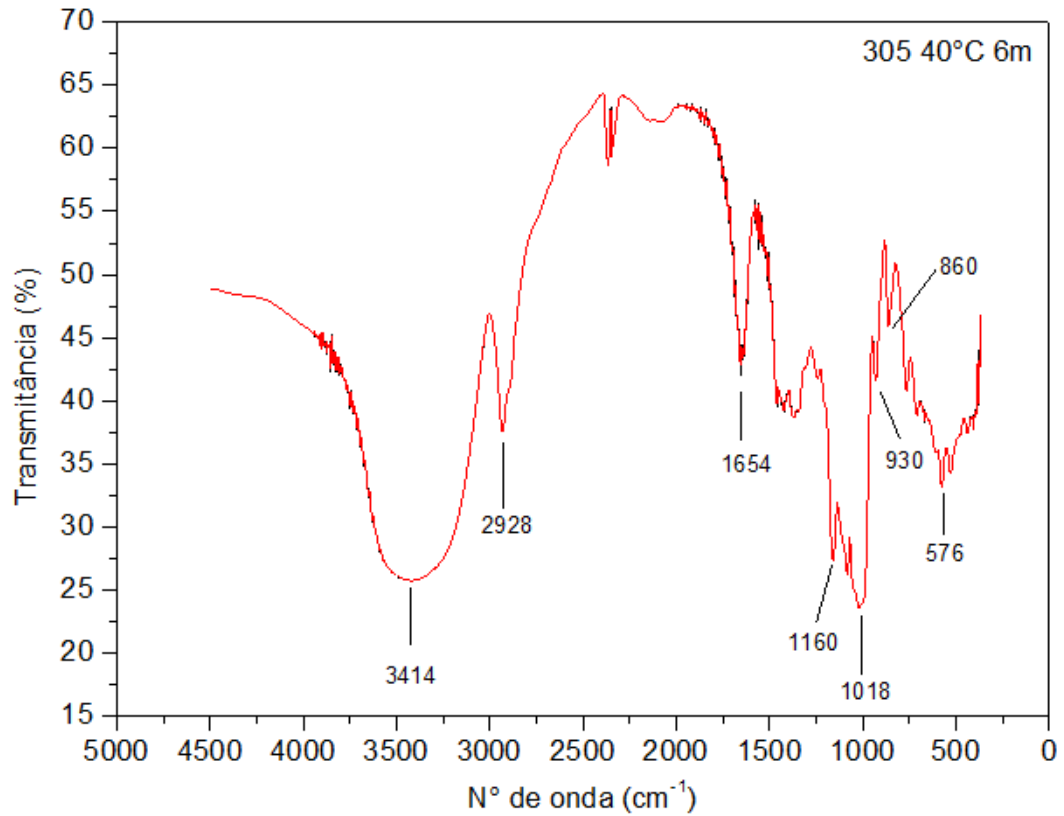
B.5 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 305/10 °C/6 meses



B.6 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 305/24 °C/6 meses

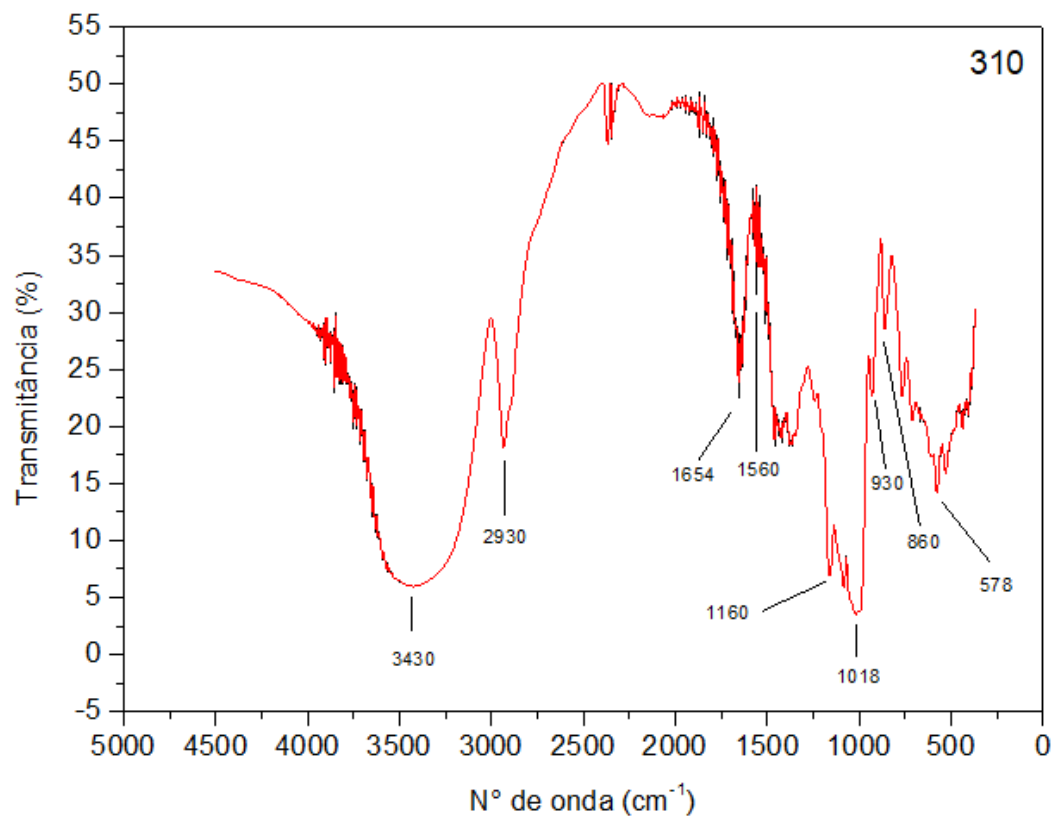


B.7 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 305/40 °C/6 meses

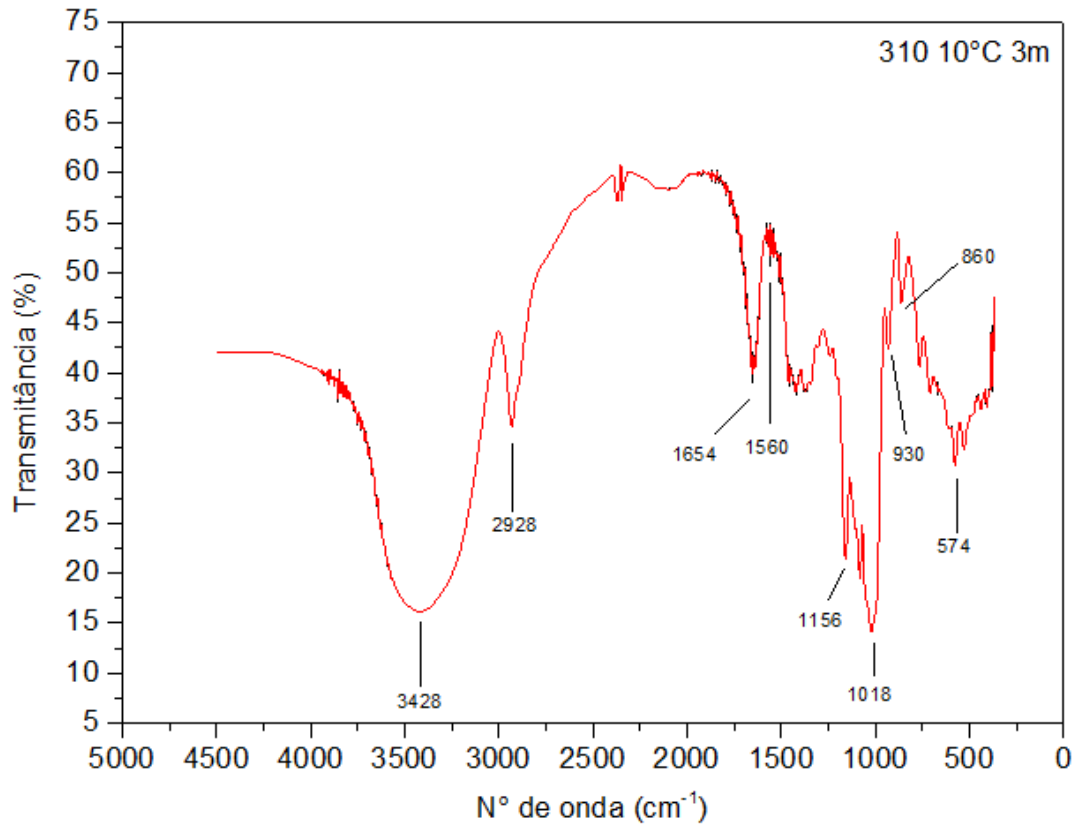


ANEXO C Espectros na região do infravermelho do amido de sorgo BRS 310

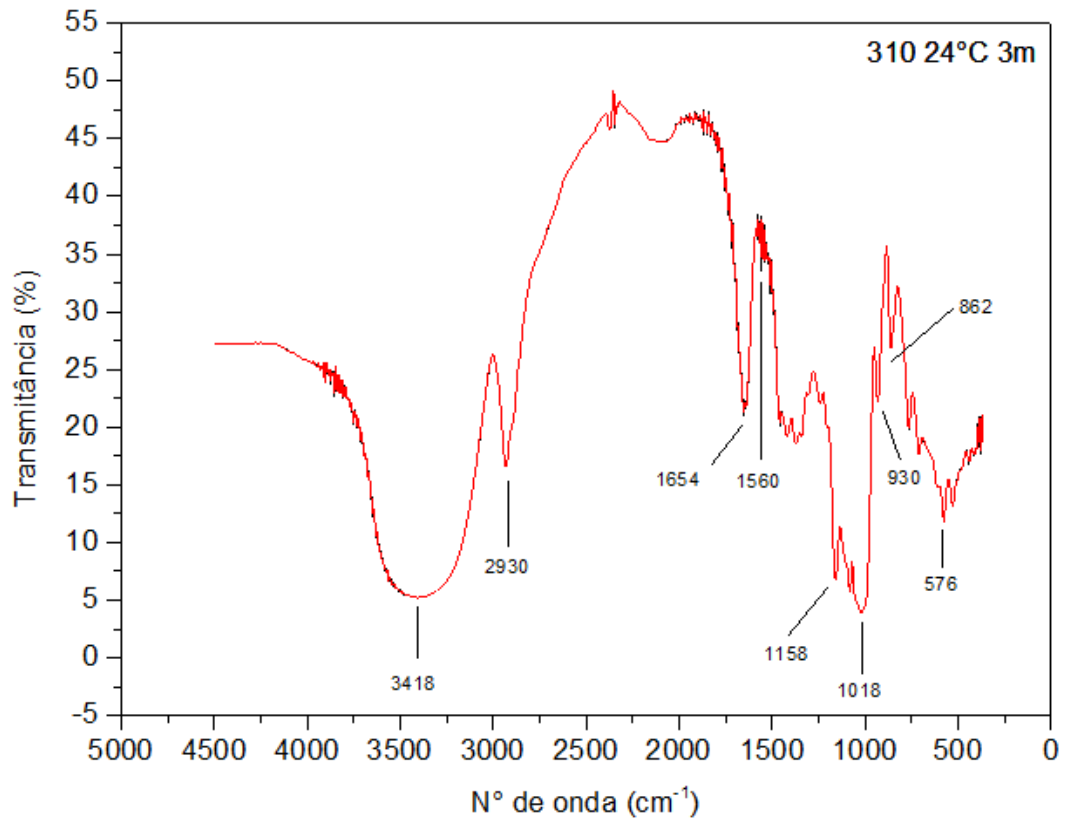
C.1 Espectro na região do infravermelho do amido de sorgo BRS 310 – Grupo Controle



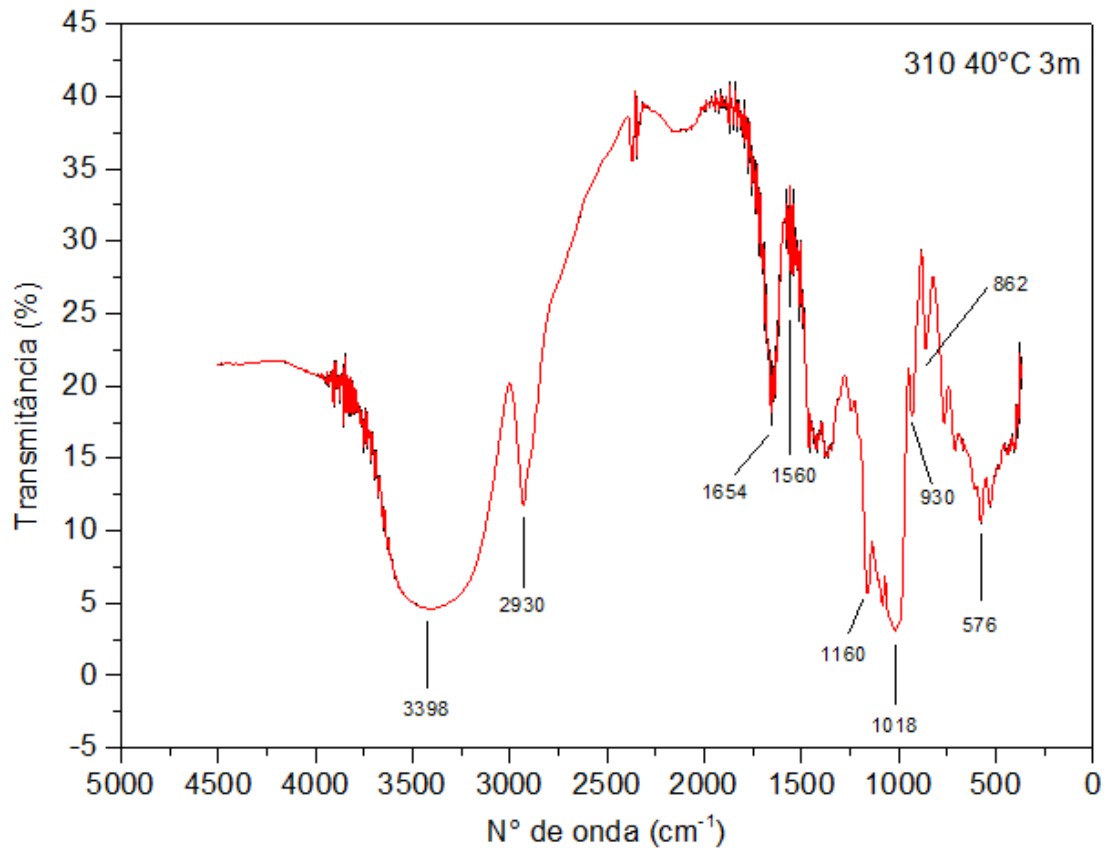
C.2 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 310/10 °C/3 meses



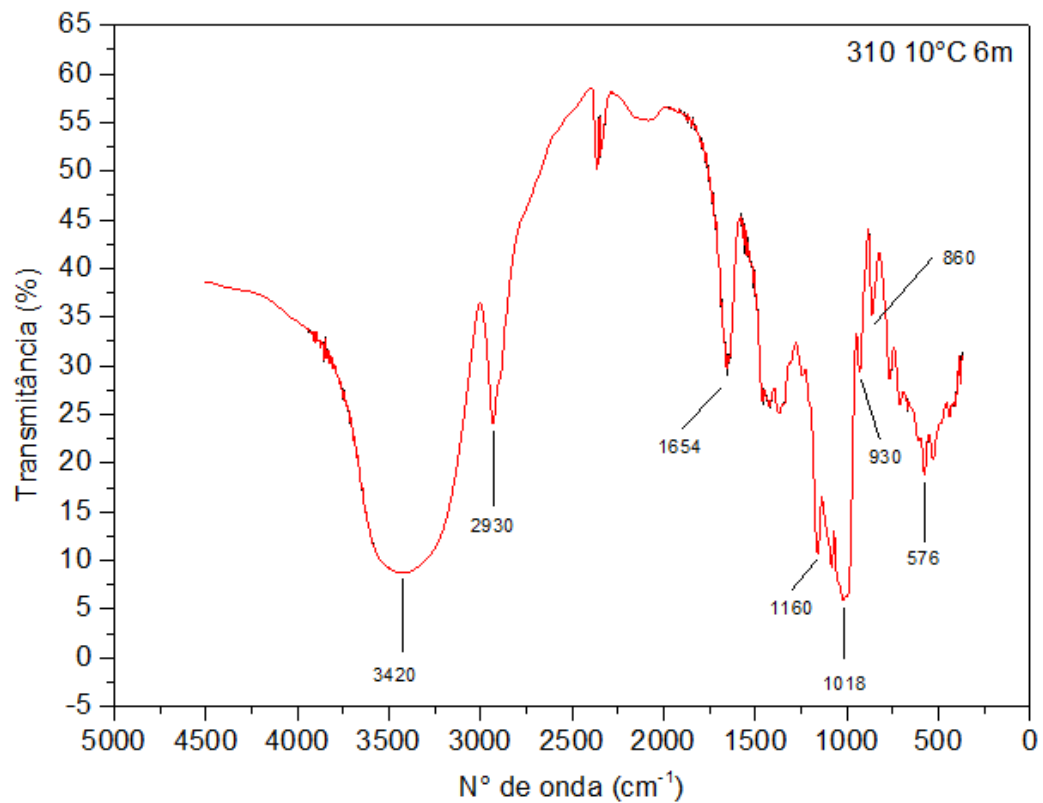
C.3 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 310/24 °C/3 meses



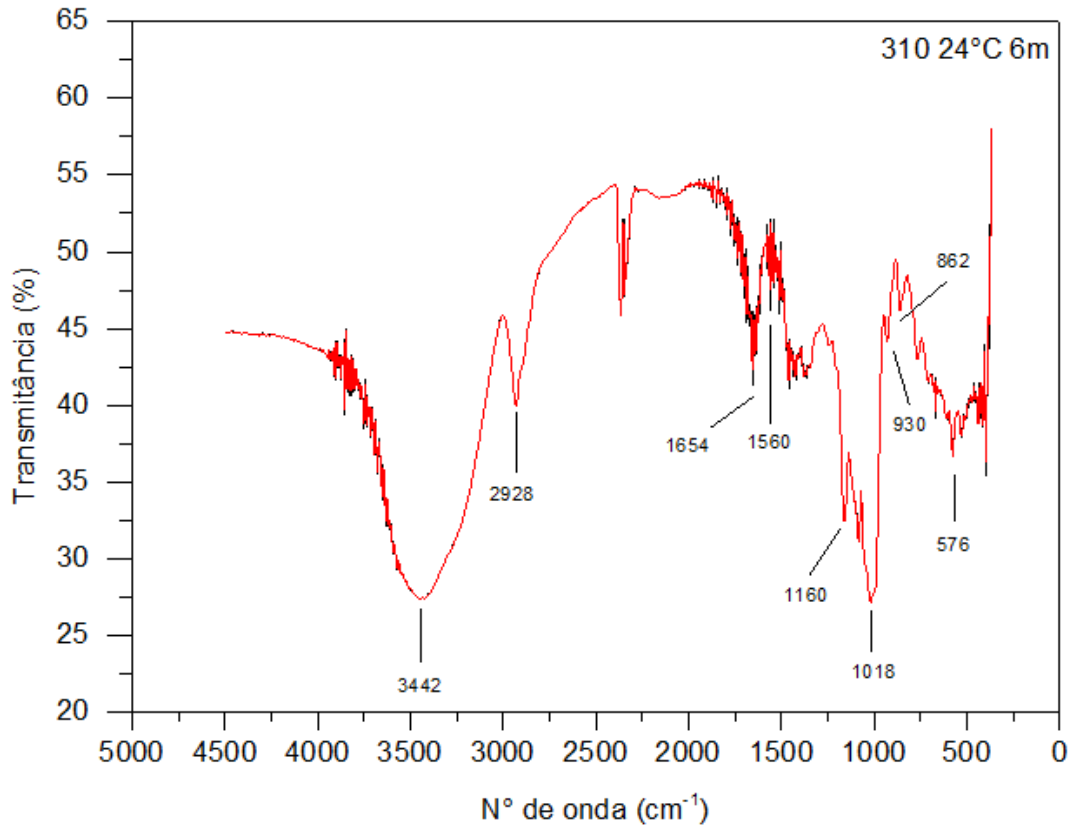
C.4 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 310/40 °C/3 meses



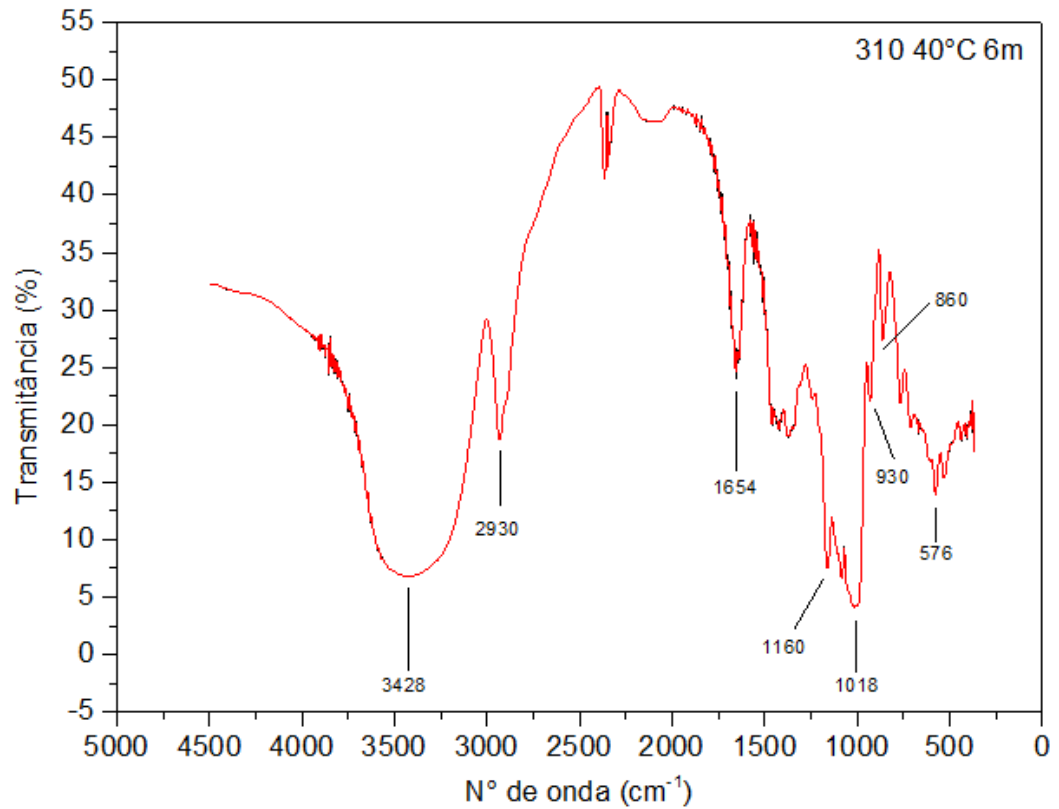
C.5 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 310/10 °C/6 meses



C.6 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 310/24 °C/6 meses

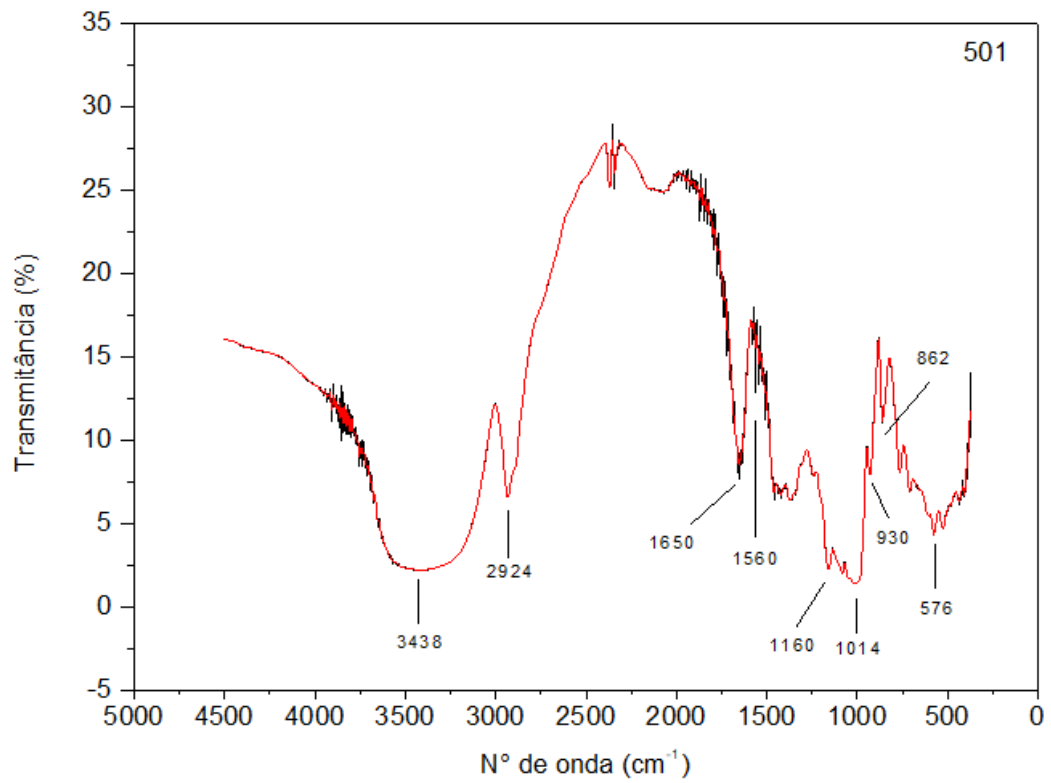


C.7 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BRS 310/40 °C/6 meses

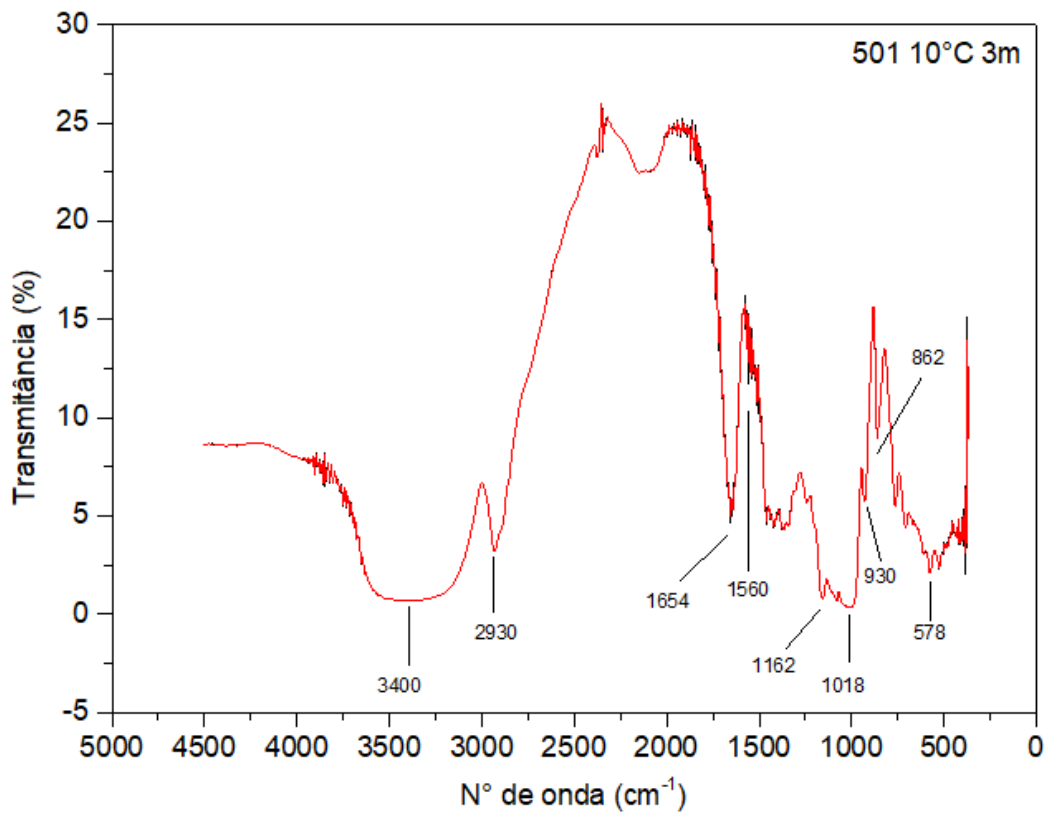


ANEXO D Espectros na região do infravermelho do amido de sorgo BR 501

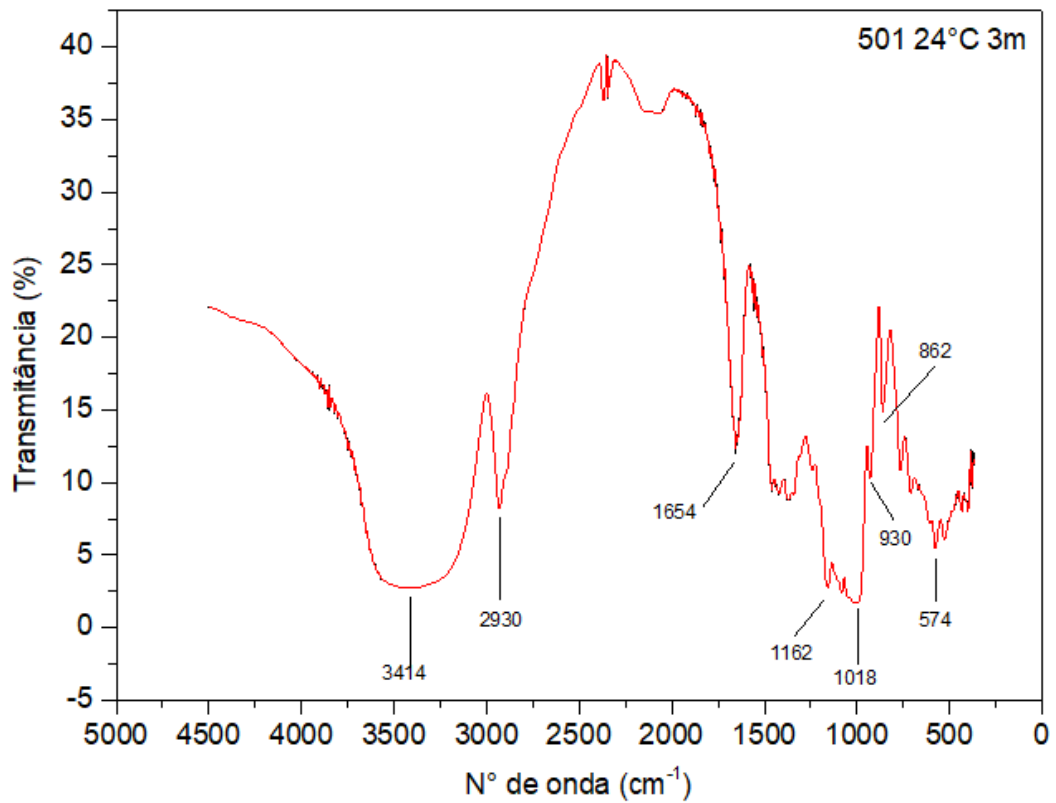
D.1 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BR 501 – Grupo Controle



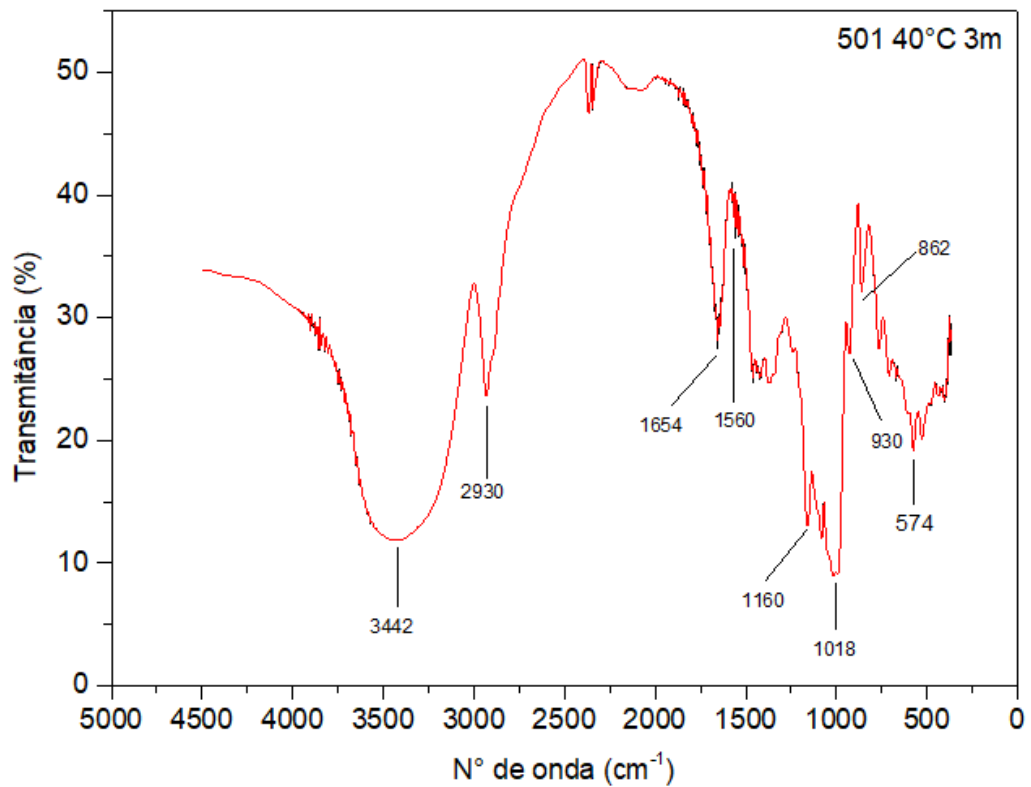
D.2 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BR 501/10 °C/3 meses



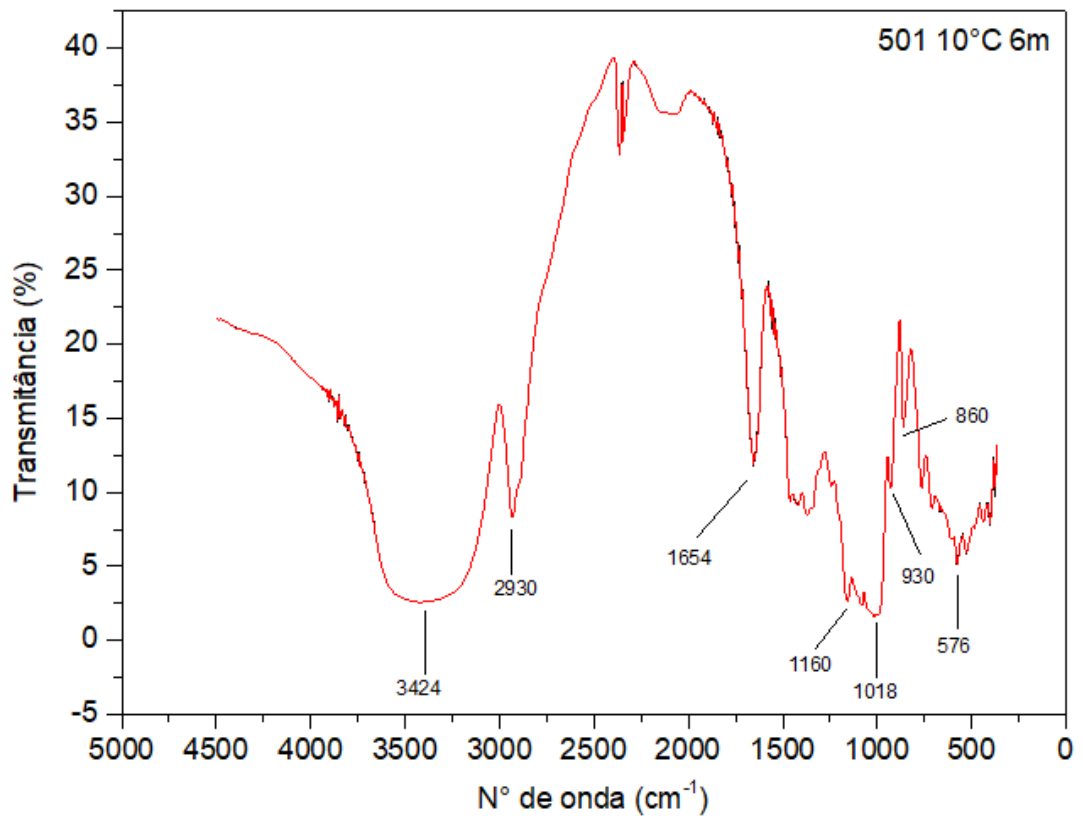
D.3 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BR 501/24 °C/3 meses



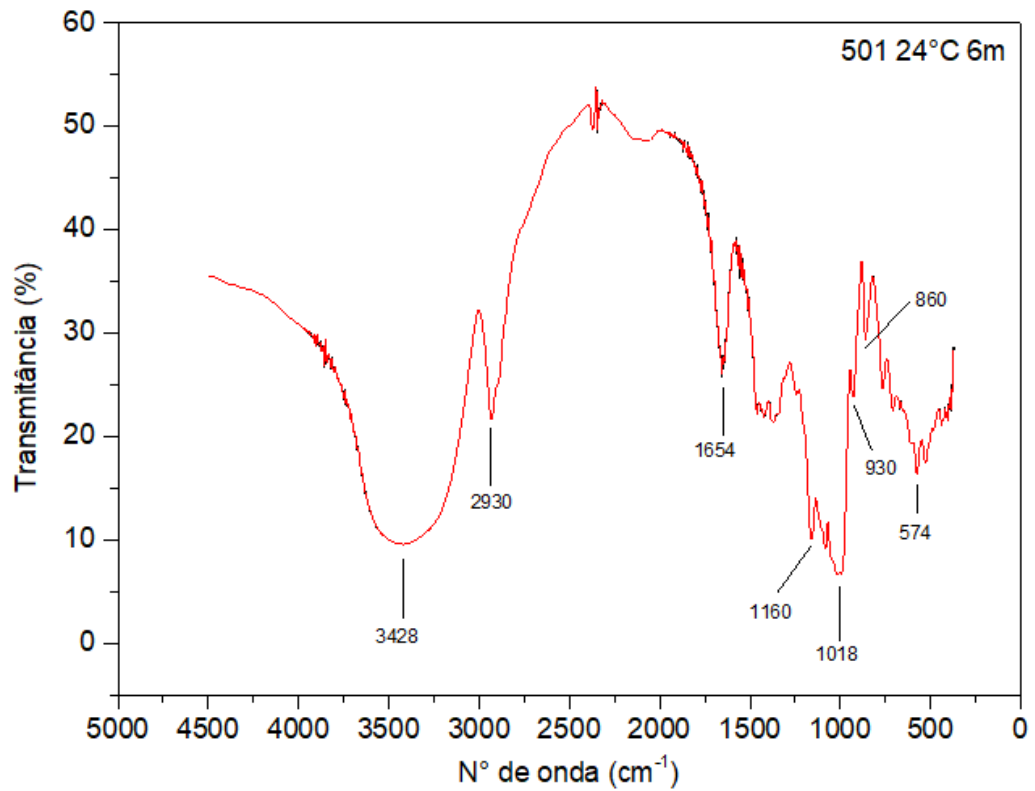
D.4 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BR 501/40 °C/3 meses



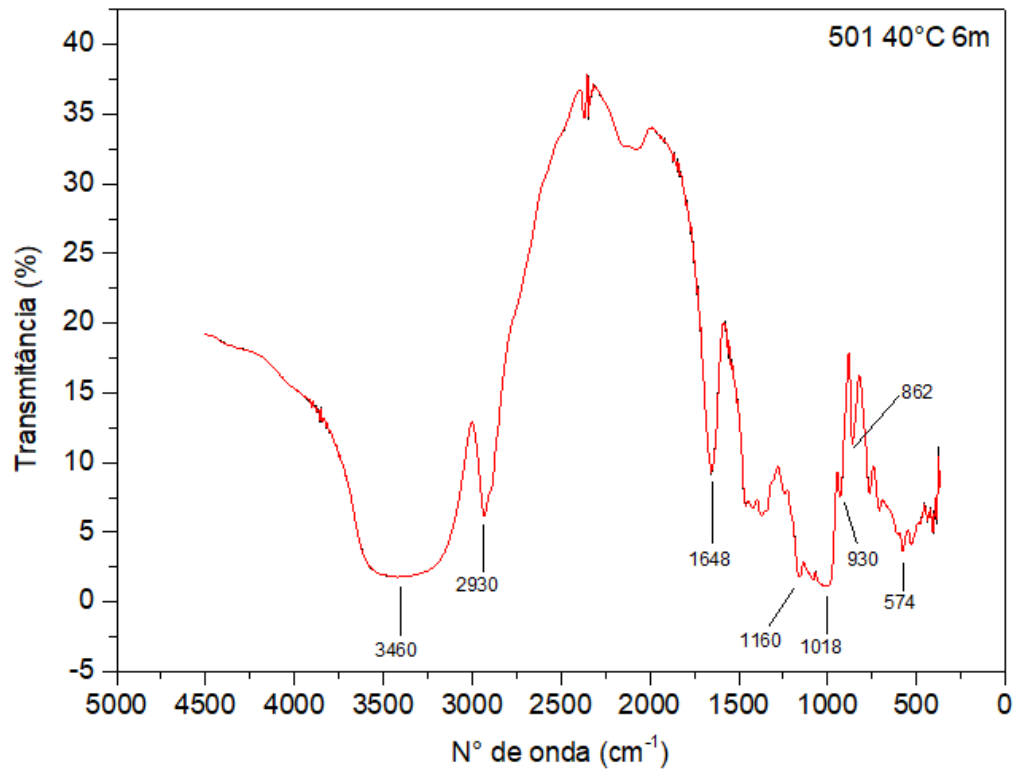
D.5 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BR 501/10 °C/6 meses



D.6 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BR 501/24 °C/6 meses

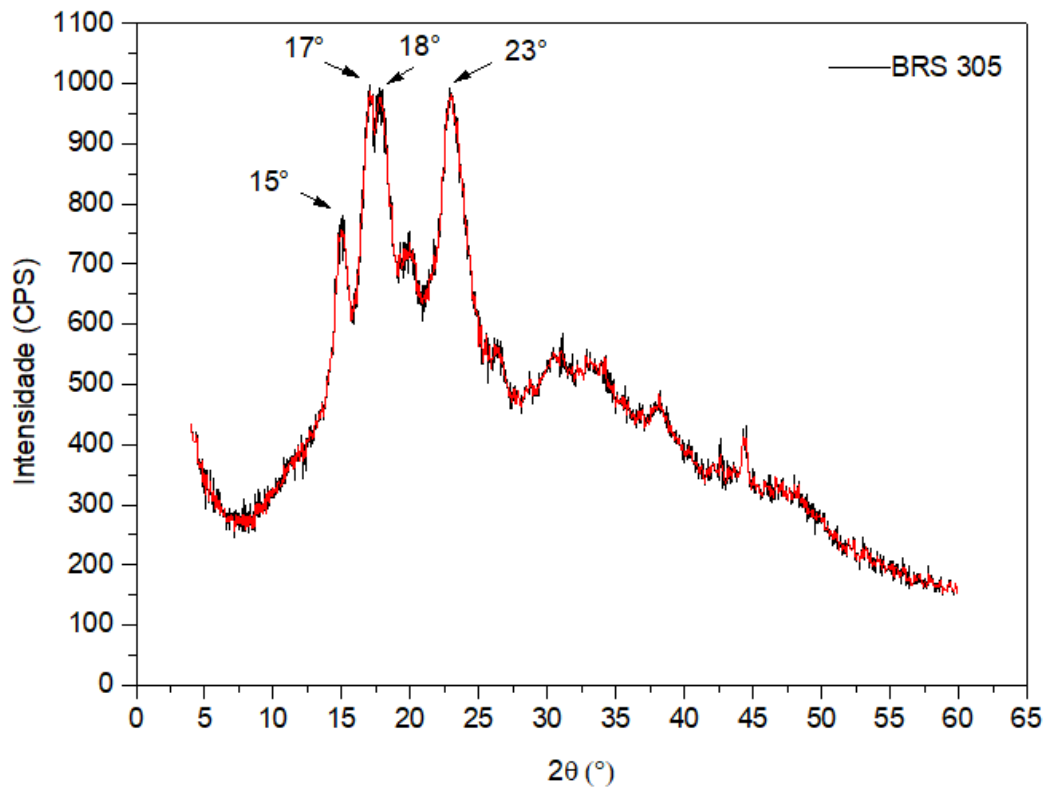


D.7 Espectro na região do infravermelho do amido do sorgo BR 501/40 °C/6 meses

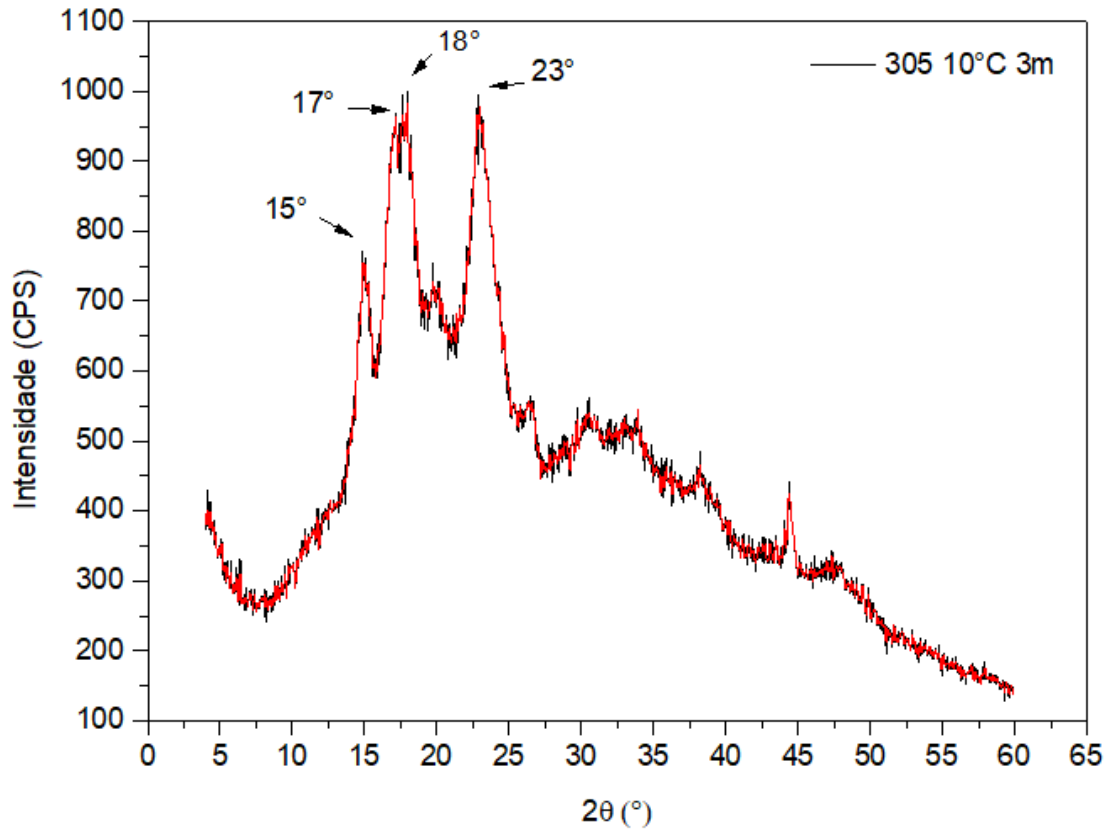


ANEXO E Difratomogramas de Raios X do amido de sorgo BRS 305

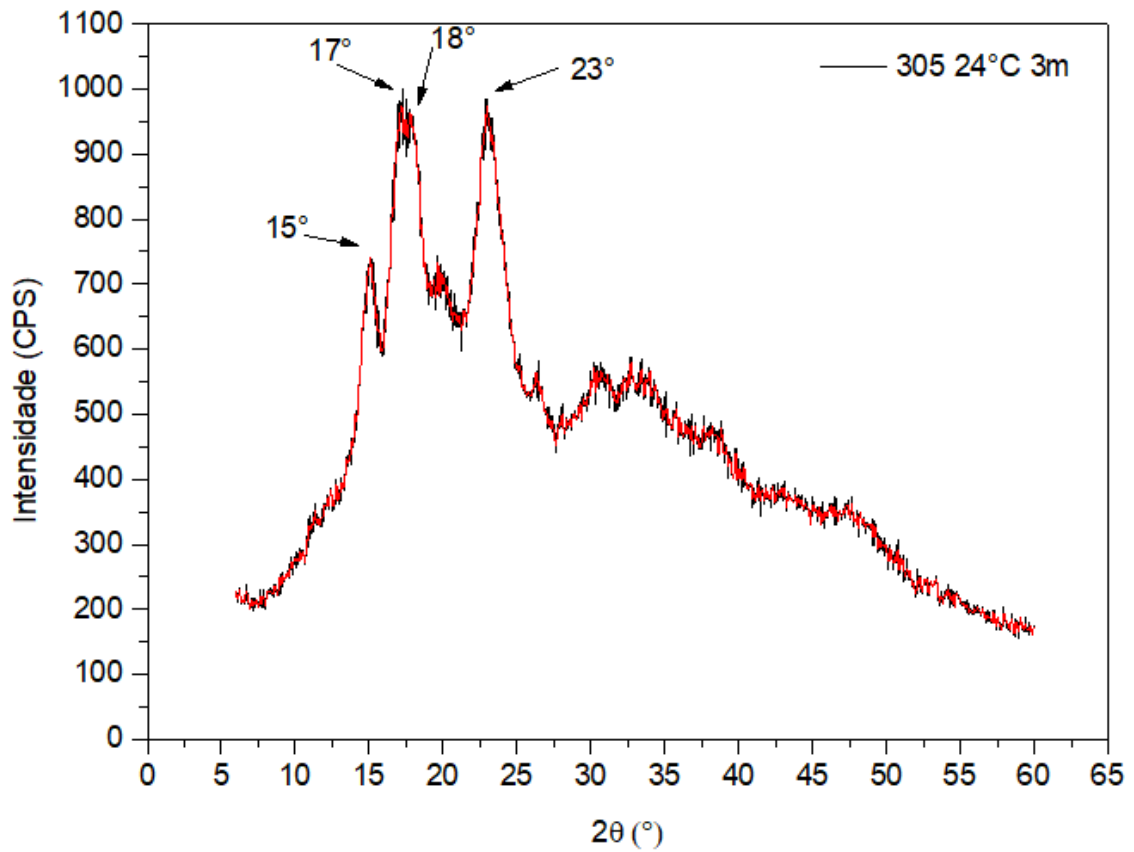
E.1 Difrátograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 305 – Grupo Controle



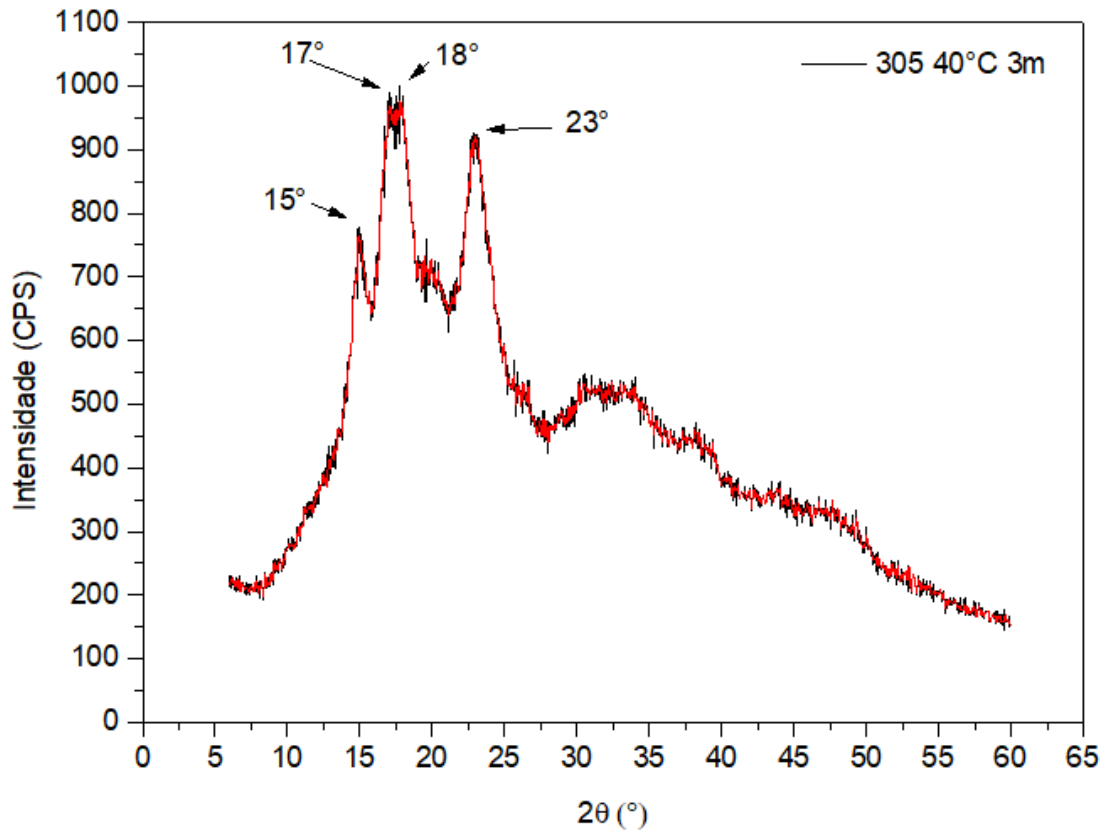
E.2 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 305/10 °C/3 meses



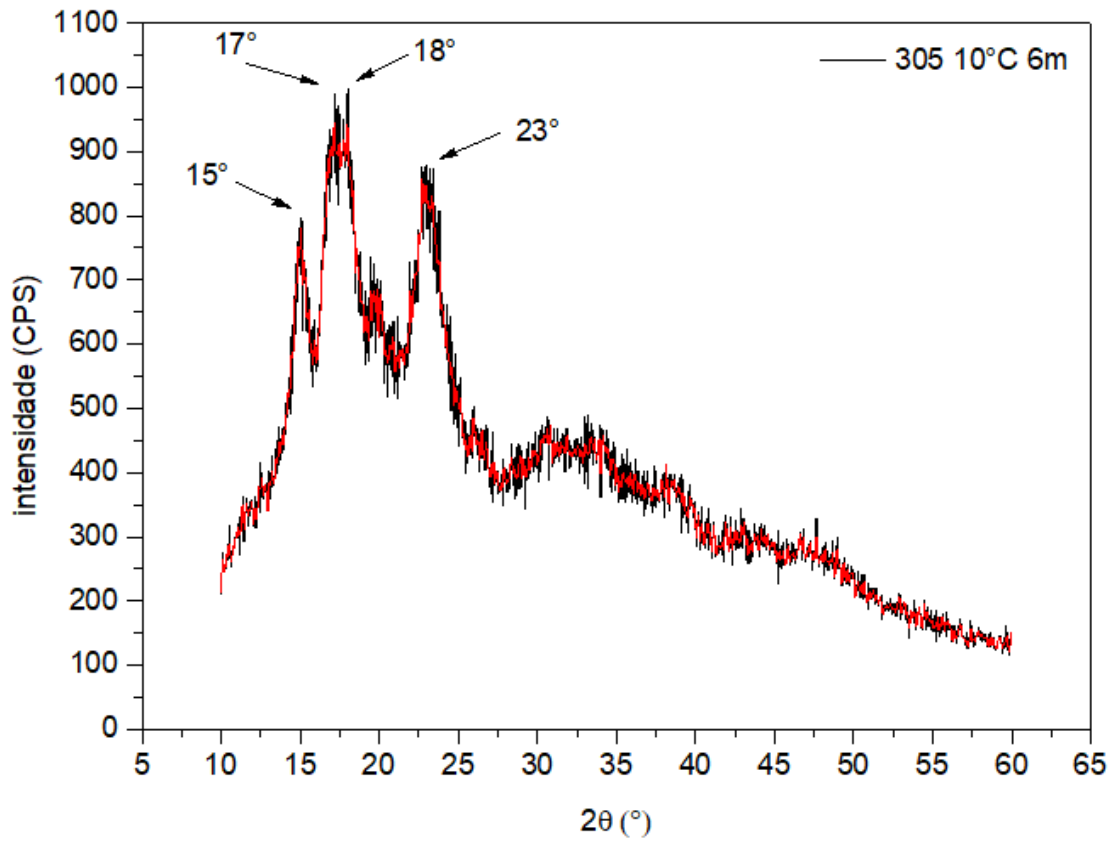
E.3 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 305/24 °C/3 meses



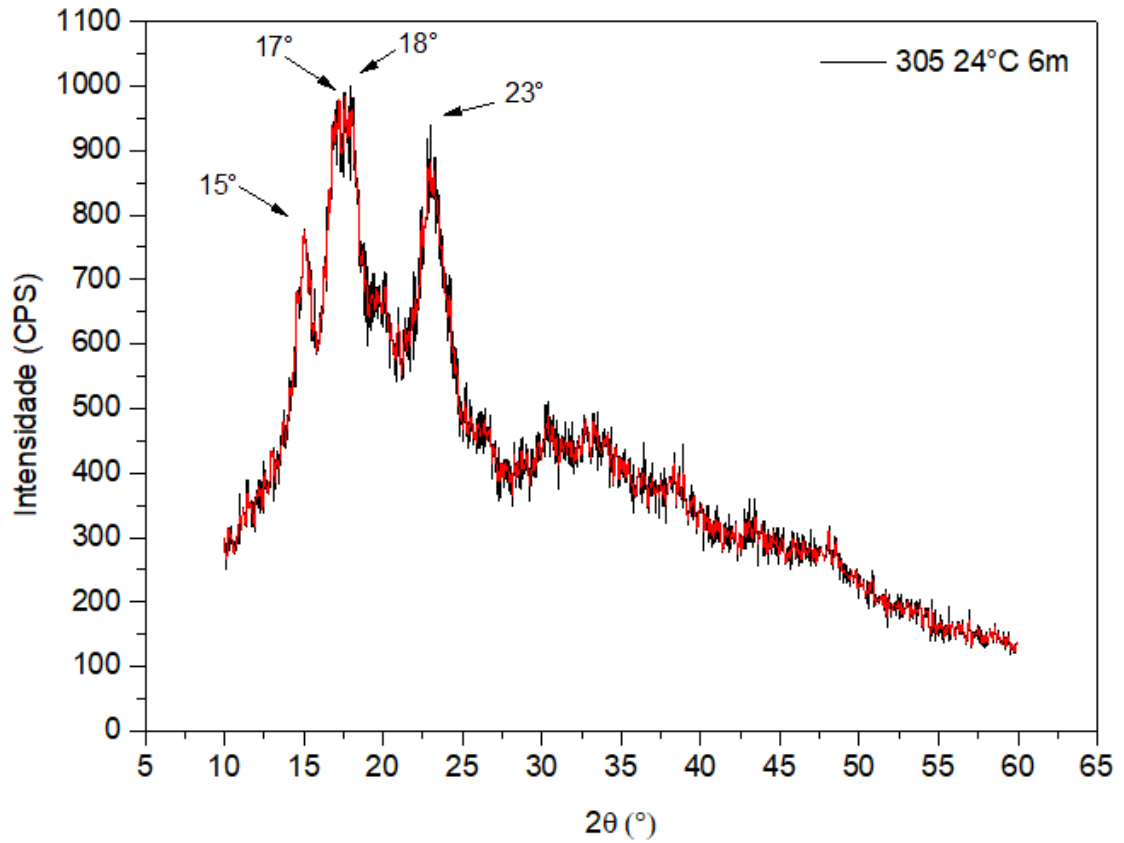
E.4 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 305/40 °C/3 meses



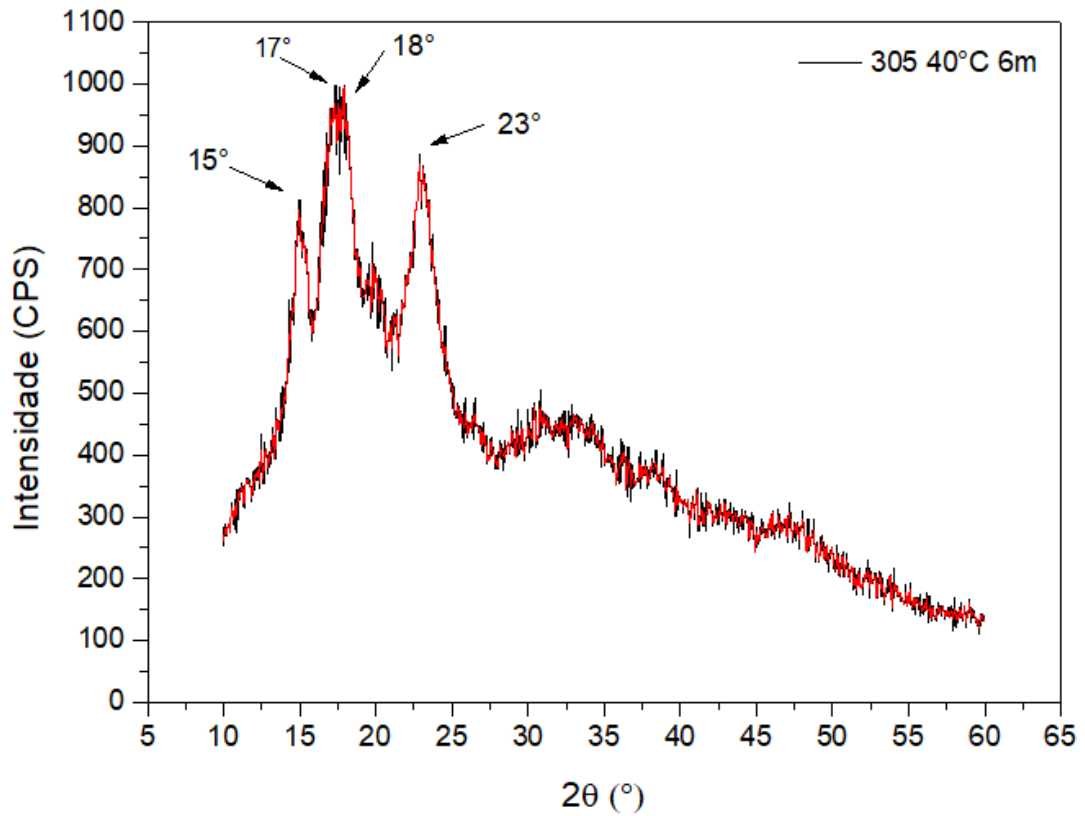
E.5 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 305/10 °C/6 meses



E.6 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 305/24 °C/6 meses

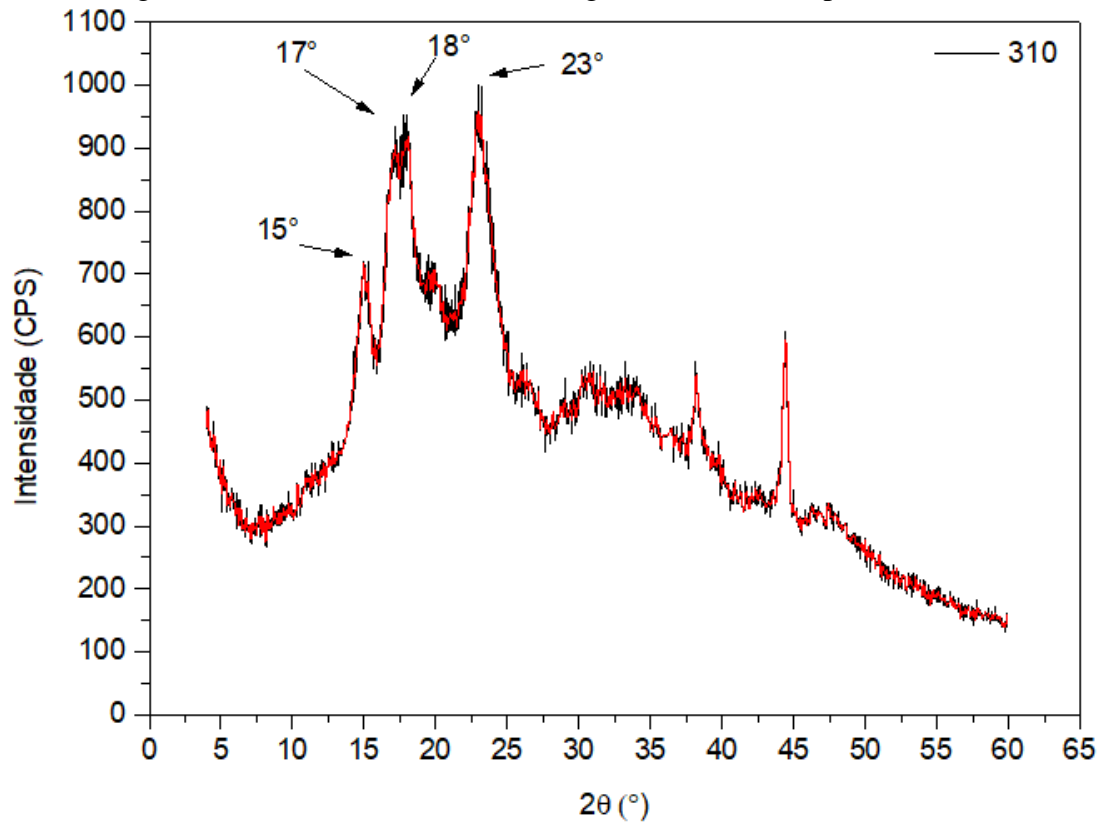


E.7 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 305/40 °C/6 meses

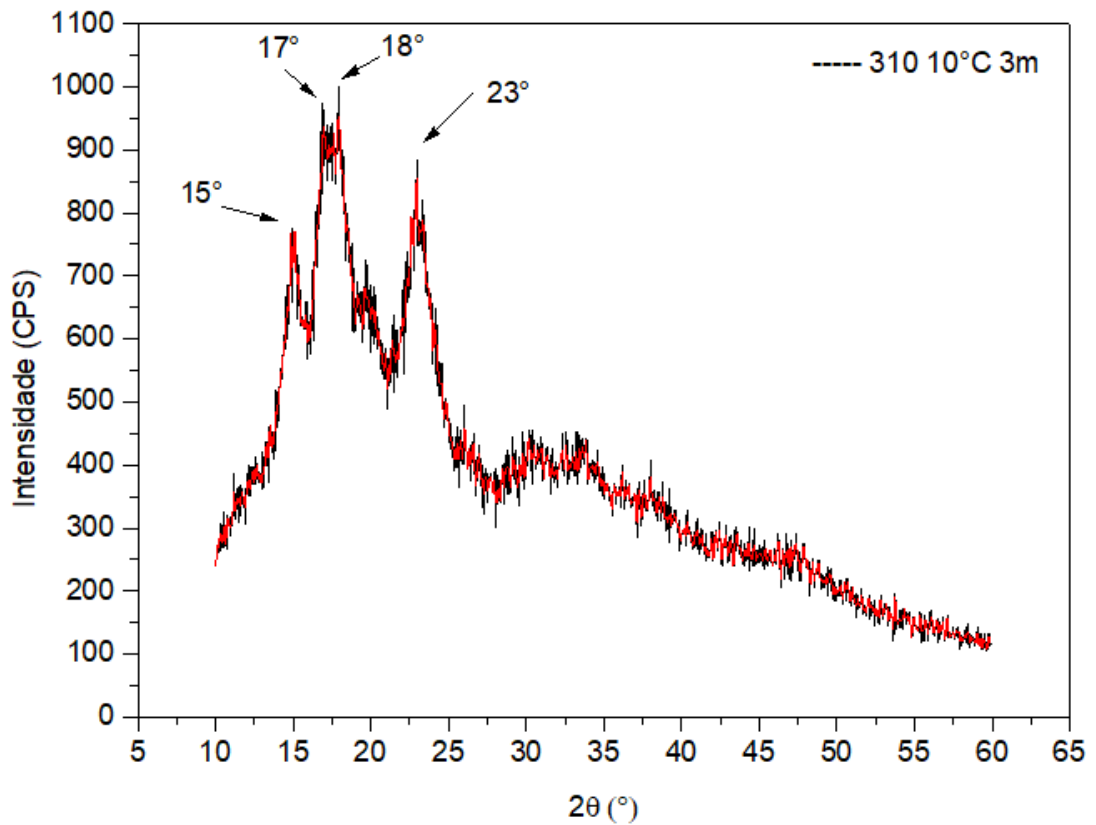


ANEXO F Difratomogramas de Raios X do amido de sorgo BRS 310

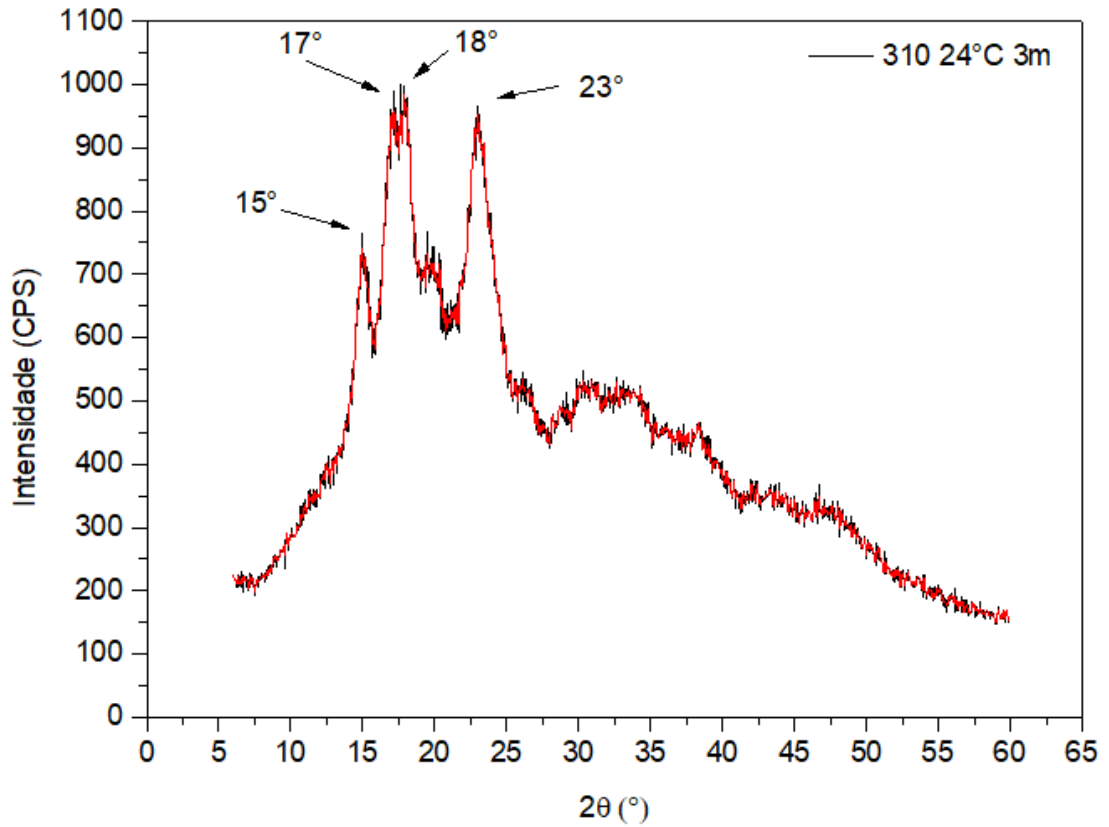
F.1 Difrátograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 310 – Grupo Controle



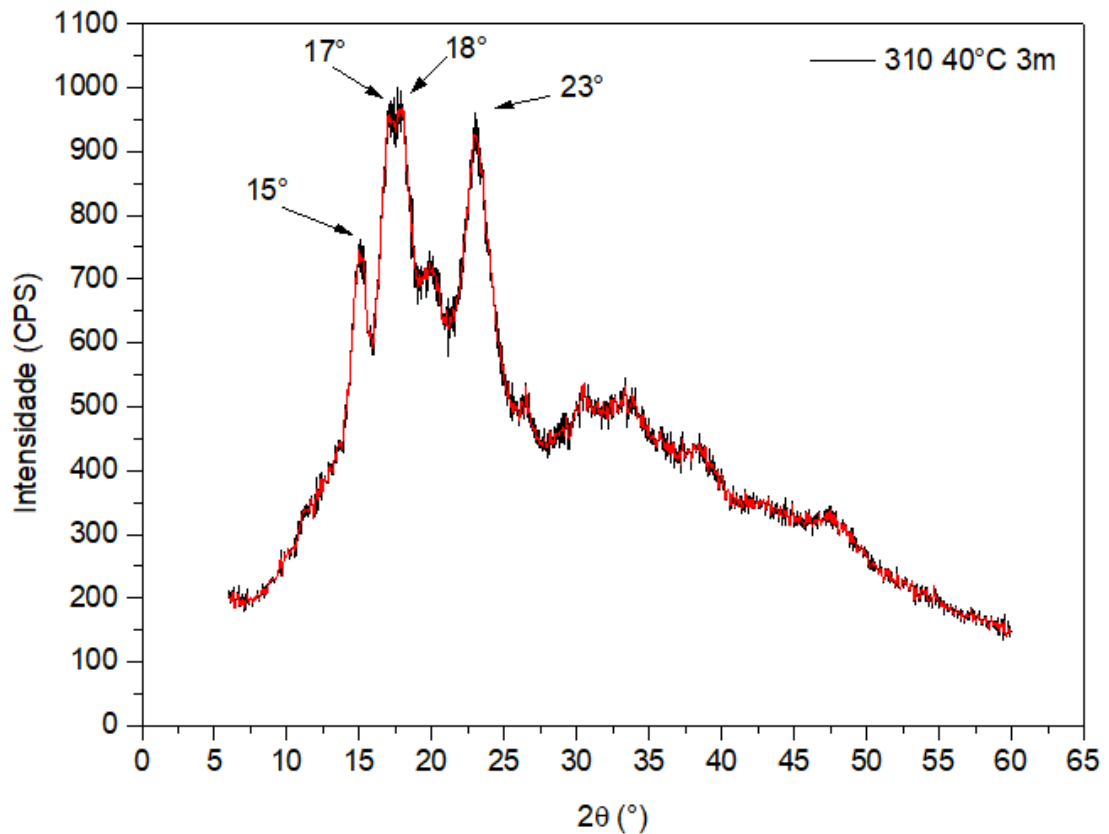
F.2 Difrátograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 310/10 °C/3 meses



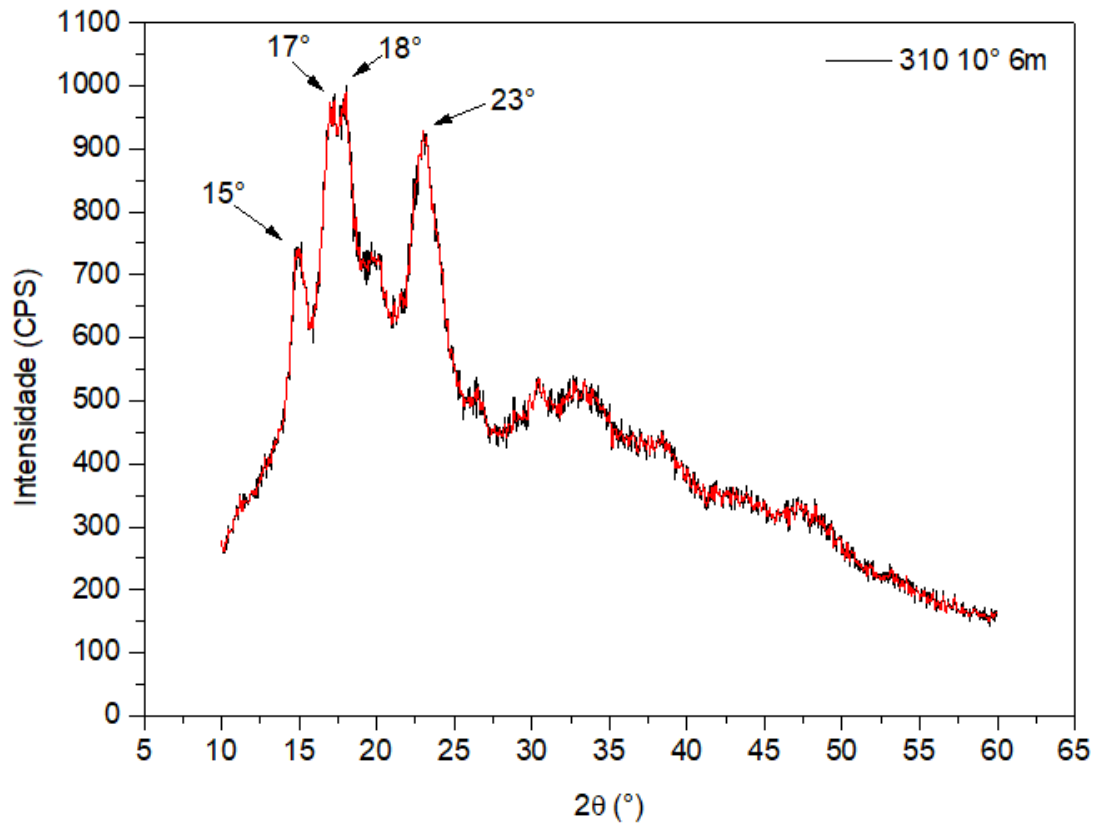
F.3 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 310/24 °C/3 meses



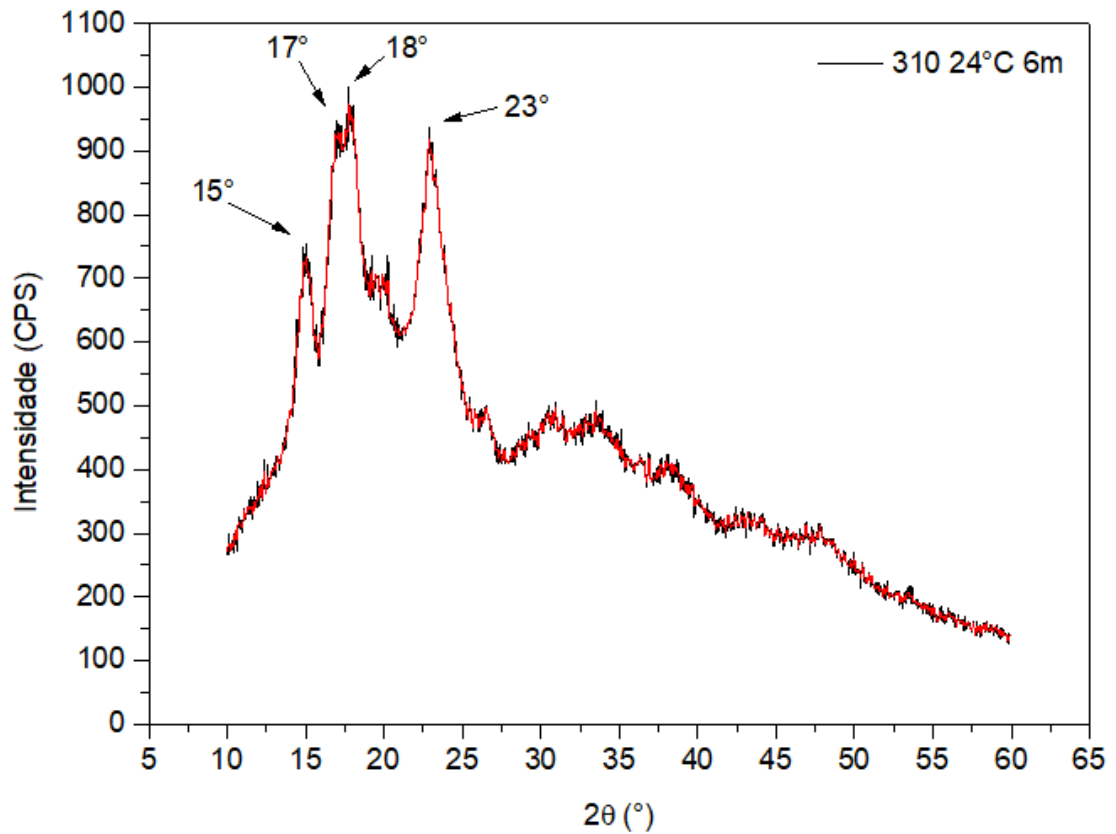
F.4 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 310/40 °C/3 meses



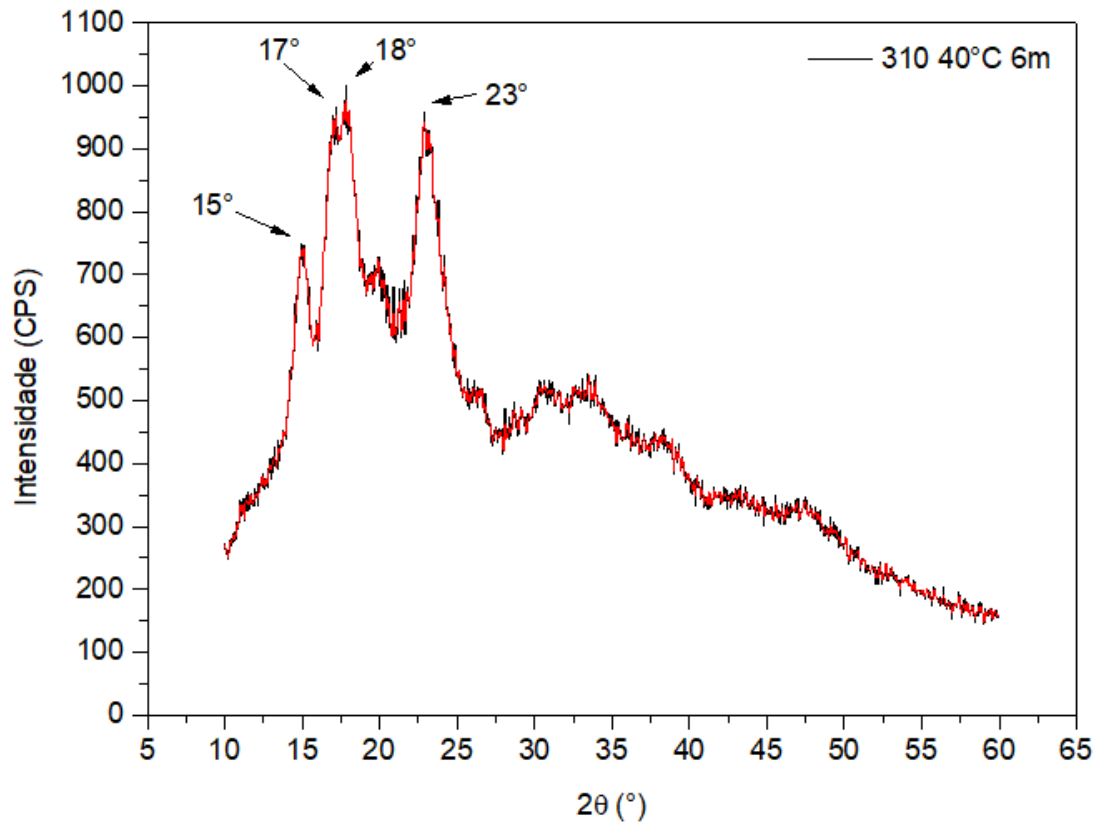
F.5 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 310/10 °C/6 meses



F.6 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 310/24 °C/6 meses

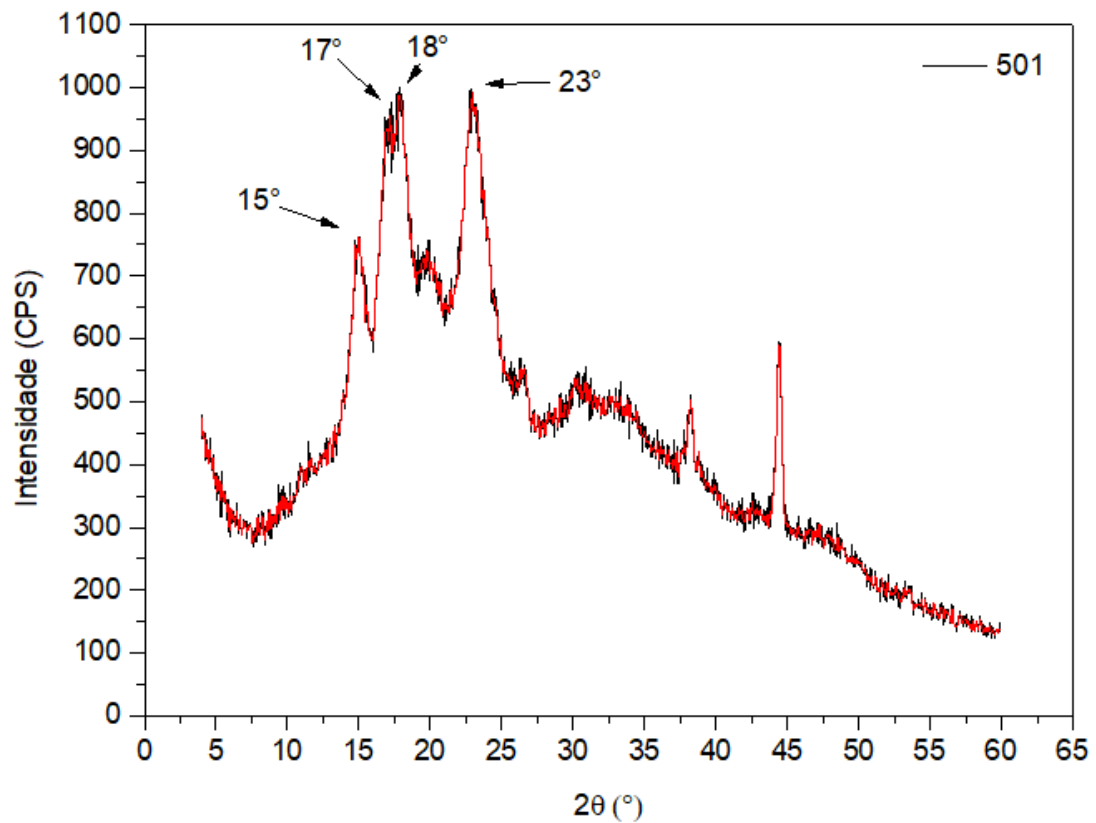


F.7 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BRS 310/40 °C/6 meses

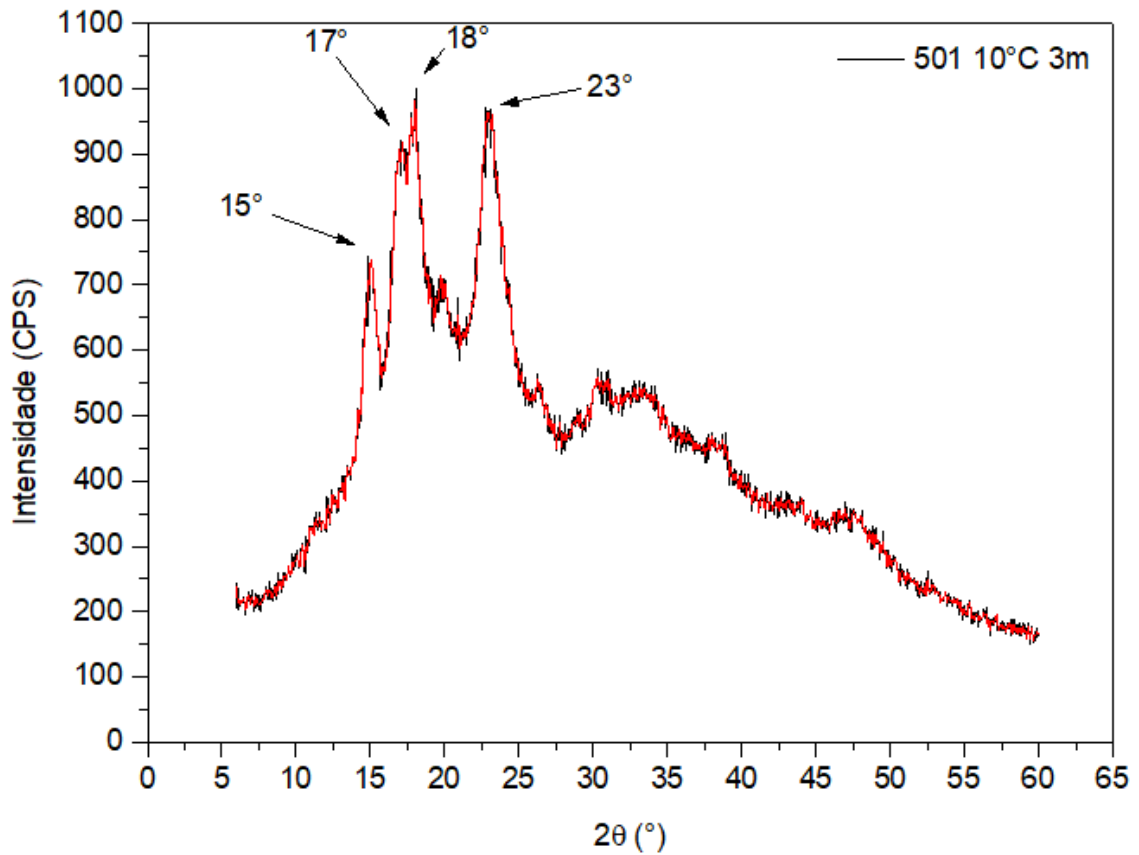


ANEXO G Difratoogramas de Raios X do amido de sorgo BR 501

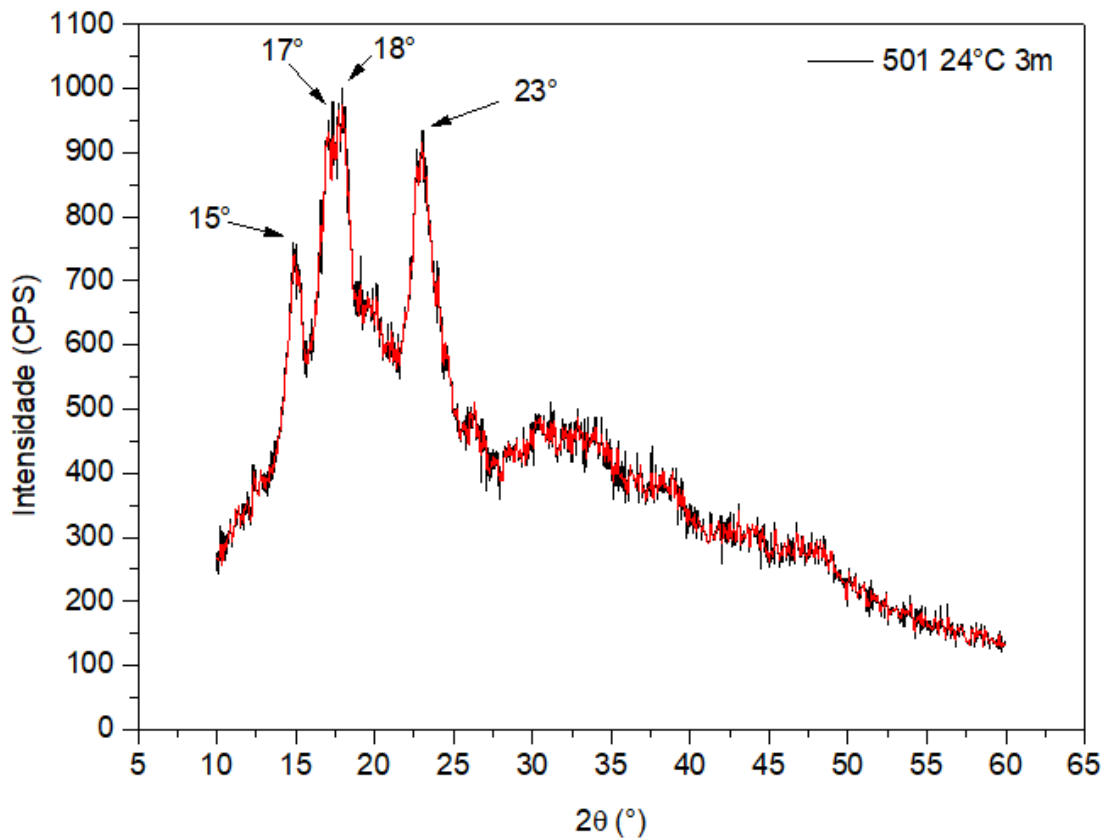
G.1 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BR 501 – Grupo Controle



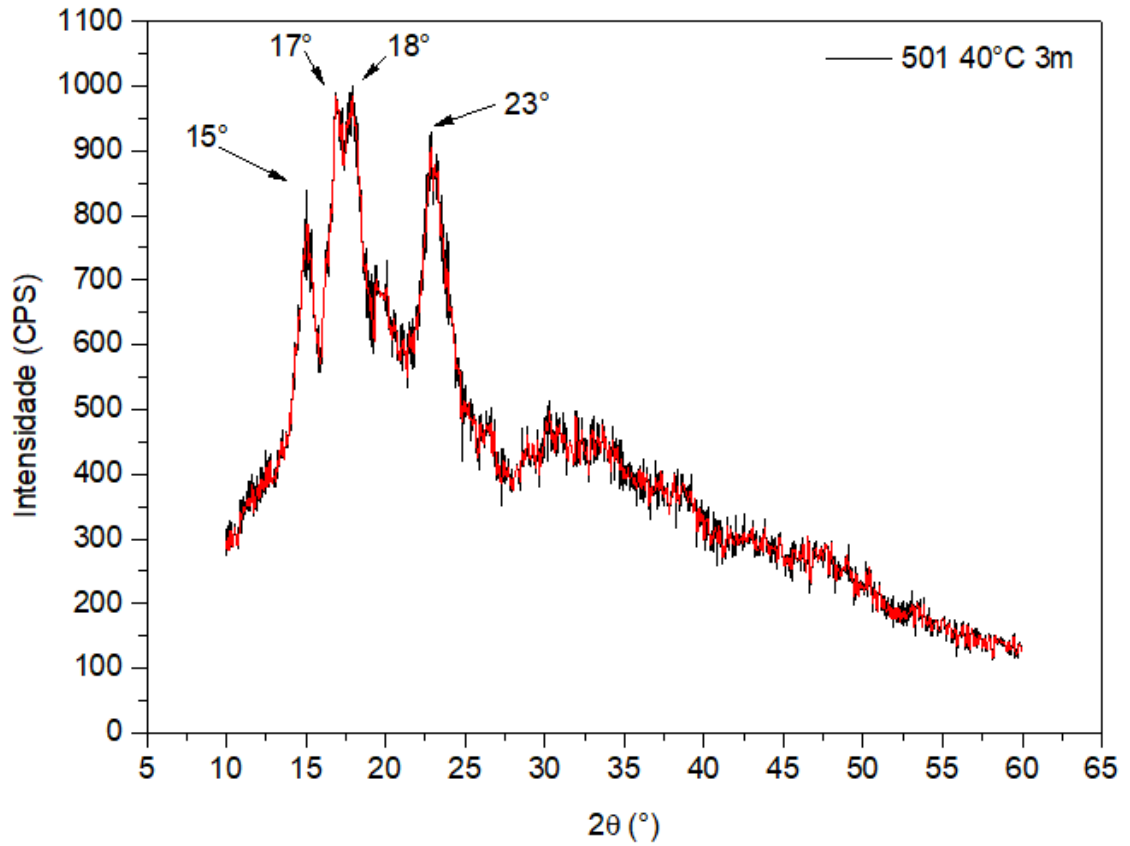
G.2 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BR 501/10 °C/3 meses



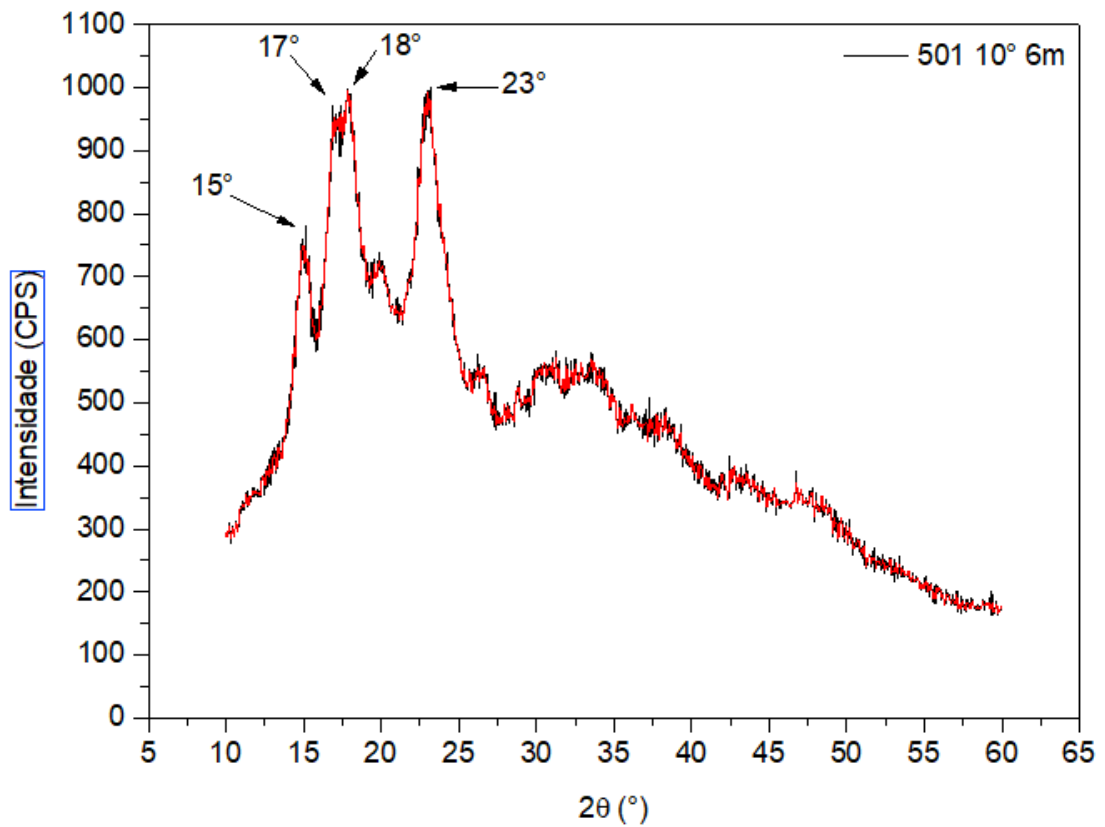
G.3 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BR 501/24 °C/3 meses



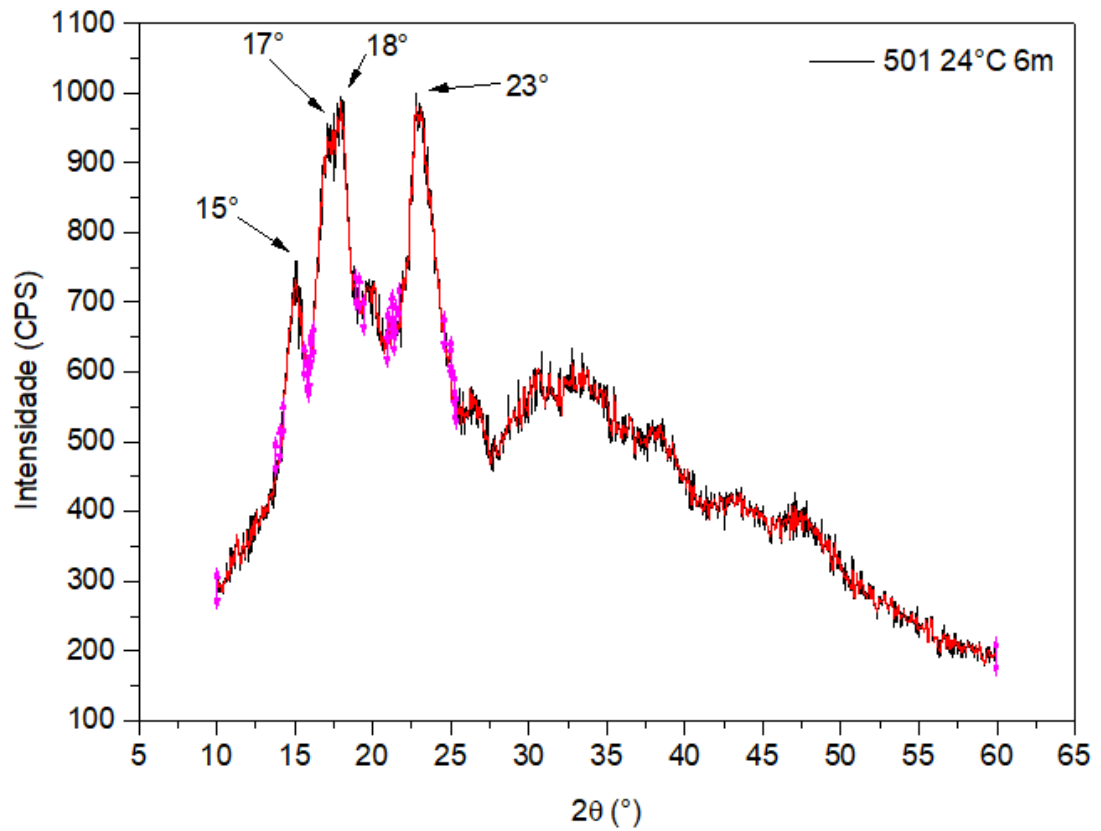
G.4 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BR 501/40 °C/3 meses



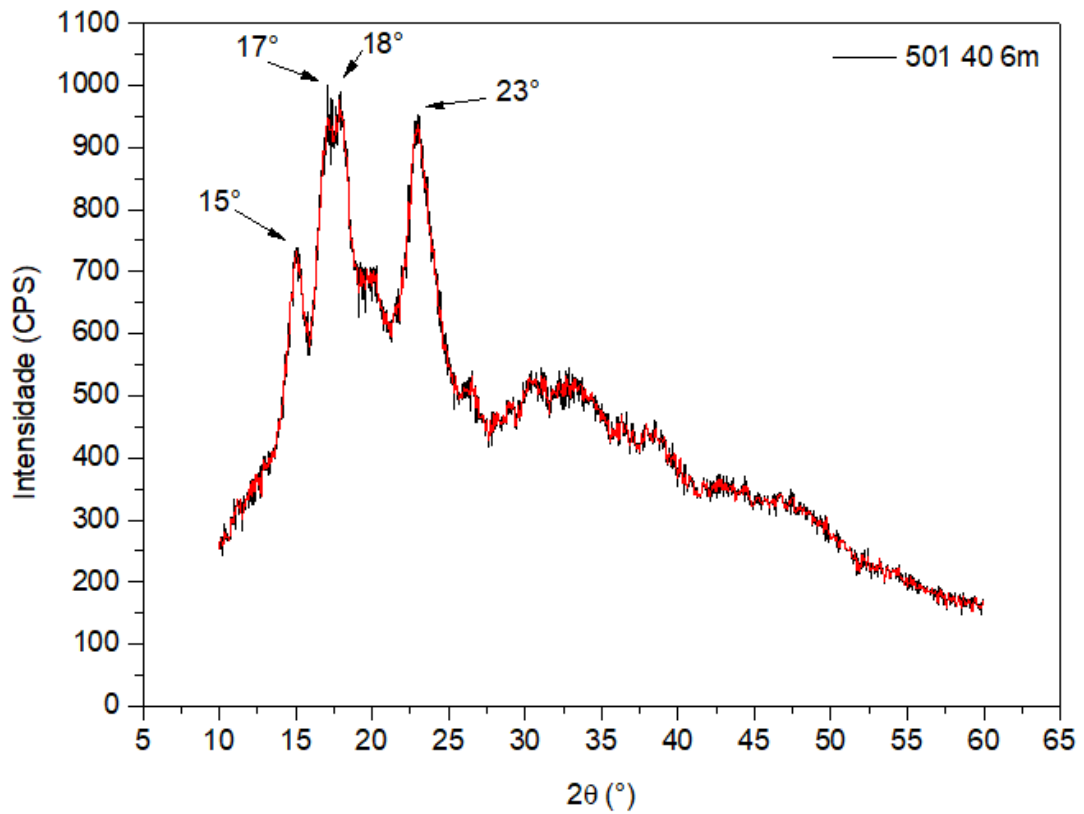
G.5 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BR 501/10 °C/6 meses



G.6 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BR 501/24 °C/6 meses

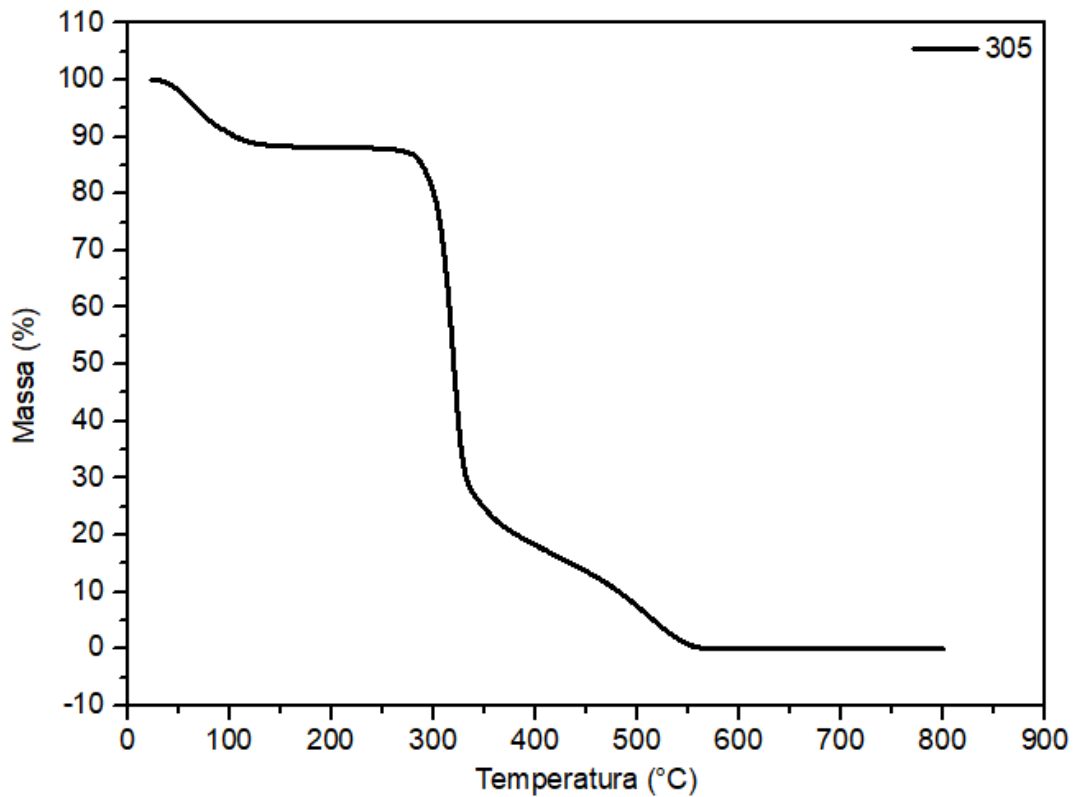


G.7 Difratoograma de Raios-X do amido do sorgo BR 501/40 °C/6 meses

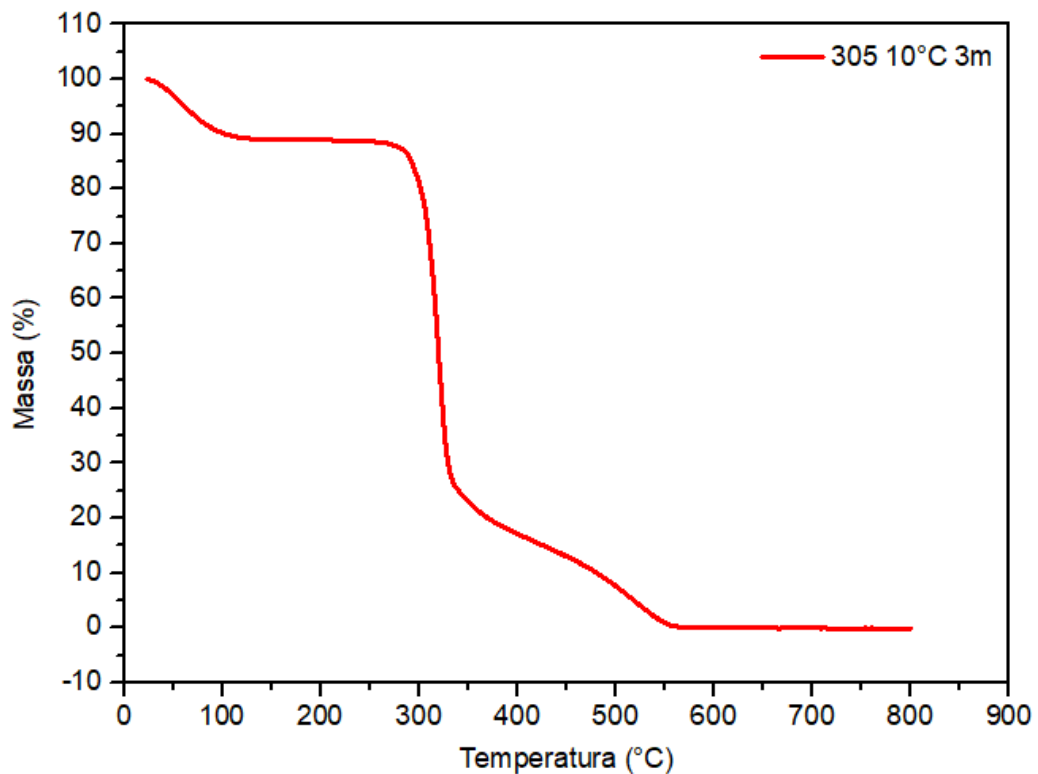


ANEXO H Curvas termogravimétricas do amido de sorgo BRS 305

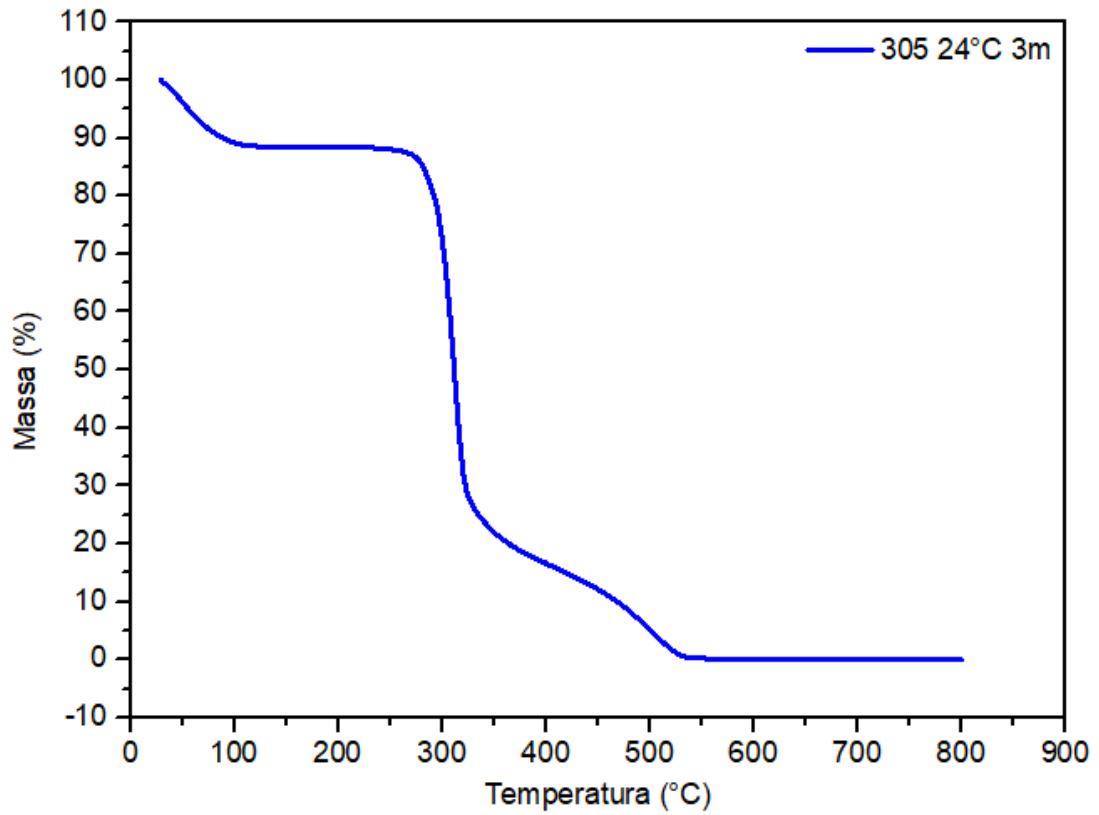
H.1 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 305 – Grupo Controle



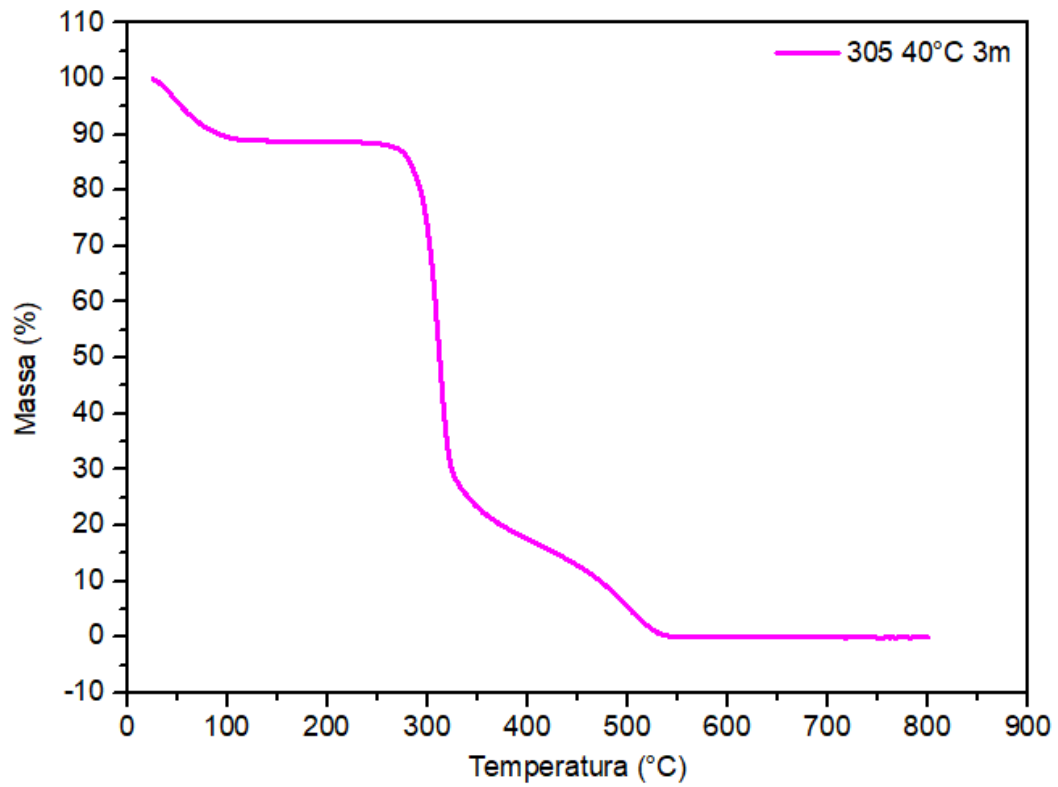
H.2 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 305/10 °C/3 meses



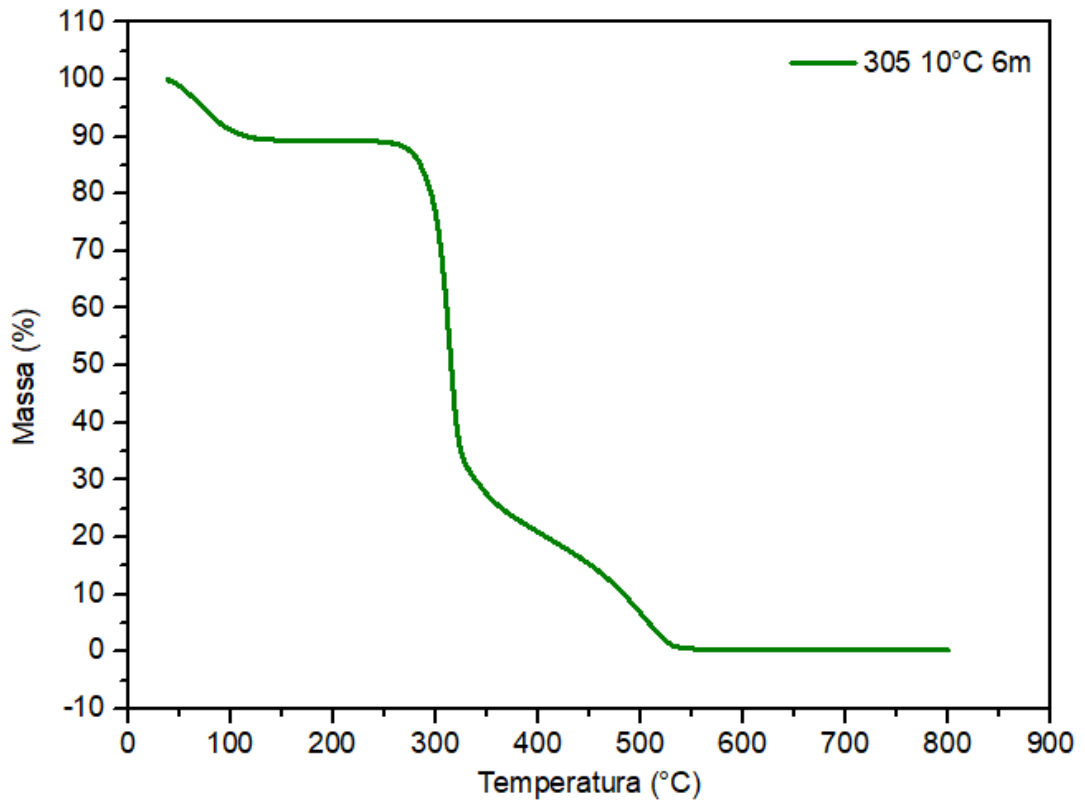
H.3 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 305/24 °C/3 meses



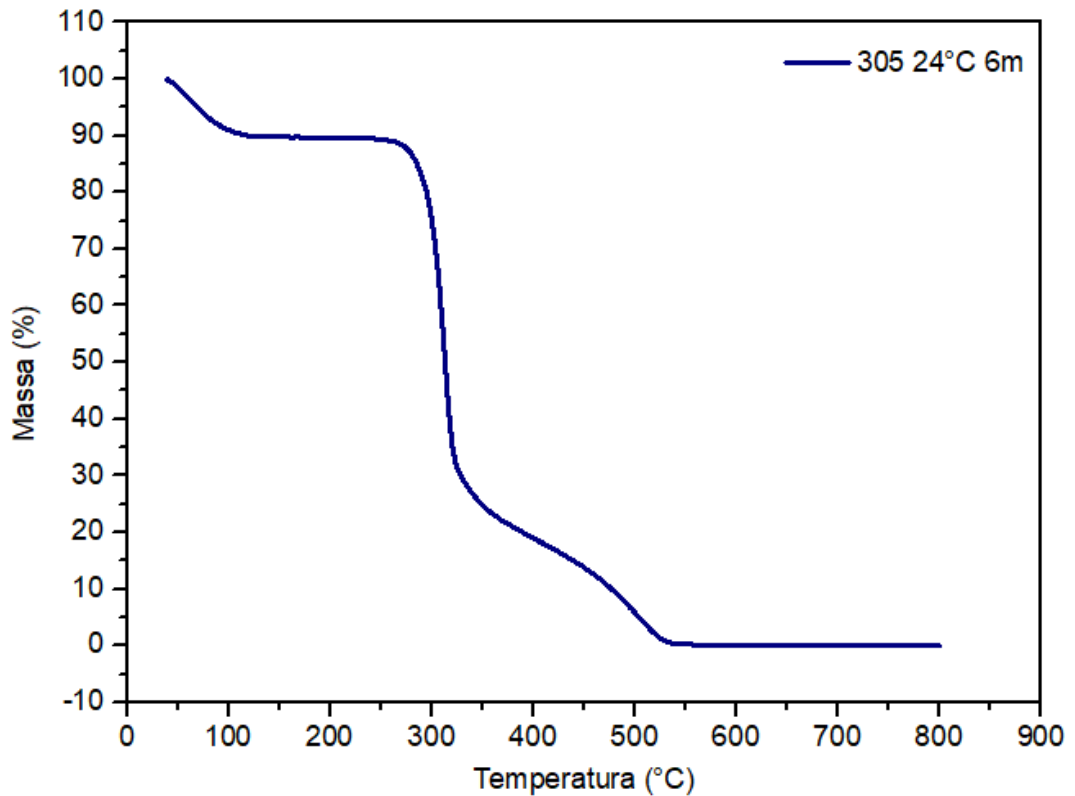
H.4 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 305/40 °C/3 meses



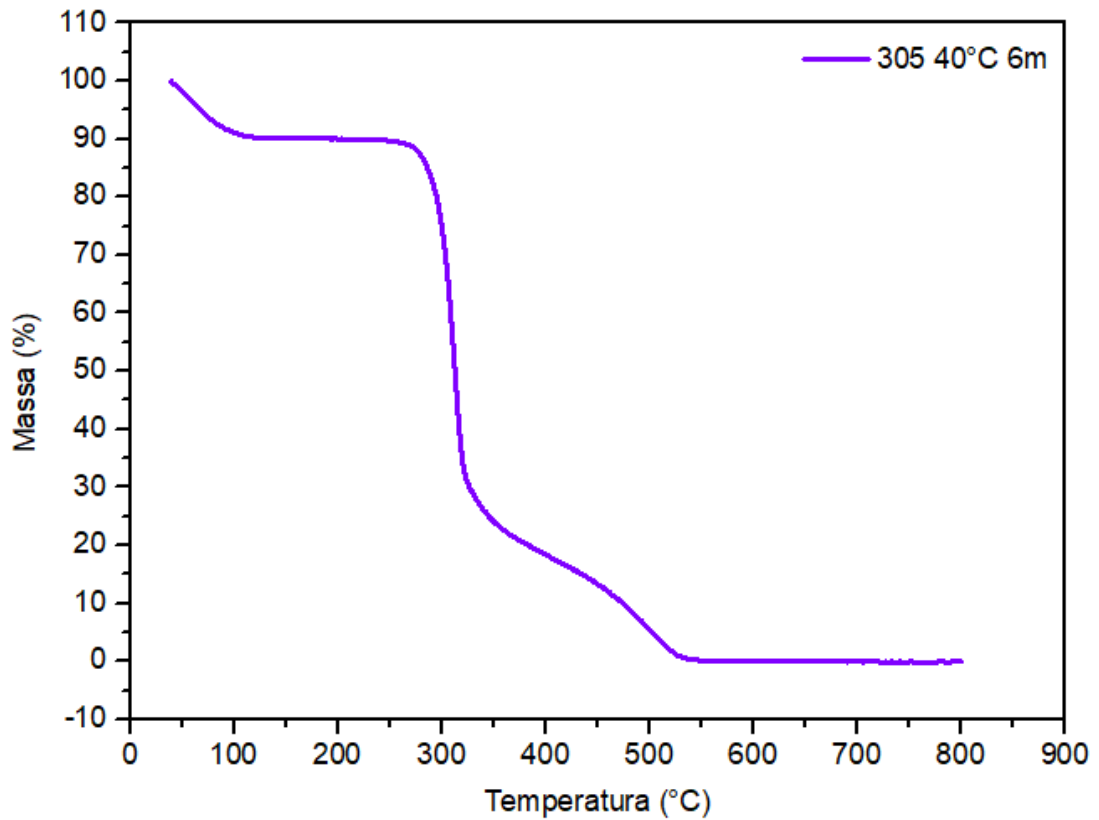
H.5 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 305/10 °C/6 meses



H.6 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 305/24 °C/6 meses

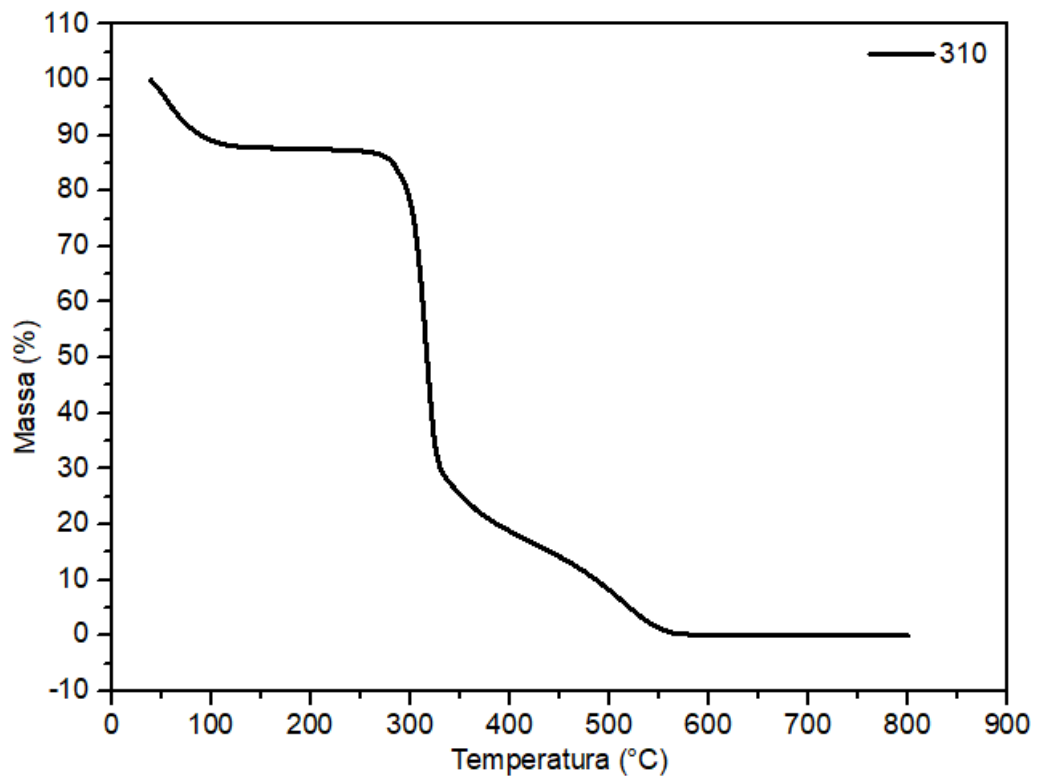


H.7 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 305/40 °C/6 meses

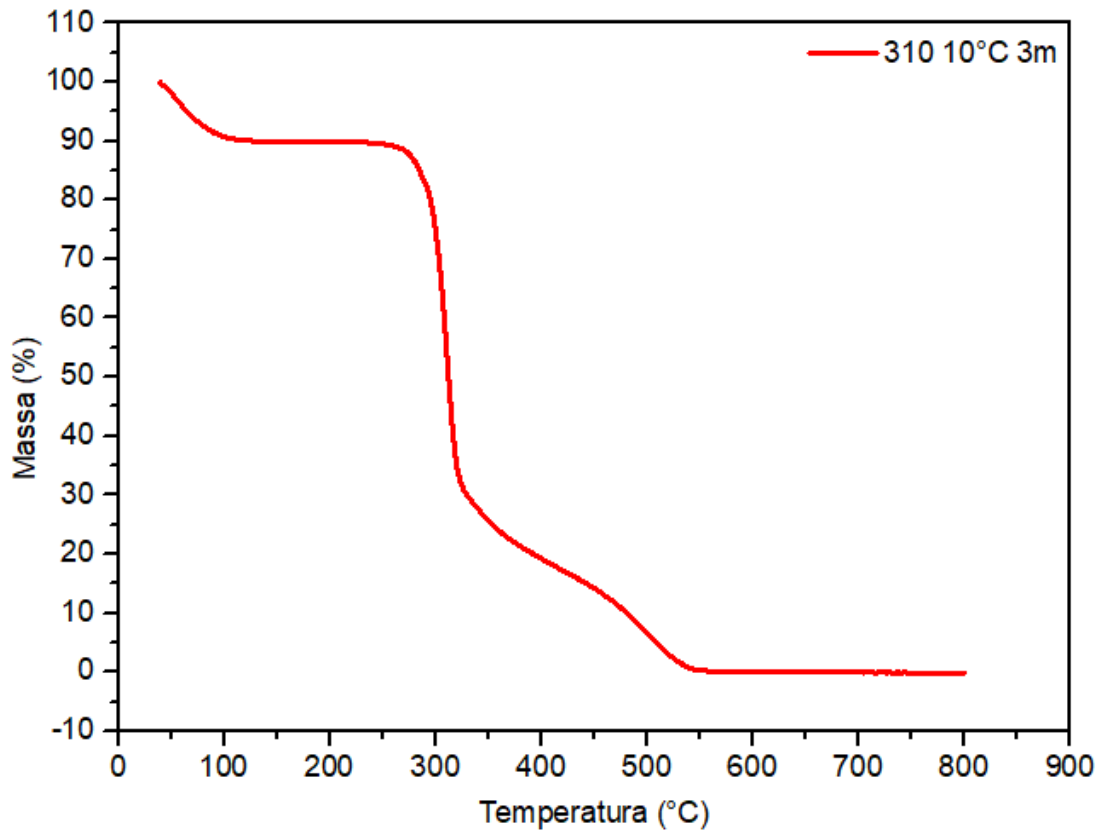


ANEXO I Curvas termogravimétricas do amido de sorgo BRS 310

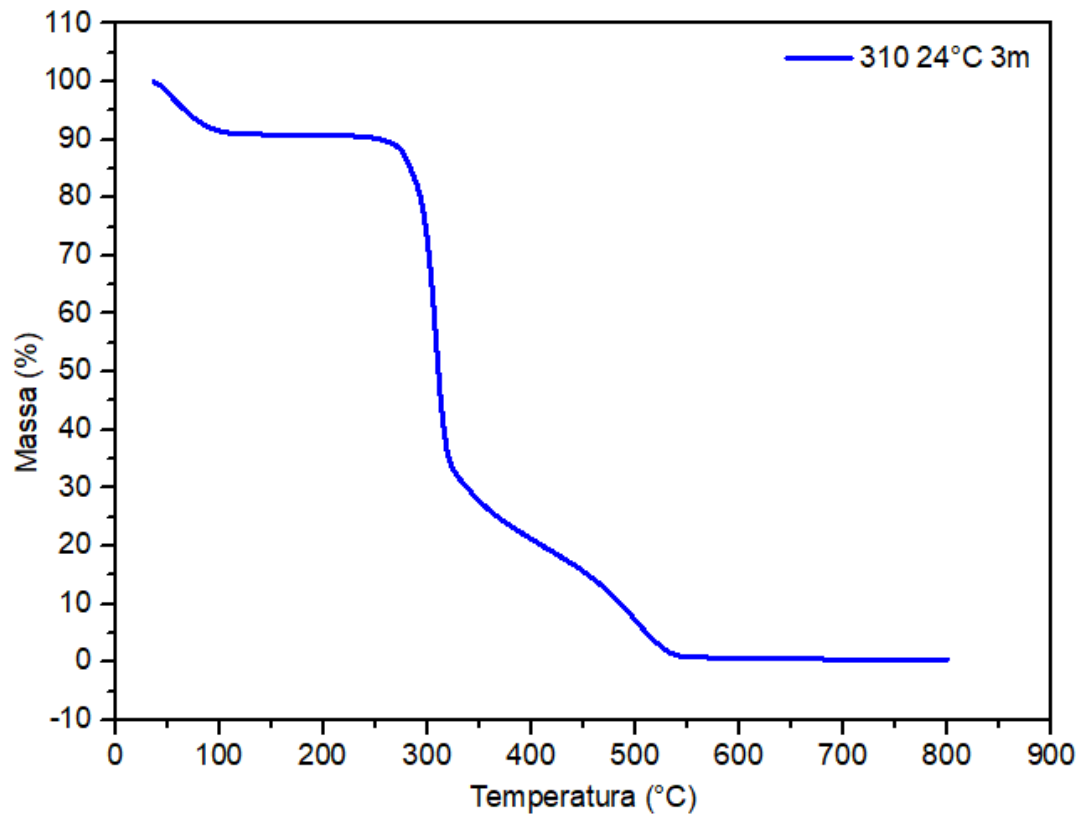
I.1 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 310 – Grupo Controle



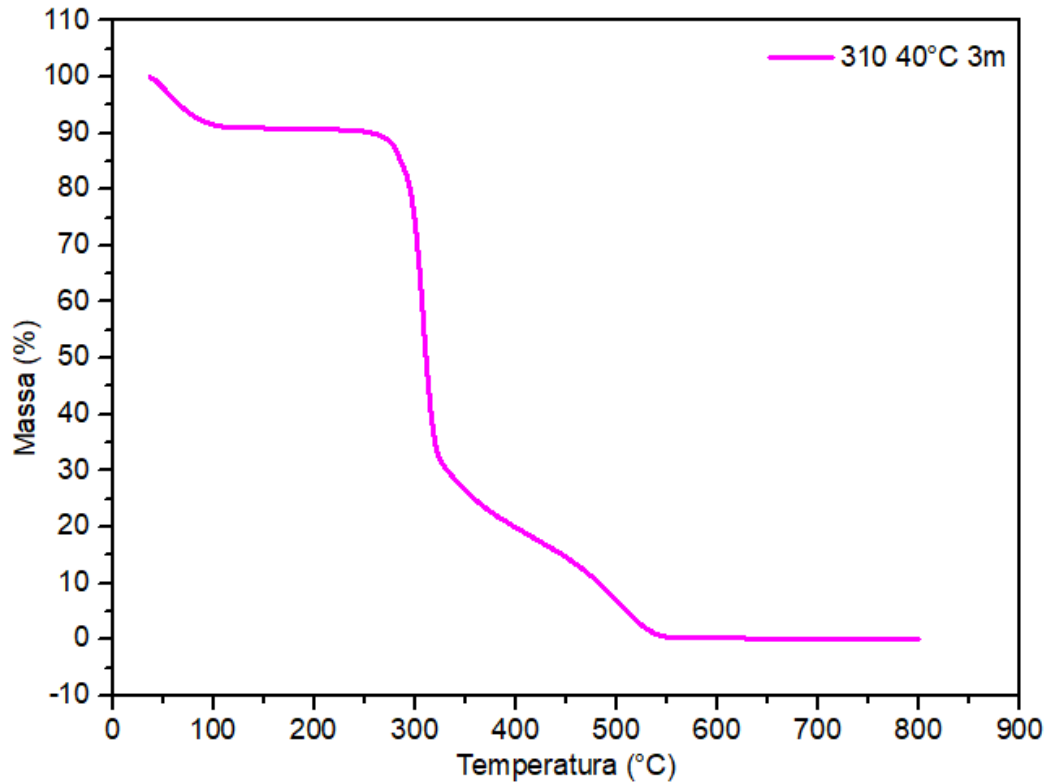
I.2 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 310/10 °C/3 meses



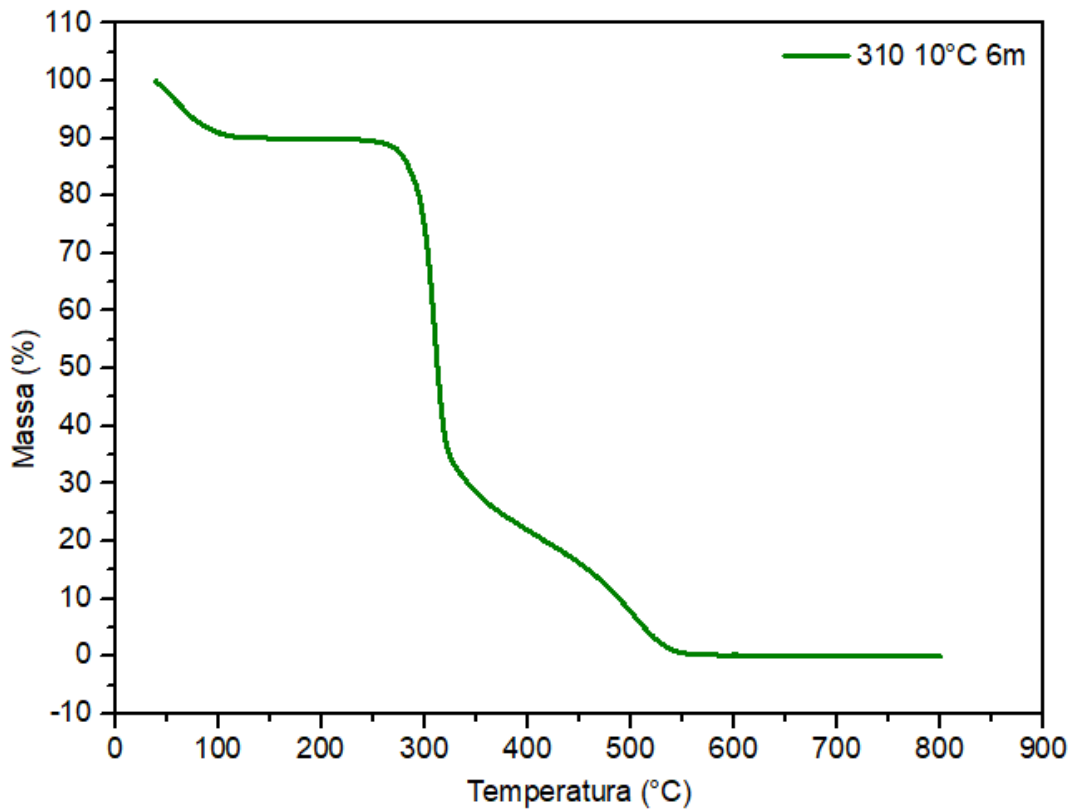
I.3 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 310/24 °C/3 meses



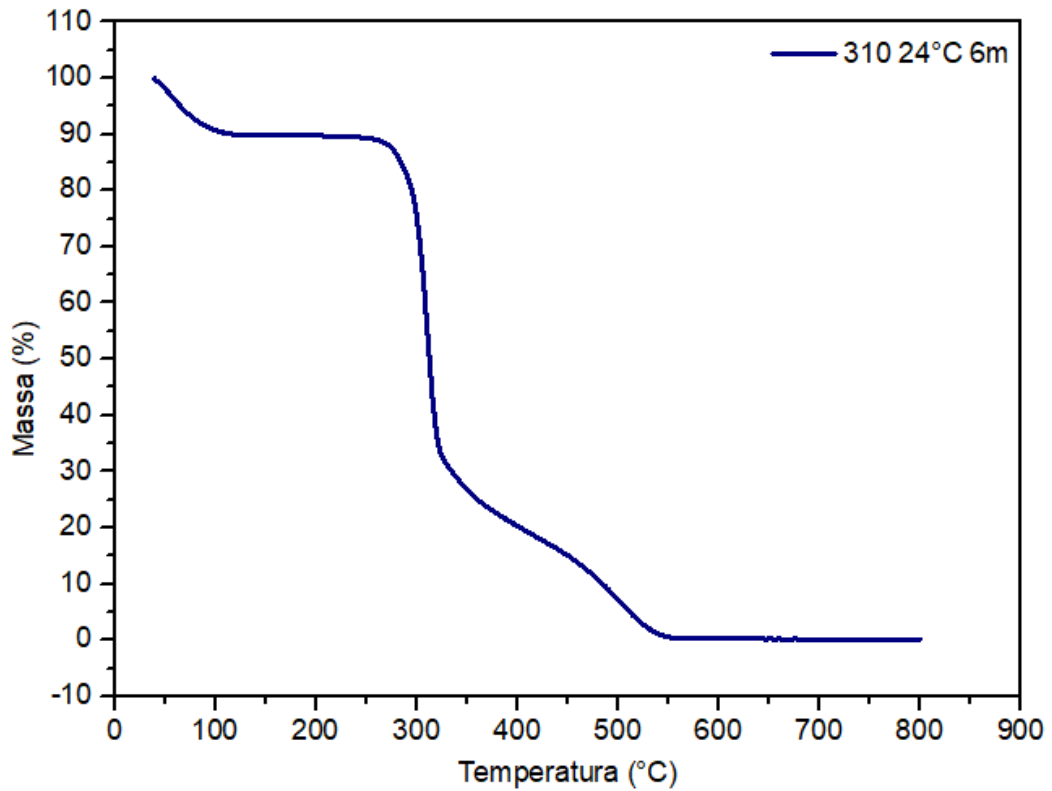
I.4 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 310/40 °C/3 meses



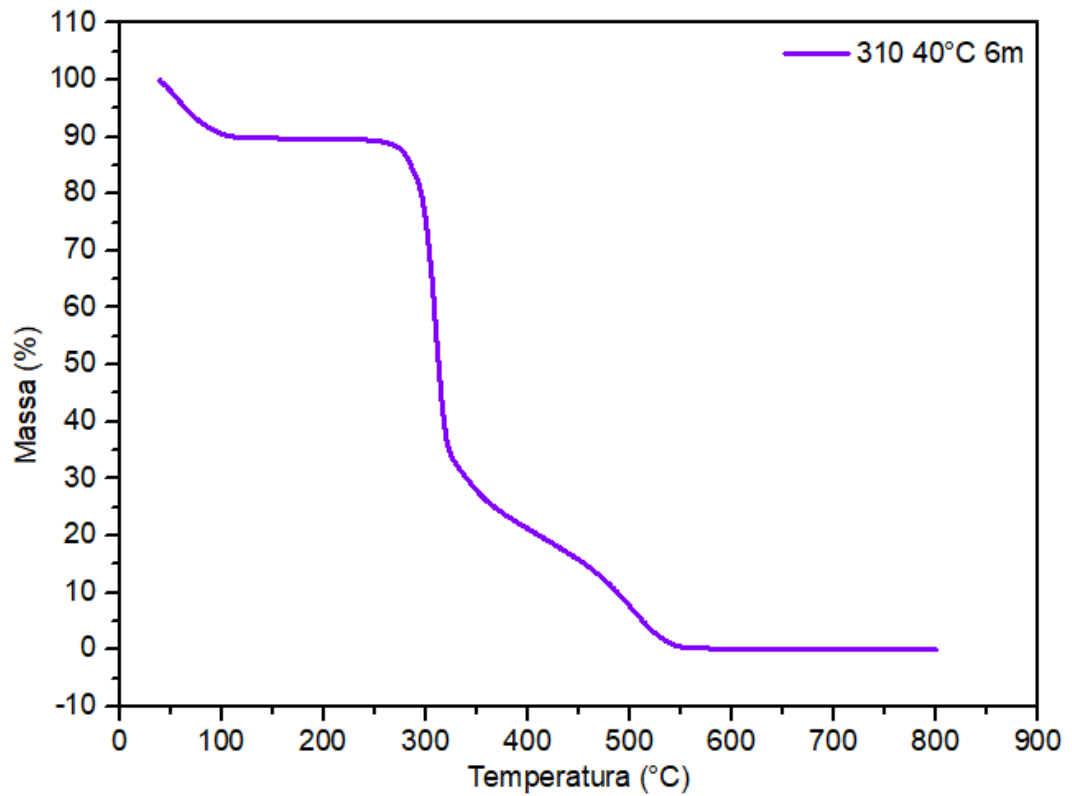
I.5 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 310/10 °C/6 meses



I.6 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 310/24 °C/6 meses

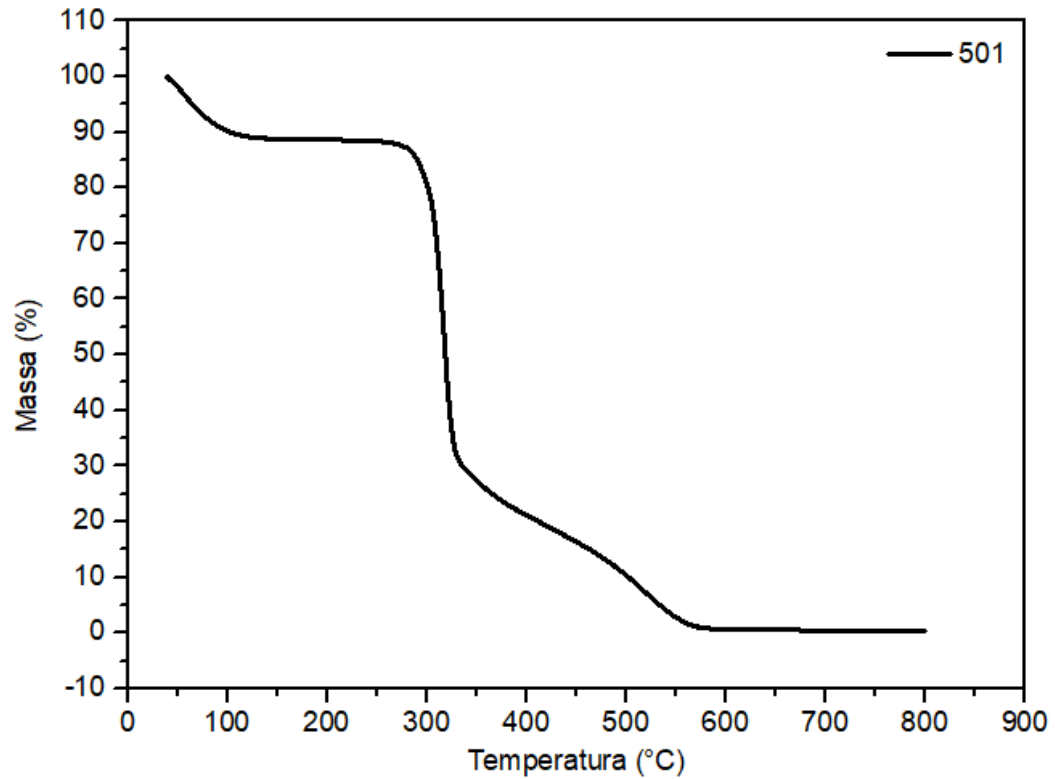


I.7 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BRS 310/40 °C/6 meses

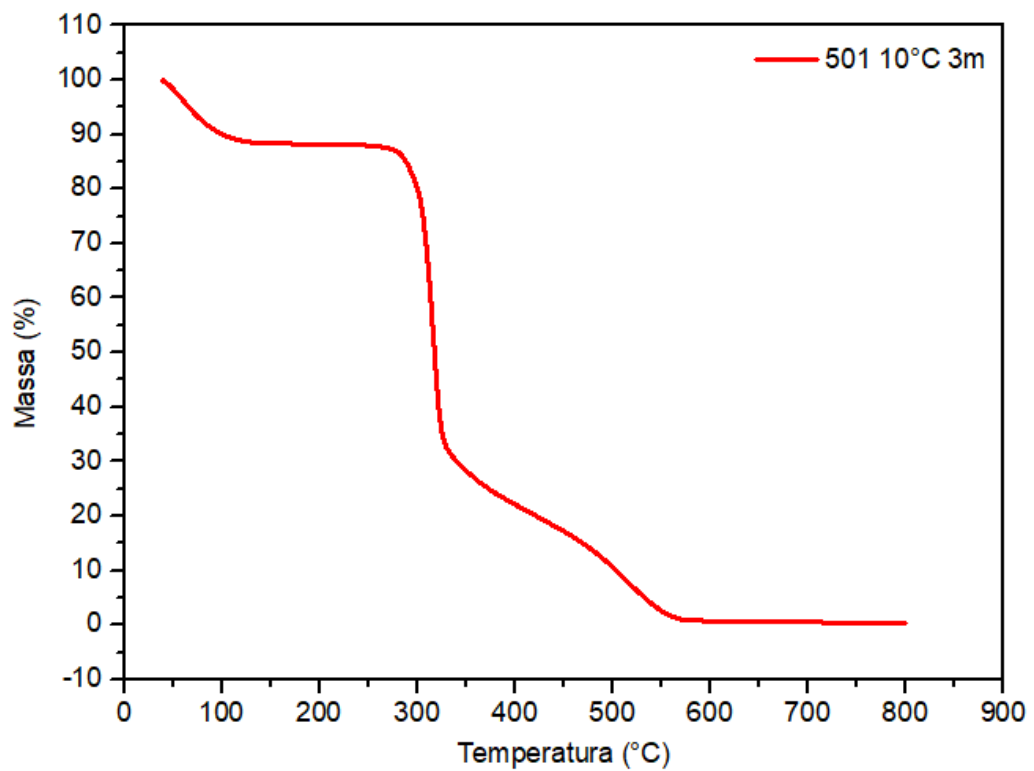


ANEXO J Curvas termogravimétricas do amido de sorgo BR 501

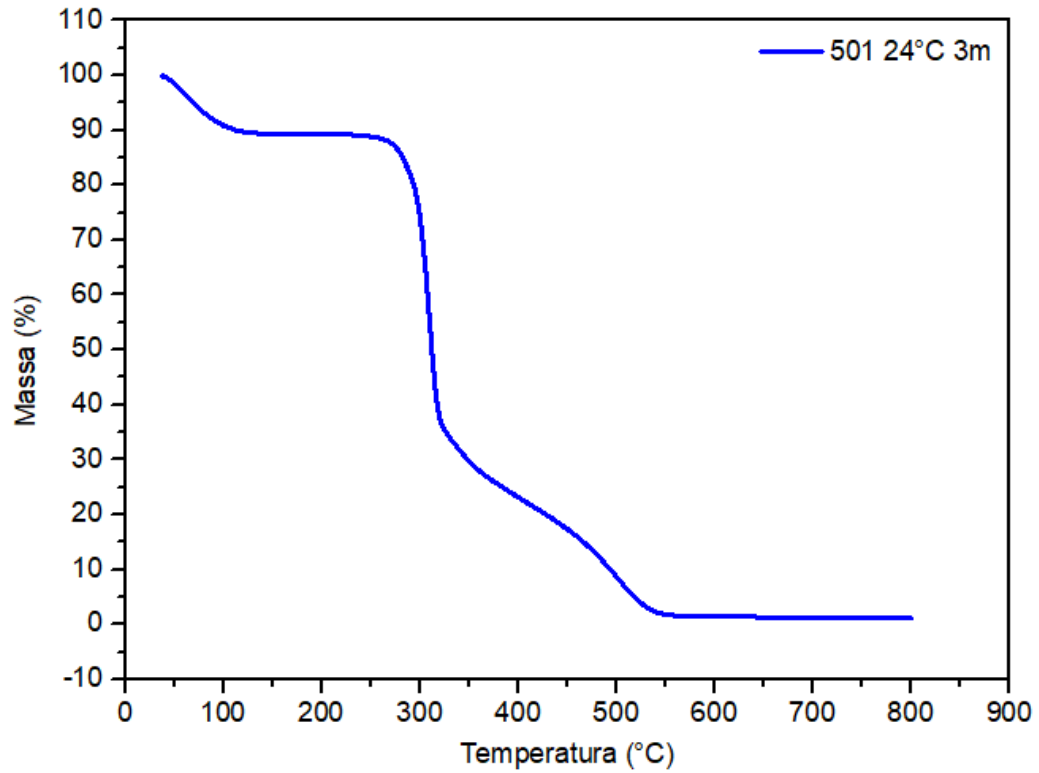
J.1 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BR 501 – Grupo Controle



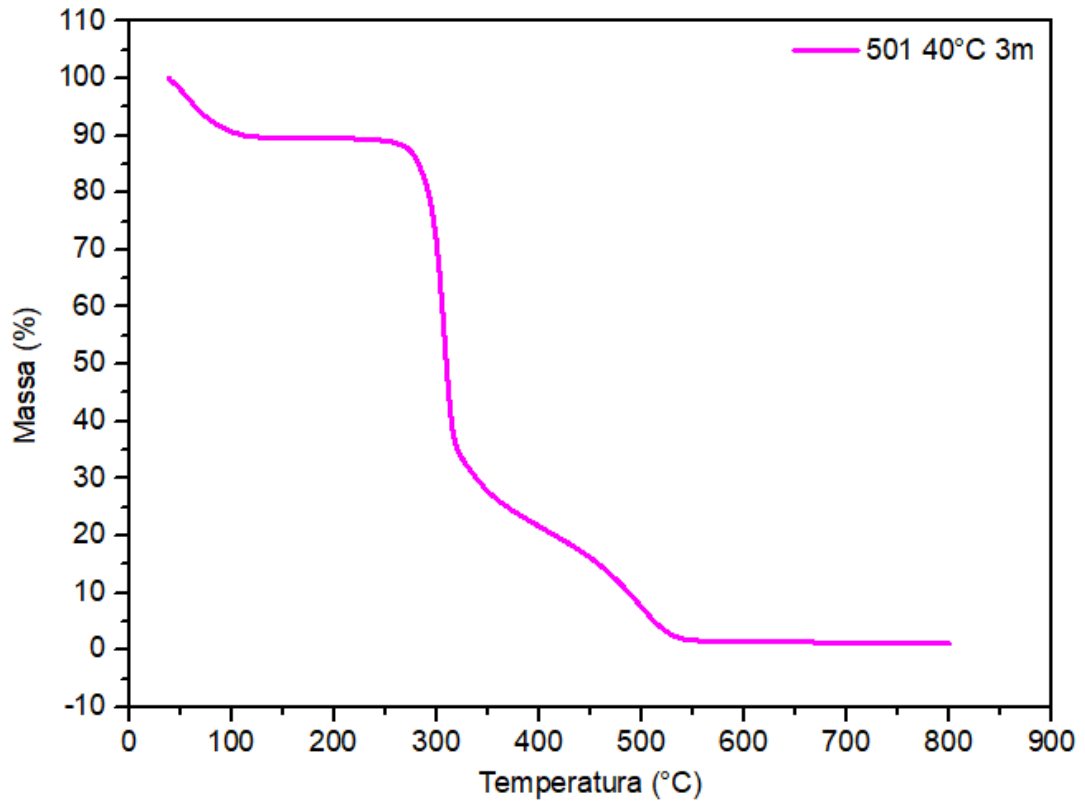
J.2 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BR 501/10 °C/3 meses



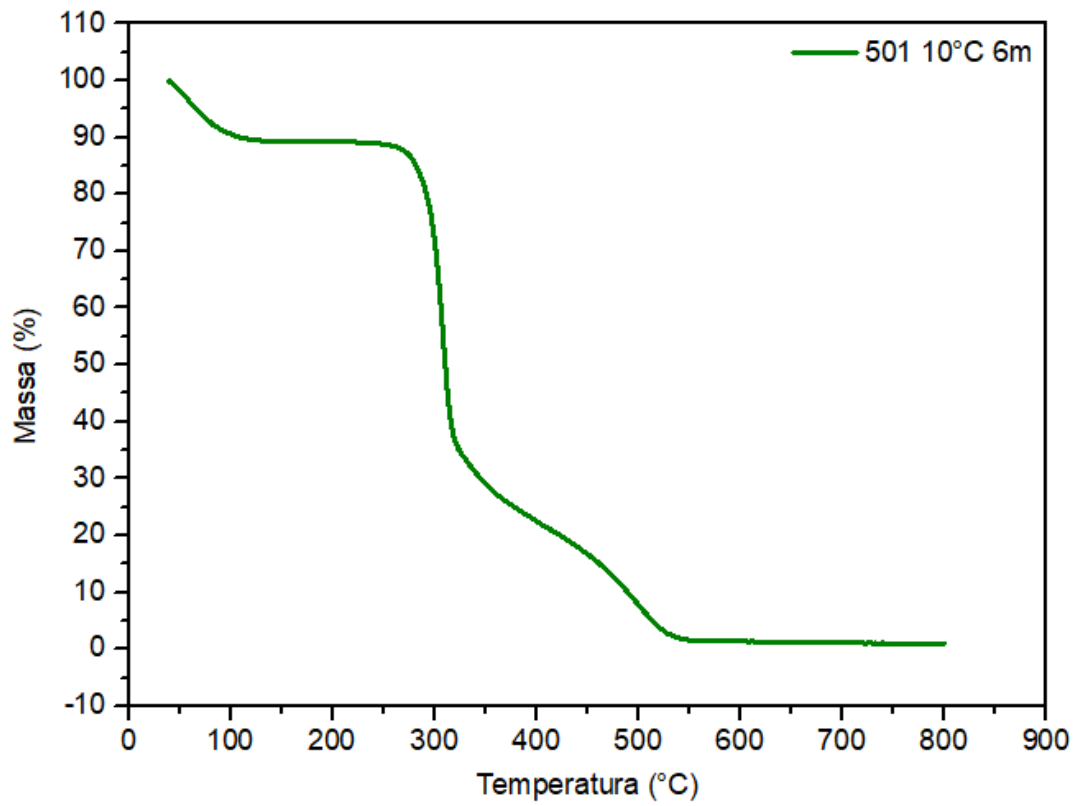
J.3 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BR 501/24 °C/3 meses



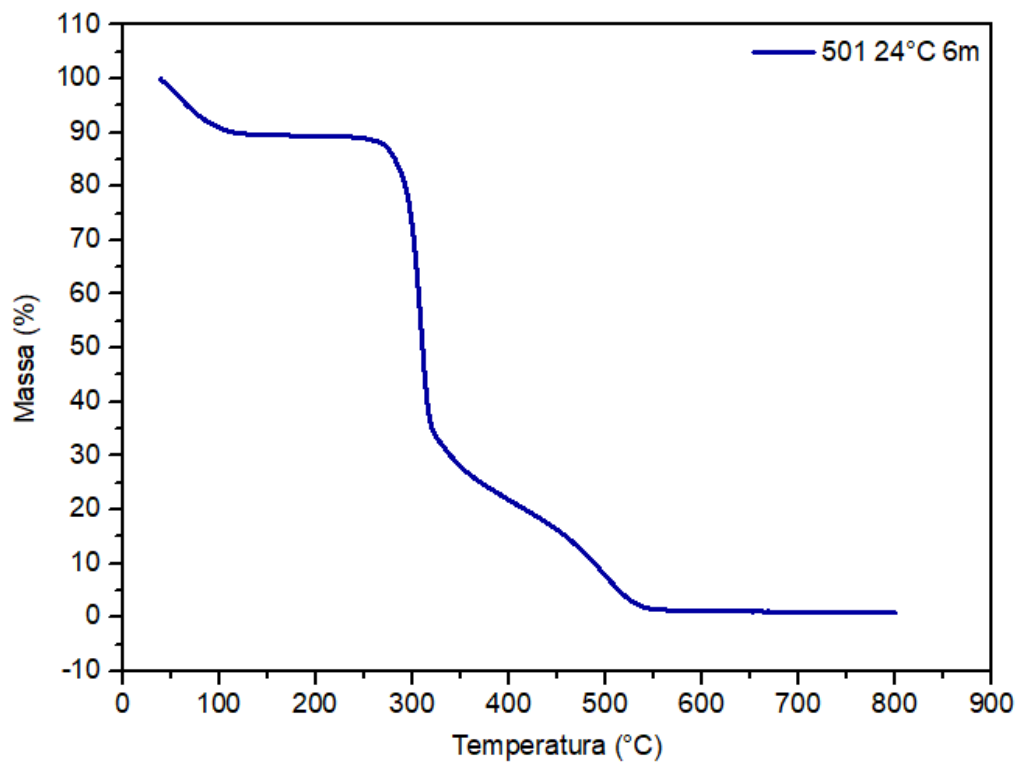
J.4 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BR 501/40 °C/3 meses



J.5 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BR 501/10 °C/6 meses



J.6 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BR 501/24 °C/6 meses



J.7 Curva termogravimétrica do amido do sorgo BR 501/40 °C/6 meses

