

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA

JULIANA APARECIDA CORREIA BENTO

**CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FARINHAS E  
FÉCULAS DE LÍRIO-DO-BREJO (*Hedychium coronarium*  
Koen), ALGODÃOZINHO-DO-CAMPO (*Cochlospermum*  
*regium*) E BATATA-DE-TEIÚ (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell  
Arg.)**

Goiânia – GO  
2018

---

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR  
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES  
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico:      Dissertação      Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: JULIANA APARECIDA CORREIA BENTO

Título do trabalho: Caracterização e aplicação de farinhas e féculas de lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* Koen), algodãozinho-do-campo (*Cochlospermum regium*) e batata-de-teiú (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg.)

3. Informações de acesso ao documento:


Concorda com a liberação total do documento  SIM      NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) autor(a)<sup>2</sup>



Assinatura do(a) orientador(a)<sup>2</sup>

Data: 07 / 06 / 2018

---

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

<sup>2</sup> A assinatura deve ser escaneada.

JULIANA APARECIDA CORREIA BENTO

**CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FARINHAS E  
FÉCULAS DE LÍRIO-DO-BREJO (*Hedychium coronarium*  
Koen), ALGODÃOZINHO-DO-CAMPO (*Cochlospermum*  
*regium*) E BATATA-DE-TEIÚ (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell  
Arg.)**

Dissertação apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**Orientador:** Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior

**Coorientador:** Prof. Dr. Marcio Caliarí

Prof. Dr. Luciano Morais Lião

Goiânia – GO  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Bento, Juliana Aparecida Correia

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FARINHAS E FÉCULAS DE LÍRIO-DO-BREJO (*Hedychium coronarium* Koen), ALGODÃOZINHO DO-CAMPO (*Cochlospermum regium*) E BATATA-DE-TEIÚ (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg.) [manuscrito] / Juliana Aparecida Correia Bento. - 2018.

CCIV, 204 f.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior; co-orientador Dr. Marcio Caliani; co-orientador Luciano Morais Lião .

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EAEA), Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2018.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, fotografias, gráfico, tabelas.

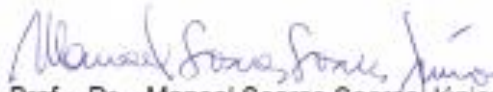
1. Propriedades térmicas do amido. 2. Ressonância magnética nuclear. 3. Antinutricionais. 4. Antioxidante. 5. Toxicidade. I. Soares Júnior, Manoel Soares, orient. II. Título.

CDU 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIO - PPAGRO

ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE JULIANA APARECIDA CORREIA BENTO – Aos vinte e oito dias do mês de fevereiro de dois mil e dezessete (28/02/2018), às 09h30min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior (orientador/Presidente/PPGCTA/EA/UFG), Profª. Drª. Priscila Zaczuk Bassinello (membro interno/PPGCTA/UFG) e Prof. Dr. Armando Garcia Rodriguez (membro externo/ICB/UFG) para, sob a presidência do primeiro, e em sessão pública realizada na Sala 18/EA/PRÉDIO CENTRAL, procederem à avaliação da defesa de dissertação intitulada: “**CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FARINHAS E FÉCULAS DE LÍRIO-DO-BREJO (HEDYCHIUM CORONARIUM KOEN), ALGODÃOZINHO-DO-CAMPO (COCHLOSPERMUM REGIUM) E BATATA-DE-TEIÚ (JATROPHA ELLIPTICA (POHL) MUELL ARG.**”, em nível de **Mestrado**, área de concentração em **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, de autoria de **Juliana Aparecida Correia Bento**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra a seguir, foi concedida a autora da dissertação que, em 30 minutos procedeu à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu a examinanda, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo-se em vista o que consta na Resolução nº. 1075/2012, do Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura (CEPEC), que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi **APROVADA** por unanimidade, sendo cumpridos os requisitos para fins de obtenção do título de **MESTRE EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**, na área de concentração em **Ciência e Tecnologia de Alimentos** pela Universidade Federal de Goiás. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega, na secretaria do programa, da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções, no prazo de até 30 dias. A Banca Examinadora recomenda a publicação de artigo científico, oriundo dessa dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional depois de atendidas às modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades de pauta, às 11h00min, o presidente da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação e para constar eu, Lindinalva de Oliveira Teixeira, secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada será assinada pelos membros da Banca Examinadora em três vias de igual teor.

  
Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior  
Orientador-Presidente /PPGCTA/EA/UFG

  
Prof. Dr. Priscila Zaczuk Bassinello  
Membro interno/PPGCTA/UFG

  
Prof. Dr. Armando Garcia Rodriguez  
Membro externo/ICB/UFG

*Aos meus pais, Divino e Sônia, meus irmãos, Silvânia e Júnior, por serem a  
minha amada família, exemplo de honestidade e sempre terem me apoiado na  
minha caminhada.*

*A minha amada filha, Meliza, meu pequeno presente de Deus, que é a minha  
luz de vida. Te amo filha.*

*Aquela pessoa especial, que me mostrou o lado bonito da vida, meu amigo,  
companheiro, noivo, Menandes.*

*Dedico!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família, pelo apoio, confiança e compreensão.

Ao meu orientador Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior, pela orientação, confiança na minha capacidade, pelo entusiasmo das conversas sobre a nossa pesquisa e pela paciência com o meu desespero.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Márcio Caliari, por fazer com que o desenvolvimento da pesquisa fosse possível, auxiliando com ideias e possibilitando a realização das análises.

As minhas amigas e companheiras de laboratório, Ana Lazara, Karen Carvalho (*Princesa*), e Marília Cândido (*Mary Lu*) pela imensa ajuda com os Lírios-do-brejo, pela ajuda com todas as análises, pelas conversas calorosas, pelos muitos momentos de alegria, pelas cantorias horrorosas rrsrs (axé, brega e sertanejo), enfim, pela amizade que construímos ao longo desta caminhada.

Ao meu amigo e companheiro, Menandes, que me acalmou nos momentos difíceis, me fez sorrir quando eu chorava e me incentivou a continuar. Pelos extratos enzimáticos e ajuda com as análises.

Ao Prof. Dr. Luiz Artur Mendes Bataus, por ter me acolhido em seu laboratório, ter me auxiliado no desenvolvimento das análises, pelas conversas descontraídas e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Ivan Torres Nicolau de Campos, pela paciência e dedicação para me explicar como manusear o ultrassom.

Ao Prof. Dr. Armando Garcia Rodrigues, pela paciência, dedicação e auxílio com os ensaios de toxicidade

Ao meu coorientador Luciano Morais Lião e a Prof. Ma. Maria Carolina Bezerra Di Medeiros por terem tornado possível a realização das análises nos amidos. Em especial, à Carol, pela paciência, dedicação (inclusive nos finais de semanas) e ensinamentos sobre as análises. Aprendi muito com você Carol.

Aos professores do PPGCTA/UFG, que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

A Ma. Aline Gama Rodrigues, pela amizade e imensa ajuda com as análises enzimáticas e na fermentação semissólida.

Laboratório de pós-colheita do departamento de ciência dos alimentos, Universidade federal de Lavras, por tornar possível a realização das análises dos fatores anti-nutricionais.

Ao PPGCTA, a CAPES e a todos os demais colegas que contribuíram durante o mestrado.

Muito obrigado!

*“Nada é impossível para aquele que persiste.”*

*Alexandre o Grande*

## RESUMO

*Cochlospermum regium*, planta nativa do cerrado brasileiro, conhecida como algodãozinho-do-campo, é utilizada na medicina popular para o tratamento de infecções e inflamações. *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg é uma planta pertencente à família das Euphorbiaceae, nativa do cerrado brasileiro, e conhecida popularmente como “batata-de-teiú”, sendo que existe carência de conhecimentos científicos sobre os aspectos físico-químicos e tecnológicos da *Jatropha elliptica* e suas possíveis aplicações, em alimentos e ou medicamentos. O lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* Koen), natural do Nepal, é considerado planta invasora no Brasil, pois apresenta crescimento rápido e negativo para a biodiversidade vegetal. Os rizomas são aproveitados pelo homem, devido suas propriedades medicinais, como o tratamento da cefaleia, câncer e inflamações, mas também pode ser uma fonte potencial para a extração de amido. Algodãozinho-do-campo, batata-de-teiú e lírio-do-brejo são plantas rizomatosas com potencial para a obtenção de amido e farinha. Com isso, este trabalho tem por objetivo contribuir com dados inéditos sobre a caracterização das farinhas e féculas, com provável valor funcional, extraídas do *Hedychium coronarium* Koen, *Cochlospermum regium* e *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg, bem como a aplicação destes produtos como substrato na fermentação semissólida, visando a produção de extratos enzimáticos, e avaliar o efeito do ultrassom sobre o amido de lírio-do-brejo. Os amidos extraídos apresentam características tecnológicas peculiares, sendo que: o amido de algodãozinho-do-campo sob temperatura de cozimento absorve menos água e se solubiliza menos que o amido de milho, mantendo mais a estrutura dos grânulos no produto final, podendo contribuir para a melhoria da textura do produto final; o amido de batata-de-teiú apresentou baixa tendência à retrogradação; o amido de lírio-do-brejo apresentou alto teor de amilose (cerca de 59.16%), cristalinidade de 19.30%, sendo que quando este foi submetido ao ultrassom, por 15 min, a 62% de intensidade e 12.5 g 100g<sup>-1</sup> de concentração, observou-se um aumento do pico de viscosidade (de 1917 para 2257 cP) e a redução da tendência à retrogradação (de 2079 para 1295 cP). As farinhas apresentaram características nutricionais peculiares, capacidade antioxidante, presença de compostos fenólicos, baixa toxicidade em ensaio com *Artêmia salina*, presença de fatores antinutricionais, e não foram eficientes para a produção de extratos enzimáticos por fermentação semissólida. Conclui-se que são plantas com potencial para a obtenção de amido e farinhas.

## ABSTRACT

*Cochlospermum regium*, a native plant of the Brazilian Cerrado, known as “Algodãozinho-do-campo”, is used in folk medicine for the treatment of infections and inflammation. *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg is a plant belonging to the Euphorbiaceae family, native to the Brazilian Cerrado, and popularly known as “Batata-de-teiú”. There is a lack of scientific knowledge about the physico-chemical and technological aspects of *Jatropha elliptica* and its possible applications, in foods and or medicines. *Hedychium coronarium* Koen, native to Nepal, is considered an invasive plant in Brazil, as it presents rapid and negative growth for plant biodiversity. Rhizomes are man-made due to their medicinal properties, such as the treatment of headache, cancer and inflammation, but it can also be a potential source for starch extraction. Algodãozinho-do-campo, Batata-de-teiú and lírio-do-brejo are rhizomatous plants with the potential to obtain starch and flour. The objective of this work was to contribute with unpublished data on the characterization of flour and starch with a probable functional value, extracted from *Hedychium coronarium* Koen, *Cochlospermum regium* and *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg, as well as the application of these products as substrate in the semi-solid fermentation, aiming the production of enzymatic extracts, and to evaluate the effect of the ultrasound on the lírio-do-brejo starch. The extracted starches present peculiar technological characteristics, being: the algodãozinho-do-campo starch under cooking temperature absorbs less water and solubilizes less than the corn starch, maintaining more the structure of the granules in the final product, being able to contribute to the improvement of final product texture; the batata-de-teiú starch had a low tendency to retrograde; the lírio-do-brejo starch presented high amylose content (about 59.16%), crystallinity of 19.30%, and when it was submitted to ultrasound for 15 min at 62% intensity and 12.5 g 100g<sup>-1</sup> an increase in viscosity peak (from 1917 to 2257 cP) and reduction in tendency to retrograde (from 2079 to 1295 cP) was observed. The flours presented peculiar nutritional characteristics, antioxidant capacity, presence of phenolic compounds, low toxicity in *Artêmia salina*, presence of antinutritional factors, and were not efficient for the production of enzymatic extracts by semi-solid fermentation. It is concluded that they are plants with potential to obtain starch and flour.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	vi
AGRADECIMENTOS	vii
EPÍGRAFE	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
SUMÁRIO	11
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>14</b>
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Lírio-do-brejo ( <i>Hedychium coronarium</i> J. Koen)	16
2.2 Algodãozinho-do-campo ( <i>Cochlospermum regium</i> )	17
2.3 Batata-de-teiú ( <i>Jatropha elliptica</i> (Pohl) Muell Arg.)	19
2.4 Amido	21
2.5 Modificação amilácea por ultrassom	22
2.6 Antinutricionais	23
2.7 Fermentação semissólida	24
3 OBJETIVOS	26
3.1 Objetivo geral	26
3.2 Objetivos específicos	26
REFERÊNCIAS	27
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>33</b>
EXTRAÇÃO, PROPRIEDADES TÉRMICAS, ESTRUTURAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDO DE RAÍZES DE ALGODÃOZINHO-DO-CAMPO	33
Resumo	33
1 INTRODUÇÃO	34
2 MATERIAL E MÉTODOS	35
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4 CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	50
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>54</b>

EXTRAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES TÉRMICAS DO AMIDO DE BATATA-DE-TEIÚ -----	54
Resumo -----	54
1 INTRODUÇÃO -----	55
2 MATERIAL E MÉTODOS -----	56
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	60
REFERÊNCIAS -----	71
<b>CAPÍTULO 4</b> -----	76
EXTRAÇÃO E CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-ESTRUTURAIS, TÉRMICAS E TECNOLÓGICAS DO AMIDO DE LÍRIO-DO-BREJO ( <i>Hedychium coronarium</i> J. König) -----	76
Resumo -----	76
1 INTRODUÇÃO -----	77
2 MATERIAL E MÉTODOS -----	79
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	84
4 CONCLUSÃO -----	96
REFERÊNCIAS -----	96
<b>CAPÍTULO 5</b> -----	101
PROPRIEDADES TÉRMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDO DE RIZOMAS DE LÍRIO-DO-BREJO ( <i>Hedychium coronarium</i> J. König) MODIFICADO POR ULTRASSOM -----	101
Resumo -----	101
1 INTRODUÇÃO -----	102
2 MATERIAL E METÓDOS -----	103
3 RESULTADOS -----	106
4 CONCLUSÃO -----	125
REFERÊNCIAS -----	126
Apêndice A - Dados de absorção de água do amido de rizomas de lírio-do-brejo modificado por ultrassom -----	129
Apêndice B - Dados de solubilidade em água do amido de rizomas de lírio-do-brejo modificado por ultrassom -----	130
Apêndice C - Dados RVA do amido de rizomas de lírio-do-brejo modificado por ultrassom -----	131

Apêndice D – Dados DSC do amido de rizoma de lírio-do-brejo modificado por ultrassom	132
<b>CAPÍTULO 6</b>	133
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DA FARINHA DE ALGODÃOZINHO-DO-CAMPO ( <i>Cochlospermum regium</i> )	133
Resumo	133
1 INTRODUÇÃO	134
2 MATERIAL E MÉTODOS	135
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	140
4 CONCLUSÃO	152
REFERÊNCIAS	152
<b>CAPÍTULO 7</b>	158
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS, TOXICOLÓGICAS E APLICAÇÃO DA FARINHA DE BATATA-DE-TEIÚ ( <i>Jatrhoa elliptica</i> )	158
Resumo	158
1 INTRODUÇÃO	159
2 MATERIAL E MÉTODOS	160
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	164
4 CONCLUSÃO	176
REFERÊNCIAS	176
<b>CAPÍTULO 8</b>	181
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E TOXICOLÓGICA E APLICAÇÃO DA FARINHA DE LÍRIO-DO-BREJO ( <i>Hedychium coronarium</i> Koen)	181
Resumo	181
1 INTRODUÇÃO	182
2 MATERIAL E MÉTODOS	183
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	188
4 CONCLUSÃO	199
REFERÊNCIAS	199
CONSIDERAÇÕES FINAIS	204
ANEXO I: Normas Food Hydrocolloids (Capítulo 4 – Artigo submetido)	206

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço das pesquisas tem provado que a ingestão de algumas substâncias presentes em alimentos específicos, previne o desenvolvimento de várias enfermidades (ANVISA, 2008). Por isso tem sido grande a procura por alimentos que além de atenderem as exigências do paladar tenham algum princípio ativo que proporcione melhorias à saúde. Devido a este fato, a indústria alimentícia vem investido no desenvolvimento e produção de alimentos com propriedades funcionais.

Lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* Koen), natural do Nepal, uma planta herbácea rizomatosa, pertencente à família *Zingiberaceae*, utilizada como planta ornamental (LORENZI, SOUZA, 2015), é amplamente distribuída nas áreas de brejo, que tem sido alvo de estudos, devido às suas propriedades funcionais.

Popularmente conhecido como algodãozinho, *Cochlospermum regium*, pertencente à família *Cochlospermaceae*, é uma planta nativa do cerrado brasileiro, muito utilizada na medicina popular (NUNES, 2003). É uma tuberosa, que vem sendo estudada devido suas propriedades medicinais, sendo estas propriedades atribuídas à presença de compostos fenólicos (SOLON et al., 2012).

Outra espécie utilizada na medicina popular, como purgativo e no tratamento de picadas de cobra, é a *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg, conhecida popularmente como batata-de-teiú, pertencente à família *Euphorbiaceae*, nativa do cerrado brasileiro. A literatura relata a presença de flavonóides, taninos e diterpenos, sendo o Jatropheno o composto bioativo que mais se destaca (LIMA et al., 2006, BRUN et al., 2006, SABANDAR et al., 2013).

A presença de compostos bioativos faz com que *Hedychium coronarium* Koen, *Cochlospermum regium* e *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg, sejam plantas de interesse para o estudo das características das féculas e das farinhas extraídas das raízes ou rizomas dessas espécies. Além disso, as propriedades funcionais e/ou medicinais apresentadas por estas, podem contribuir para o desenvolvimento de produtos alimentícios que apresentam propriedades medicinais.

Farinha é um pó desidratado rico em amido, obtido pela moagem ou raladura dos grãos, rizomas, frutos ou tubérculos da parte comestível de vegetais, podendo sofrer previamente processos tecnológicos adequados, como a secagem ou mesmo a torra. Amido é o produto

amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais, ou fécula, quando extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (ANVISA, 1978). A farinha e o amido são produtos muito utilizados na alimentação, sendo amplamente aplicada na indústria confeitaria e panificação.

O amido ou fécula é um polissacarídeo, utilizado como reserva de energia por todas as plantas, sendo abundante em sementes, raízes e tubérculos. O amido se distingue dos demais carboidratos por ocorrer na natureza, em partículas específicas chamadas de grânulos, os quais, de acordo com a sua origem, podem apresentar diferentes formas e tamanhos (DAMODARAM, PARKIN & FENNEMA, 2010).

As propriedades físico-químicas dos amidos ditam sua funcionalidade em várias aplicações na indústria, sendo que os amidos nativos geralmente têm uso limitado devido às suas propriedades físico-químicas, que os tornam instáveis ao processamento e estocagem. A modificação permite ampliar a utilização do amido pela indústria, por melhorar a retenção de água, modificando as características de cozimento (gelificação), além de melhorar as propriedades funcionais de espessamento, gelificação, adesão e/ou formação de filmes e aumentar a estabilidade, por meio da redução da retrogradação (ELIASSON, 2004).

O ultrassom é um método que pode ser empregado para modificação do amido, que por meio de efeitos térmicos, mecânicos ou pela cavitação promove alterações nas propriedades físico-químicas do amido (BERNARDO, ASCHERI & CARVALHO, 2016). A modificação enzimática é outro método ao qual se pode recorrer para alterações nas propriedades tecnológicas do amido e/ou farinha.

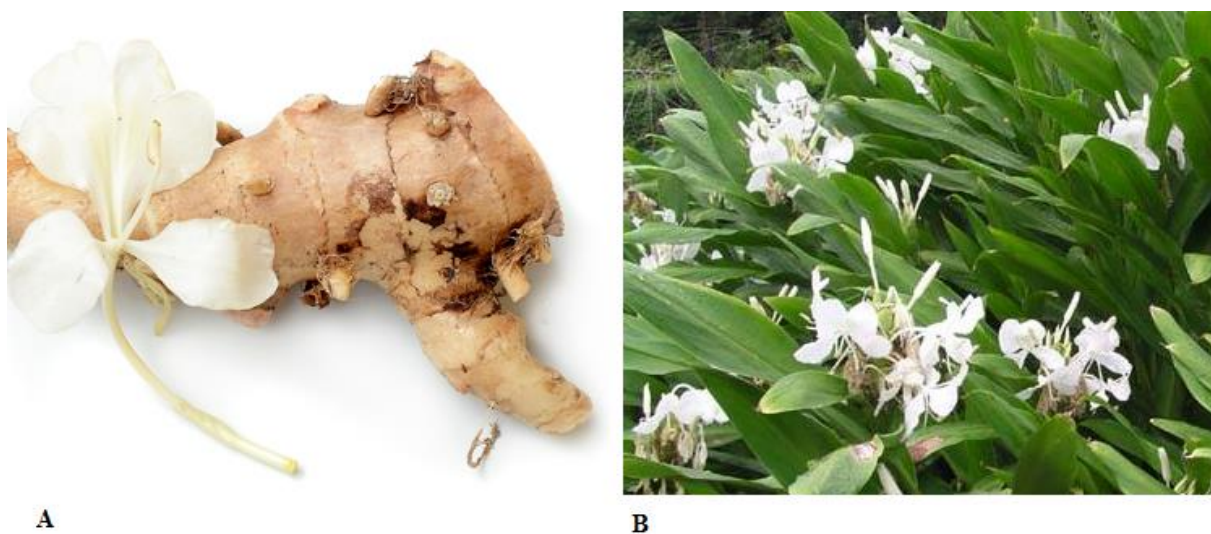
Farinhas podem ser utilizadas como substrato para o desenvolvimento de microrganismos, fungos e bactérias, visando a produção de extratos enzimáticos celulósicos. Além da produção de extratos enzimáticos, a farinha pode passar por hidrólise enzimática, o que aumenta o conteúdo de açúcares fermentescíveis, devido a quebra das moléculas de celulose em glicose (BRITO-CUNHA et al., 2015).

Este trabalho tem por objetivo a caracterização das farinhas e féculas, com provável valor funcional, extraídas do *Hedychium coronarium* Koen, *Cochlospermum regium* e *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg, bem como a aplicação destes produtos como substrato na fermentação semissólida, visando a produção de extratos enzimáticos, e o amido modificado por ultrassom, buscando novos conhecimentos e utilização destas espécies como fonte de amido.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. Koen)

*Hedychium coronarium* J. Koen é uma monocotiledônea macrófita da família Zingiberaceae, natural do Nepal (no Himalaia) e da Índia até a Indonésia, aclimatada nas Américas, principalmente no Brasil. Popularmente conhecido como lírio-do-brejo, lírio-borboleta, napoleão, narciso, olímpia ou gengibre-branco, o *H. coronarium* é uma herbácea rizomatosa, ereta, florífera, vigorosa, entouceirada, aromática, de 1 - 2,5 m de altura (Figura 3).



**Figura 3.** Imagem *Hedychium coronarium*. A: Flor e rizoma, B: flores e folhas. Fonte: Figura A: Estadão (2016); Figura B: Meu Detox (2016).

O lírio-do-brejo é detentora de caule herbáceo cilíndrico avermelhado na base, folhas coriáceas, lanceoladas, com distribuição alternada e lígula. A inflorescência é em espiga, com brácteas imbricadas e flores brancas fortemente perfumadas, de corola branca e labelo com base amarelada que são produzidas quase que o ano todo (FACUNDO & MOREIRA, 2005; SANTOS, PEDRALLI & MEYER, 2005; LORENZI & SOUZA, 2015; INSTITUTO HÓRUS, 2016).

Habitualmente encontrado em região de brejo, áreas úmidas e sub-bosque de florestas (COUTO & CORDEIRO, 2005; LORENZI & SOUZA, 2015), o lírio-do-brejo é uma planta exótica invasora, e devido ao rápido crescimento e disseminação, é considerada planta daninha, uma vez que vem substituindo a vegetação original (SANTOS, PEDRALLI & MEYER, 2005; INSTITUTO HÓRUS, 2016).

A principal forma de aproveitamento, pelo homem, do *H. coronarium* é o uso de seus rizomas, devido suas propriedades medicinais. O óleo essencial, extraído dos rizomas do *H. coronarium* frescos e secos, é usado no tratamento de vômitos, tosse, problemas pulmonares (SINGH & SINGH, 2009), cefaleia, câncer, inflamação e apoptose (VERMA & BANSAL, 2010), além de possuir atividade antifúngica e antimicrobiana (JOY, RAJAN & ABRAHAM, 2007).

O rizoma possui propriedades anti-cancerígena, antioxidante, anti-hipertensiva, diurética, ainda sendo usado no tratamento de menstruação irregular e pedra no trato urinário (SHEKHAR & ANJU, 2015). Estudos mostram que o rizoma do *H. coronarium* contém diterpenos, que possuem atividade citotóxica moderada, sendo promissores no tratamento de células cancerígenas (SURESH et al., 2010; ZHAN et al., 2012) e possuem compostos anti-inflamatórios e quimo preventivos do câncer (KIEM et al., 2012; ENDRINGER et al., 2014), além disso os diterpenos presentes no extrato obtido a partir do rizoma de varias espécies de *Hedychium*, incluindo o *H. coronarium*, apresentam atividade antioxidante e antimicrobiana (JOSHIA et al., 2008).

Os rizomas do *H. coronarium*, contém cerca de 21,97% de fécula em sua composição (base seca), sendo que este apresenta baixa entalpia diferencial, o que o torna um produto com baixa higroscopicidade. É um produto com estrutura cristalina do tipo A, com teor de amilose superior aos teores médios dos amidos de mandioca, batata e milho. Os grânulos apresentam tamanhos variados (em torno de 38,2 µm), elevada temperatura de empastamento e baixa tendência ao inchamento, além de apresentar elevada estabilidade frente ao calor, sob agitação mecânica, e alta tendência à retrogradação. (ASCHERI et al., 2009, ASCHERI et al., 2010).

## **2.2 Algodãozinho-do-campo (*Cochlospermum regium*)**

*Cochlospermum regium*, pertencente à família Cochlospermaceae, popularmente conhecido como algodãozinho-do-campo, é uma planta nativa do cerrado brasileiro, muito utilizada na medicina popular para o tratamento de infecções e inflamações (NUNES et al., 2003). É um arbusto que varia de 0,5-2,0 m de altura; possui inflorescência característica (Figura 4A), florescendo de maio a setembro; apresenta alternância entre o período vegetativo e reprodutivo, ou seja, no período das secas perde as folhas e floresce, e na época das chuvas cobre-se de folhas (OLIVEIRA, 2012).



**Figura 4.** *Cochlospermum regium*. A, flores; B, folhas e caule; C, sementes; D, raíz. Fonte: próprio autor.

O *Cochlospermum regium* possui raiz tuberosa (Figura 4D), que em geral, se parece com a mandioca, podendo variar de forma conforme condições do terreno onde cresce. A Farmacópeia Popular do Cerrado, cita que, o polvilho, extraído a partir das raízes do algodãozinho-do-campo, é utilizado como anti-inflamatório, sendo o foco principal, o tratamento de inflamações no útero e ovários, menstruação desregulada, reumatismo e úlceras, não sendo recomendado para mulheres grávidas (DIAS & LAUREANO, 2009).

Em uma avaliação da toxicidade do extrato hidroetanólico, obtido das raízes do *C. Regium*, Cunha-Laura et al. (2013) não observaram efeitos tóxicos deste extrato em ratas grávidas, no entanto, este autores não recomendam o uso indiscriminado deste, durante a gestação, pois ainda não se conhece o real efeito destes compostos na formação do feto.

Solon et al. (2012) realizaram uma investigação fitoquímica da fração do acetato de etila, obtido a partir do extrato hidroetanólico do rizoma do *C. Regium*, verificando a presença

de derivados fenólicos, dentre eles o ácido gálico, e justificariam o uso medicinal popular desta planta como anti-inflamatório.

Nunes et al. (2003) *apud* Oliveira et al. (1996) e Lima et al. (1995) relataram que os fitoquímicos presentes nos extratos das raízes do *C. Regium*, possuem atividade antimicrobiana. No entanto, Nader et al. (2010) verificaram que o extrato obtido, tanto das partes aéreas como da raiz do *C. regium*, não apresentaram ação antimicrobiana, frente ao agente *Staphylococcus aureus* isolado de leite vacas com mastite.

Toledo et al. (2000) avaliaram a toxicidade aguda e subaguda do extrato hidroalcoólico extraído das raízes do *C. regium* em camundongos, verificando que possuem toxicidade moderada e que ainda são necessários dados mais consistentes quanto a sua toxicidade.

Estudando a citotoxicidade do extrato aquoso, obtido das raízes do *C. Regium*, em células do ovário de hamsters chines, Ceschini e Campos (2006), verificaram que o mesmo reduziu a proliferação celular, devido ao aumento da apoptose celular (morte celular programada). Estes autores, concluíram o trabalho, afirmando que o extrato aquoso do algodãozinho, apresentou efeito tóxico às células de mamíferos, sendo necessário mais estudos para compreensão deste efeito sobre as células normais e as cancerígenas.

Castro et al. (2004) observaram que, o extrato de raiz de *C. regium* liofilizado apresentou atividade mutagênica e citotóxica em eritrócitos da medula óssea de camundongos. Em estudo semelhante, Andrade et al. (2008) verificaram que o extrato aquoso das raízes do *C. Regium*, aplicado na medula óssea de ratos, não apresentam efeito antimutagênico.

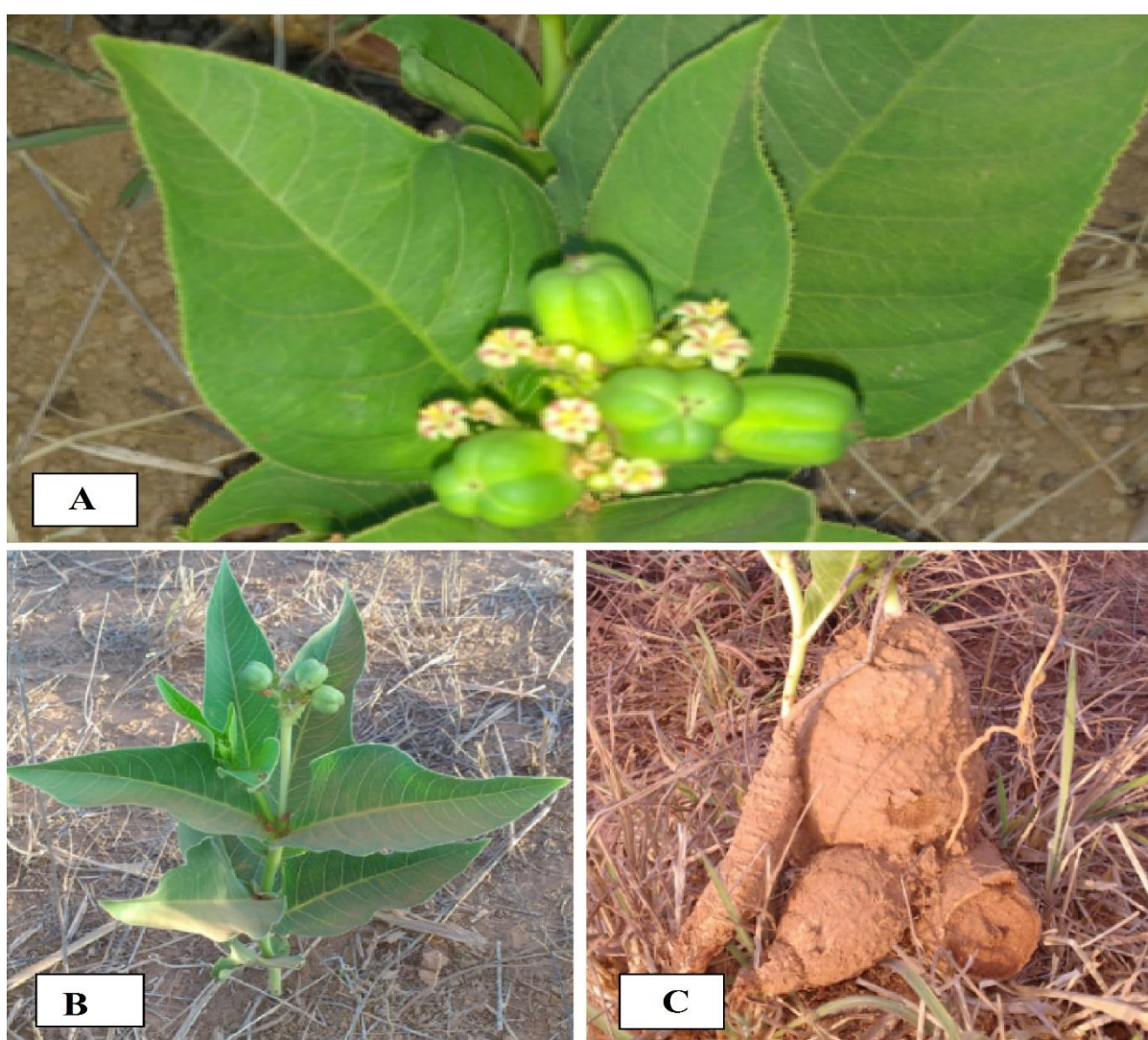
### **2.3 Batata-de-teiú (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg.)**

Está espécie é uma planta herbácea subarborescente, pertencente à família Euphorbiaceae, conhecida popularmente como “batata-de-teiú”, “purga-de-lagarto” ou “erva-de-teiú”, que ocorre no cerrado dos Estados do Mato Grosso, Goiás, Bahia e Tocantins. É uma planta de característica sazonal, podendo ser observada principalmente durante a transição da estação seca para chuvosa (SILVA, COELHO & SILVA, 1998 *apud* CEZARI, 2010). *J. elliptica* é uma planta rizomatosa, e apresenta fruto seco, trilobular, endocarpo lenhoso e de deiscência explosiva (Figura 5) (AÑEZ et al., 2005).

O extrato etanólico do rizoma da *J. elliptica* contém compostos como taninos, flavonóides e diterpenos. Além disso, apresenta atividade antibacteriana contra cepas de *Staphylococcus aureus*. Na medicina popular é utilizada, em garrafada de vinho, como

purgativo e no tratamento de reumatismo, picadas de cobra, redução de lipídeos plasmáticos, como anorexígena e problemas no sistema urinário (LIMA et al., 2006; SILVA et al., 2010; SABANDAR et al., 2013). Yazbek et al. (2016) relataram em um trabalho de revisão sobre as plantas utilizadas no tratamento da saúde da mulher (maternidade, ciclo menstrual e outras), que o látex fresco obtido do rizoma da *J. elliptica* é utilizado no tratamento do umbigo do recém-nascido.

Santos et al. (2014) verificaram que alcaloides extraídos do extrato etanoico obtido dos rizomas da *J. elliptica* são promissores para o desenvolvimento de novos medicamentos para o tratamento da esquistossomose.



**Figura 5.** Aspecto geral das folhas, flores e fruto (A), caule, folhas e frutos (B) e raízes (C) da *Jatropha elliptica* (Polh) Müll. Arg. Fonte: próprio autor.

Brun et al. (2006) mostraram que infusões com 10 gramas da raiz da *Jatropha elliptica* em 50 mL de cachaça apresenta uma concentração de  $160 \mu\text{g mL}^{-1}$  de Jatropheno, composto

que possui capacidade citotóxica que atua como agente inibidor de tumores (SABANDAR et al., 2013).

## 2.4 Amido

O amido e/ou fécula é um polissacarídeo, composto por dois polímeros: amilose, um polímero linear, e amilopectina, polímero altamente ramificado, abundante em sementes, raízes e tubérculos. A amilose é um polímero essencialmente linear (cerca de 0,3 a 0,5% das ligações podem ser ramificadas), composta de unidades de D-glicopiranosose com ligações  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4). As moléculas de amilose tendem a formar estruturas helicoidais ou espirais, devido à posição axial $\rightarrow$ equatorial de acoplamento das moléculas de D-glicopiranosose. Representa cerca de 25% da composição da maioria dos amidos, com exceção dos amidos de milho ceroso ou de alto teor de amilose, no qual varia entre 52 e 75% (ELIASSON, 2004; DAMODARAM, PARKIN & FENNEMA, 2010).

Constituída de uma cadeia que contém apenas grupos redutores terminais, nos quais se ligam numerosas ramificações, a amilopectina é uma molécula extremamente ramificada e uma das maiores moléculas encontradas na natureza, se não a maior. Está presente em todos os amidos, constituindo cerca de 75% dos amidos comuns. Amidos constituídos inteiramente de amilopectina, são denominados amidos cerosos, por apresentar aparência vítrea ou cerosa (ELIASSON, 2004).

Substâncias como lipídeos, proteínas, cinzas e sais minerais podem estar presentes, em pequenas quantidades, na composição dos amidos. A quantidade destes constituintes depende do método de extração e da composição da planta, sendo que, quanto menor o teor dessas substâncias, melhor a qualidade do amido (PERONI, 2003).

O teor de amilose e amilopectina influenciam de modo determinante nas propriedades tecnológicas do amido, tais como na temperatura de gelatinização, solubilização em água, recristalização (retrogradação), intumescimento e propriedades viscoelásticas (ELIASSON, 2004; TESTER & KARKALAS, 2004; DENARDIN & SILVA, 2009). A amilopectina contribui para o inchamento do grânulo, enquanto a amilose e os lipídios o inibem (ROCHA, DEMIATE & FRANCO, 2008).

Os grânulos de amido são estruturas semicristalinas compostos de macromoléculas lineares e ramificadas arrançadas na direção radial. Essas moléculas formam pontes de hidrogênio, e estão associadas paralelamente o que resulta no aparecimento de regiões

cristalinas (GALLANT et al., 1997). Esse arranjo torna os grânulos birrefringentes quando observados sob luz polarizada, apresentando uma cruz de polarização denominada Cruz de Malta. Os diferentes graus de ordenamento estrutural dos grânulos são responsáveis pelas propriedades de birrefringência e cristalinidade. A birrefringência óptica e as propriedades de difração de raios-X fornecem ampla evidência de uma estrutura ordenada do grânulo de amido.

## **2.5 Modificação amilácea por ultrassom**

O ultrassom é uma onda mecânica acústica que necessita de um meio para se propagar. As ondas ultrassônicas possuem frequência acima do nível audível pelo ouvido humano (20 Hz a 20 kHz) e se classificam em dois grandes grupos, dependendo da sua frequência e intensidade (CÁRCEL et al., 2012). Alta frequência (2 a 20 MHz) e baixa intensidade ( $< 1 \text{ Wcm}^{-2}$ ), compõem ultrassons de baixa energia, que não são destrutivos, tendo emprego na área de ciência de alimentos, em técnicas analíticas para promover informações sobre propriedades físico-químicas, composição, estrutura e estado físico de alimentos. Ultrassons de alta energia apresentam baixa frequência (20 a 100 kHz) e maiores níveis de intensidade (10 a  $1000 \text{ Wcm}^{-2}$ ), com energia suficiente para romper ligações intermoleculares, visto que intensidades superiores a  $10 \text{ W cm}^{-2}$  dão origem ao fenômeno da cavitação, capaz de modificar algumas propriedades físicas e favorecer reações químicas (ALVES et al., 2013; BERNARDO, ASCHERI & CARVALHO, 2016).

A cavitação é o fenômeno, responsável por boa parte dos efeitos do ultrassom sobre a matriz alimentar, sendo que ela consiste no crescimento aparente e colapso de bolhas dentro do líquido. Essas bolhas são desenvolvidas quando a onda ultrassônica atravessa o meio líquido, provocando alternância de ondas de compressão (pressão positiva) e rarefação (pressão negativa). As implosões violentas destas bolhas promovem ondas com energia de cisalhamento muito elevadas e turbulência (CÁRCEL et al., 2012; BERNARDO, ASCHERI & CARVALHO, 2016).

O ultrassom pode ser utilizado na indústria de alimentos tanto para substituir algumas técnicas tradicionais de processamento (corte, emulsificação, homogeneização, esterilização, pasteurização e desgaseificação), quanto para aperfeiçoar ou acelerar técnicas convencionais de extração, oxidação, secagem ou desidratação (CHEMAT, HUMA, & KHAN, 2011; TAO & SUN, 2015).

Além disso o ultrassom tem sido investigado tanto para aperfeiçoar processos de modificações (química e físicas) em amido, quanto para promover modificações físicas em amidos, por meio de efeitos térmicos, mecânicos ou pela cavitação. Dentre as variáveis mais investigadas para modificação de amidos, a frequência (kHz) e potência (W) do ultrassom são as mais estudadas, além de outras variáveis, como amplitude, o tempo de exposição ao ultrassom e a temperatura (BERNARDO, ASCHERI & CARVALHO, 2016).

## **2.6 Antinutricionais**

Fatores antinutricionais são compostos presentes em alimentos de origem vegetal que, quando ingeridos, alteram o valor nutritivo desses alimentos. Eles interferem na digestibilidade do alimento, reduzindo a absorção ou utilização de nutrientes, especialmente de proteínas, vitaminas e minerais, a disponibilidade biológica dos aminoácidos essenciais e minerais, além de provocar irritações e lesões da mucosa gastrintestinal (BENEVIDES et al., 2011; NIKMARAM et al., 2017). Esses fatores podem ser toxinas, como os compostos cianogênicos, ou antinutrientes, como os taninos, nitratos, inibidores de tripsina, entre outros. O nível de de cada composto varia no vegetal dependendo da variedade, cultivar, tipo e solo entre outros fatores (KAUSHAL, KUMAR, & SHARMA, 2012).

Os taninos são substâncias naturais encontradas em plantas, pertencentes à classe dos polifenóis, os quais são antioxidantes naturais (XU; CHANG, 2010). Dentre os compostos fenólicos, os taninos são considerados antinutrientes pois reduzem a digestibilidade da proteína, de carboidratos e minerais, além de causar lesões à mucosa do sistema digestivo (KAUSHAL, KUMAR, & SHARMA, 2012). Estes compostos apresentam uma alta capacidade para formar complexos proteicos insolúveis que formam precipitados, inibindo a digestão de proteínas e aminoácidos (DA LUZ et al., 2013). No entanto, os taninos também podem atuar como antioxidantes, ou seja, fatores protetores contra patologias mediadas por radicais livres, como câncer e aterosclerose, dependendo da quantidade ingerida (ANDUALEM; GESSESSE, 2014).

Os nitratos estão presentes em todas as plantas e são fontes de nitrogênio para o crescimento normal da planta. O acúmulo excessivo de nitrato em vegetais torna-se um fator antinutricional, uma vez que o nitrato apresenta efeitos tóxicos em decorrência formação de metahemoglobina, que se constitui em um complexo estável da hemoglobina das hemácias do sangue com o nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), originado a partir da redução do  $\text{NO}_3^-$  absorvido dos alimentos pelo organismo, e que é incapaz de transportar oxigênio para as células. Além disso, o nitrato

favorece o aparecimento de nitrosaminas – complexos de aminas secundárias com o nitrito, que são cancerígenos (STEINER et al., 2017). O nível de nitrato dentro de um determinado vegetal pode variar consideravelmente, e depende da estação e ano de cultivo, método de crescimento (orgânico versus convencional, protegido vs. ar aberto), incidência de luz solar, composição e pH do solo, tipo de fertilizantes utilizados, horário da coleta, método de cocção e preservação, além do procedimento analítico usado para avaliar a concentração de nitrato (BLEKKENHORST et al., 2017; BONDONNO et al., 2017). A Organização Mundial para Agricultura e Alimentação (OMAA) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceram como admissível a dose diária de 3,65 mg do íon nitrato por quilograma de peso corporal. No entanto, há estudos que relatam que os nitratos em quantidades pequenas podem apresentar benefícios à saúde (BEDALE, SINDELAR & MILKOWSKI, 2016; BONDONNO et al., 2017; GHASEMI & JEDDI, 2017).

Os inibidores de tripsina são pequenas proteínas ou polipéptidos que podem reduzir a atividade biológica das enzimas proteolíticas, como a tripsina e a quimiotripsina, e podem levar ao desenvolvimento de certas doenças em animais e humanos. O papel inibitório destes compostos vem de suas ligações à tripsina e outras proteínas, induzindo grandes alterações conformacionais e causando a agregação e desdobração de proteínas (CHANPHAI & TAJMIR-RIahi, 2017; JASTI et al., 2014). Alimentos com alto teor de inibidores de tripsina interferem no processo de digestão de proteínas, dificultando a absorção proteica pelo organismo, pois, a ingestão desses pode resultar na formação de um complexo tripsina-inibidor de tripsina irreversível (CABRERA-OROZCO, JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, & DÁVILA-ORTIZ, 2013). No entanto, inibidores de tripsina podem ser facilmente inativados com tratamento térmico, pois são proteínas (grupo de enzimas serina endopeptidases) que perdem sua atividade com a desnaturação, sendo que este depende do tempo do tratamento, temperatura empregada e o conteúdo de água da amostra. Secagem convencional com ar forçado e o forneamento são alguns dos métodos comumente usados na eliminação do inibidor de tripsina (VAGADIA, VANGA, & RAGHAVAN, 2017).

## **2.7 Fermentação semissólida**

Uma das principais estratégias para a produção de celulases por microrganismos é a fermentação no estado sólido (FSS). A FSS pode ser definida como um processo que inclui o cultivo de microrganismos na presença de uma fase líquida com máxima concentração de

substrato em suportes sem movimento (TRY et al., 2018). Na FSS há ausência ou quase ausência de água livre (PANDEY et al., 2003). A água presente nesses sistemas encontra-se complexada com a matriz sólida de substrato ou como uma fina camada absorvida pela superfície das partículas.

Resíduos agroindustriais, como farelo de trigo e o bagaço de cana, podem ser utilizados como substrato para produção de enzimas na FSS. O crescimento dos microrganismos sobre os resíduos produz enzimas de importante aplicação, incluindo: pectinases, celulases, xilanases, amilases, ligninases, inulinases, quitinases e fitases. Além disso, as enzimas produzidas são mais resistentes ao calor pois possuem uma maior estabilidade térmica (AGUILAR et al. 2004; GRAMINHA et al., 2008). Os extratos, obtidos a partir da fermentação semissólida, podem ser aplicados como aditivos de alimentos de ruminantes, nas indústrias têxtil, de alimentos, detergentes e na produção de bioetanol de segunda geração (SINGHANIA et al., 2010).

Os fungos são os organismos mais adaptados a FSS, isso se deve a presença de hifas que crescem sobre as superfícies e penetram nos espaços entre as partículas colonizando o substrato. No entanto, há muitos estudos que apresentam resultados satisfatórios usando bactérias filamentosas na FSS, sendo que a bactéria *Streptomyces thermocerradoensis* I3, isolada a partir do solo do cerrado, é uma cepa eficiente para a degradação de material celulósico, produzindo extratos enzimáticos com atividade enzimática para celulases (BRITO-CUNHA et al., 2015).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Extrair farinha e fécula de *Hedychium coronarium* Koen, *Cochlospermum regium* e *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg, caracterizando-as quanto às suas propriedades físico-químicas, morfológicas, térmicas e funcionais, visando a aplicação destas na produção de extratos enzimáticos e na hidrólise enzimática.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Avaliar o padrão de cor das farinhas e amidos;

Determinar as temperaturas iniciais, de pico e final, e a entalpia de gelatinização, além da temperatura de transição vítrea e de destruição de complexos entre componentes dos amidos e farinhas;

Determinar o índice de absorção e solubilidade em água dos amidos em diferentes temperaturas;

Avaliar a morfologia dos grânulos dos amidos extraídos por microscopia eletrônica de varredura (MEV);

Obter o padrão de cristalinidade dos amidos obtidos;

Avaliar os amidos com a técnica de ressonância magnética nuclear (RMN);

Estudar as propriedades de pasta dos amidos;

Determinar as alterações nas propriedades físico-químicas do amido submetido ao ultrassom em diferentes intensidades, tempo de exposição e concentração da solução;

Quantificar a capacidade de absorção de água e óleo das farinhas obtidas, bem como a solubilidades destas em água;

Determinar os compostos fenólicos totais e a capacidade antioxidante presente nas farinhas obtidas;

Verificar se há presença de fatores anti-nutricionais, e quantificar os fatores anti-nutricionais presentes;

Verificar a viabilidade das farinhas para a produção de extratos enzimáticos;

Avaliar as alterações quanto ao conteúdo de açúcares, proteína e compostos fenólicos das farinhas submetidas a hidrólise enzimática;

## REFERÊNCIAS

- AGUILAR, C. N.; CONTRETRAS-ESQUIVEL, J. C.; RODRIGUEZ, R.; PRADO, L. A.; LOERA, O. Differences in fungal enzyme productivity in submerged and solid-state cultures. **Food Science and Biotechnology**, Seoul, v.13, p.109-113, 2004.
- ALVES, L. DE L.; CICHOSKI, A. J.; BARIN, J. S.; RAMPELOTTO, C.; DURANTE, E. C. O ultrassom no amaciamento de carnes. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, p. 1522-1528, 2013.
- ANDRADE, L. S.; SANTOS, D. B.; CASTRO, D.B.; GUILLO, L. A.; CHEN-CHEN, L. Absence of antimutagenicity of *Cochlospermum regium* (Mart. and Schr.) Pilger 1924 by micronucleus test in mice. **Brazil Journal of Biology**, São Carlos, v. 68, p. 155-159, 2008.
- ANDUALEM, B.; GESSESSE, A. Proximate composition, mineral content and antinutritional factors of Brebra (*Millettia ferruginea*) seed flour as well as physicochemical characterization of its seed oil. **Springer Plus**, London, v. 3, n. 298, p. 1-10, 2014.
- AÑEZ, L. M. M.; COELHO, M. F.B., ALBUQUERQUE, M. C.F.; DOMBROSKI, J. L. D. Caracterização morfológica dos frutos, das sementes e do desenvolvimento das plântulas de *Jatropha elliptica* Müll. Arg. (Euphorbiaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 563-568, 2005.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução CNNPA nº 12, de 1978**. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/12\\_78.htm](http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/12_78.htm)> Acesso em: 13 de jul. 2016.
- ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 2, 2008: Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos**. 2008. Disponível em <[http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno\\_lista\\_alega.htm](http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm)>. Acesso em: 12 de mai. 2016.
- ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. DE S.; ASCHERI, J. L. R.; FREITAS JUNIOR, E. A., Propriedades termodinâmicas de adsorção de água do amido de rizomas do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 454-462, 2009.
- ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. DE S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 6, p. 159-166, 2010.
- BEDALE, W.; SINDELAR, J. J.; MILKOWSKI, A. L. Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions. **Meat Science**, v. 120, p. 85-92, 2016.
- BENEVIDES, C. M. J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011.

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

BLEKKENHORST, L. C.; PRINCE, R. L.; WARD, N. C.; CROFT, K. D.; LEWIS, J. R.; DEVINE, A.; VSHINDE, S.; WOODMAN, R. J.; HODGSON, J. M.; BONDONNO, C. P. Development of a reference database for assessing dietary nitrate in vegetables. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 61, p. 1-13, 2017.

BONDONNO, C. P.; BLEKKENHORST, L. C.; LIU, A. H.; BONDONNO, N. P.; WARD, N. C.; CROFT, K. D.; HODGSON, J. M. Vegetable-derived bioactive nitrate and cardiovascular health. **Molecular Aspects of Medicine**. In Press. 2017.

BRITO-CUNHA, C. C.; GAMA, A. R.; JESUINO, R. S.; FARIA, F. P.; BATAUS, L. A. M. Production of cellulases from a novel thermophilic *Streptomyces thermocerradoensis* I3 using agricultural waste residue as substrate. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences**, Madison, v. 4, n. 1, p. 90-99, 2015.

CABRERA-OROZCO, A.; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, C.; DÁVILA-ORTIZ, G. Soybean: non-nutritional factors and their biological functionality. In: EL-SHEMY, H. A.(ed.) **Soybean-Bioactive compounds**. InTech, 2013, 556 p.

CÁRCEL, J. A.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; BENEDITO, J.; MULET, A. Food process innovation through new technologies: use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, London, v. 110, n. 2, p. 200-207, 2012.

CASTRO, D. B.; SANTOS, D. B.; FERREIRA, H. D.; SANTOS, S. C.; CHEN-CHEN, L. Atividades mutagênica e citotóxica do extrato de *Cochlospermum regium* Mart. (algodãozinho-do-campo) em camundongos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 6, p. 15-19, 2004.

CESCHINI, L.; CAMPOS, E. G. Cytotoxic effects of *Cochlospermum regium* (Mart & Schrank) Pilger aqueous root extract on mammalian cells. **Journal of Ethnopharmacology**, Limerick, v. 103, p. 302–305, 2006.

CEZARI, E. J. **Plantas medicinais: atividade antitumoral do extrato bruto de sete plantas do cerrado e o uso por povos tradicionais**. 2010. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2010.

CHEMAT, F.; HUMA, Z.; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, Amsterdam, v. 18, n. 4, p. 813-835, 2011.

COUTO, O. S.; CORDEIRO, R. M. S. **Manual de reconhecimento de espécies vegetais da restinga do Estado de São Paulo**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, Departamento Estadual de Proteção de recursos naturais - DEPRN, 2005, 340p.

CUNHA, G. H. DA; MORAES, M. O. DE; FECHINE, F. V.; BEZERRA, F. A. F.; SILVEIRA, E. R.; CANUTO, K. M.; MORAES, M. E. A. DE. Vasorelaxant and

antihypertensive effects of methanolic fraction of the essential oil of *Alpinia zerumbet*. **Vascular Pharmacology**, New York, v. 58, p. 337–345, 2013.

DA LUZ, J. M. R.; PAES, S. A.; TORRES, D. P.; NUNES, M. D.; DA SILVA, J. S.; MANTOVANI, H. C.; KASUYA, M. C. M. Production of edible mushroom and degradation of antinutritional factors in jatropha biodiesel residues. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 50, p. 575-580, 2013.

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

DIAS, J. E.; LAUREANO, L. C. **Farmacopéia popular do cerrado**. Brasília: Associação Pacari, 2009.

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

ENDRINGER, D. C.; TAVEIRA, F. S. N.; KONDRATYUK, T. P.; PEZZUTO, J. M.; BRAGA, F. C. Cancer chemoprevention activity of labdane diterpenes from rhizomes of *Hedychium coronarium*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, São Paulo, v. 24, p. 408-412, 2014.

ESTADÃO. **Flor e rizoma do *Hedychium Coronarium***. Disponível em: <http://infograficos.estadao.com.br/paladar/cozinha-do-brasil/2013/ing-raiz-lirio.html> . Acesso em 18 de jul. 2016.

FACUNDO, V. A.; MOREIRA, L. S. Estudo fitoquímico e farmacológico dos constituintes fixos e voláteis de *Hedychium coronarium* J. Koen. (Zingiberaceae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 45., 2005, Belém. **Anais...** Belém, Associação Brasileira de Química, 2005.

GHASEMI, A.; JEDDI, S. Anti-obesity and anti-diabetic effects of nitrate and nitrite. **Nitric Oxide**, v. 70, p. 9-24, 2017.

GRAMINHA, E. B. N.; GONÇALVES, A. Z. L.; PIROTA, R. D.; BALSALOBRE, M. A. A.; SILVA, R.; GOMES, E. Enzyme production by solid-state fermentation: Application to animal nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 144, p. 1-22, 2008.

INSTITUTO HÓRUS. **Base de dados nacional de espécies exóticas invasoras I3N Brasil**, Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis – SC. <http://i3n.institutohorus.org.br/www>. Acesso em 17/07/2016.

JASTI, L. S.; FADNAVIS, N. W.; ADDEPALLY, U.; DANIELS, S.; DEOKAR, S.; PONRATHNAM, S. Comparison of polymer induced and solvent induced trypsin denaturation: The role of hydrophobicity. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 116, p. 201-205, 2014.

JOSHIA, S.; CHANOTIYA, C. S.; AGARWALA, G.; PRAKASHA, O.; PANTA, A. K.; CHANDRA S.; MATHELA, C. S. Terpenoid compositions, and antioxidant and

antimicrobial properties of the rhizome essential oils of different *Hedychium* species. **Chemistry & Biodiversity**, Zürich, v. 5, p. 299-309, 2008.

JOY, B.; RAJAN, A.; ABRAHAM, E. Antimicrobial activity and chemical composition of essential oil from *Hedychium coronarium*. **Phytotherapy Research**, London, v. 21, p. 439–443, 2007.

KAUSHAL, P.; KUMAR, V.; SHARMA, H. K. Comparative study of physicochemical, functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 48, p. 59-68, 2012.

KIEM, P. V.; ANH, H. L. T.; NHIEM, N. X.; MINH, C. V.; THUY, N. T. K.; YEN, P. H.; HANG, D. T.; TAI, B. H.; MATHEMA, V. B.; KOH, Y. S.; KIM, Y. H. Labdane-type diterpenoids from the rhizomes of *Hedychium coronarium* inhibit lipopolysaccharide-stimulated production of proinflammatory cytokines in bone marrow-derived dendritic cells. **Chemical Pharmaceutical Bulletin**, Tokyo, v. 60, n. 2, p. 246—250, 2012.

LIMA, M. R. F.; LUNA, J. S.; SANTOS, A. F.; ANDRADE, M. C. C.; SANT'ANA, A. E. G.; GENET, J. P.; MARQUEZ, B.; NEUVILLE, L.; MOREAU, N. Antibacterial activity of some Brazilian medicinal plants. **Journal of Ethnopharmacol**, Limerick, v. 105, p. 137-147, 2006.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de. **Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbustivas e trepadeiras**. 2ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 2015.

MEU DETOX. **Flor e folhas do *Hedychium coronarium***. Disponível em: <http://meudetox.com/blog/conheca-a-flor-pode-ser-consumida-crua-na-salada/> . Acesso em 18 de jul. 2016.

NADER, T. T.; COPPEDE, J. S.; AMARAL, L. A.; FACHIN, A. L.; FERREIRA, L. M.; PEREIRA, A. M. S. Avaliação in vitro da eficácia de extratos de plantas medicinais do Cerrado frente *Staphylococcus aureus* isolado de difetentes fontes de propriedades leiteiras. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 3, p. 429-433, 2010.

NIKMARAM, N.; LEONG, S. Y.; KOUBAA, M.; ZHU, Z.; BARBA, F. J.; GREINER, R.; OEY, I.; ROOHINEJAD, S. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. **Food Control**, Vurrey, v. 79, p. 62-73, 2017.

NUNES, G. P. L.; SILVA, M. F.; RESENDE, U. M. L.; SIQUEIRA, J. M. Plantas medicinais comercializadas por raizeiros no centro de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira Farmacognosia**, São Paulo, v. 13, p. 83-92, 2003.

OLIVEIRA, D. M. de. *Cochlospermum regium* (Mart. ex Schrank) Pilg. **Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFLORA)**. 2012. Disponível em: <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cochlospermum%20regium>. Acesso em 17 de mai. de 2016.

PANDEY, A. Solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, Amsterdam v. 13, n. 2, p. 81-84, 2003.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003.118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2003.

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

SABANDAR, C. W.; NORIZAN, A.; FARIDAHANIM, M. J.; SAHIDIN, I. Medicinal property, phytochemistry and pharmacology of several *Jatropha species* (Euphorbiaceae): A review. **Phytochemistry**, New York, v. 85, p. 7–29, 2013.

SANTOS, A. F. dos; FONSECA, S. A.; CÉSAR, F. A.; ALBUQUERQUE, M. C. P. de A.; SANTANA, J. V.; SANTANA, A. E. G. A penta-substituted pyridine alkaloid from the rhizome of *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell. Arg. is active against *Schistosoma mansoni* and *Biomphalaria glabrata*. **Journal of Parasitology Research**, New York, v. 113, p. 1077–1084, 2014.

SANTOS, S. B.; PEDRALLI, G.; MEYER, S. T. Aspectos da fenologia e ecologia de *Hedychium coronarium* (Zingiberaceae) na estação ecológica do Tripuí, Ouro Preto-MG, **Planta Daninha**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 175-80, 2005.

SHEKHAR, T. C.; ANJU, G. A comprehensive review on *Hedychium coronarium j. Koenig. (dolancharpa / kapurkachri)*. **International Journal Research Ayurveda Pharmacology**, Rampur, v. 6, n. 1, 2015.

SILVA, M. A. B. DA; MELO, L. V. L.; RIBEIRO, R. V.; SOUZA, J. M. DE; LIMA, J. C. S.; MARTINS, D. T. DE O.; SILVA, R. M. DA. Levantamento etnobotânico de plantas utilizadas como anti-hiperlipidêmicas e anorexígenas pela população de Nova Xavantina-MT, Brasil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 549-562, 2010.

SILVA, S. M. P.; COELHO, M. F. B.; SILVA, A. M. Aspectos fenológicos de purga-de-lagarto (*Jatropha elliptica* M. Arg. – Euphorbiaceae) em Santo Antônio de Leverger - MT. 1998. *Apud* CEZARI, E. J. **Plantas medicinais: atividade antitumoral do extrato bruto de sete plantas do cerrado e o uso por povos tradicionais**. 2010. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2010.

SINGH, N.; SINGH, M. S. Endangered wild medicinal plants of Manipur. Asian Agri-History. **Secunderabad: Asian Agri-History Foundation**, Tandur, v. 13, p. 221-225, 2009.

SINGHANIA, R. R.; SUKUMARAN, R. K.; PATEL, A. K.; LARROCHE, C.; PANDEY, A. Advancement and comparative profiles in the production technologies using solid-state and submerged fermentation for microbial cellulases. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 2, p. 541-549, 2010.

- SOLON, S.; CAROLLO, C. A.; BRANDÃO, L. F. G.; MACEDO, C. S.; KLEIN, A.; DIAS-JÚNIOR, C. A.; SIQUEIRA, J. M. Phenolic derivatives and other chemical compounds from *Cochlospermum regium*. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 6, p. 1169-1172, 2012.
- STEINER, F.; ZOZ, T.; RUPPENTHAL, V.; DE MORAES ECHER, M. Acúmulo de nitrato e produção de chicória (*Cichorium endivia* L.) submetida à adubação nitrogenada sob cultivo protegido. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 12-23, 2017.
- SURESH, G.; REDDY, P. P.; BABU, K. S.; SHAIK, T. B.; KALIVENDI, S. V. Two new cytotoxic labdane diterpenes from the rhizomes of *Hedychium coronarium*. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, Oxford, v. 20, p. 7544–7548, 2010.
- TAO, Y.; SUN, D. Enhancement of food processes by ultrasound: a review. **International journal of Food Science and Nutrition**, Basingstoke, v. 55, n. 4, p. 570-594, 2015.
- TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch structure and digestibility: Enzyme substrate relationship. **World's Poultry Science Journal**, London, v. 60, p. 186–195, 2004.
- TOLEDO, M. I.; SIQUEIRA, J. M. de; OGA, S.; ARAUJO, L. C. L. Acute and subacute toxicity of *Cochlospermum regium*. **Phytotherapy Research**, London, v. 14, n. 5, p. 359-361, 2000.
- TRY, S.; DE-CONINCK, J.; VOILLEY, A.; CHUNHIENG, T.; WACHÉ, Y. Solid state fermentation for the production of  $\gamma$ -decalactones by *Yarrowia lipolytica*. **Process Biochemistry**, London, v. 64, p. 9-15, 2018.
- VAGADIA, B. H.; VANGA, S. K.; RAGHAVAN, V. Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor – A review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 64, p. 115-125, 2017.
- VERMA, M.; BANSAL, Y. K. Butterfly Lilly (*Hedychium Coronarium* Koenig) : An endangered medicinal plant. **Plant Archives**, Heonra(Saifai)-Etawah, v. 10, n. 2, p.841-843, 2010.
- XU, B.; CHANG, S. K. C. Phenolic substance characterization and chemical and cell-based antioxidant activities of 11 lentils grown in the northern United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, n. 3, p. 1509-1517, 2010.
- YAZBEK, P. B.; TEZOTO, J.; CASSAS, F.; RODRIGUES, E. Plants used during maternity, menstrual cycle and other women's health conditions among Brazilian cultures. **Journal of Ethnopharmacology**, Limerick, v. 179, p. 310–331, 2016.
- ZHAN, Z.-J.; WEN, Y.-T.; REN, F.-Y.; RAO, G.-W.; SHAN, W.-G.; LI, C.-P. Diterpenoids and a diarylheptanoid from *Hedychium coronarium* with significant anti-angiogenic and cytotoxic activities. **Chemistry & Biodiversity**, Zürich, v. 9, p. 165-174, 2012.

## CAPÍTULO 2

### EXTRAÇÃO, PROPRIEDADES TÉRMICAS, ESTRUTURAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDO DE RAÍZES DE ALGODÃOZINHO-DO-CAMPO

**Resumo:** Para dar a funcionalidade necessária às diversas aplicações na indústria de alimentos, o amido muitas vezes necessita ser modificado. Uma opção aos custos adicionais da modificação são os amidos alternativos. *Cochlospermum regium*, planta nativa do cerrado brasileiro, conhecida como algodãozinho-do-campo, é utilizada na medicina popular para o tratamento de infecções e inflamações, e suas raízes podem ainda apresentar potencial para a extração de amido. Esta pesquisa visa contribuir com a literatura científica, disponibilizando dados inéditos sobre o rendimento do processo, bem como, avaliar as características térmicas, estruturais e físico-químicas do amido de raízes de algodãozinho-do-campo. O rendimento da extração de amido foi de  $42.3 \pm 1.6\%$ , sendo o produto obtido um pó branco ligeiramente amarelado, com um total de 98.83% de carboidrato (b.s.), e baixos teores de cinzas, proteínas, lipídios e fibra alimentar total. O amido de algodãozinho-do-campo apresentou teor de amilose de  $35.9 \text{g}100\text{g}^{-1}$ , cristalinidade de 45.8% e cruz de malta sob luz polarizada, além de espectro de infravermelho com transformada de Fourier, curva termogravimétrica e difratograma tipo A típicos de amido de raízes e tubérculos. A temperatura inicial de gelatinização foi de  $74.33^\circ\text{C}$ , a de pico  $78.47^\circ\text{C}$ , e a final  $92.25^\circ\text{C}$ . Este amido sob temperatura de cozimento absorve menos água e se solubiliza menos que o amido de milho, mantendo mais a estrutura dos grânulos no produto final, podendo contribuir para a melhoria da textura do produto final. Conclui-se que a extração é viável, e o amido de algodãozinho-do-campo possui alta pureza e características térmicas, estruturais e físico-químicas adequadas à indústria de alimentos.

**Palavras-chave:** Amilose, difractometria de raio-X, calorimetria, absorção de água, *Cochlospermum regium*.

## 25 1 INTRODUÇÃO

26 O amido é amplamente utilizado na indústria alimentícia, sendo que suas propriedades  
27 térmicas, estruturais e físico-químicas são determinantes para a efetiva eficácia nas diferentes  
28 aplicações, sendo muitas vezes necessária a modificação do amido (física, química ou  
29 enzimática), para a adequação do produto às necessidades da indústria (Almeida, Bora, &  
30 Zárate, 2013; Sukhija, Singh, & Riar, 2016). No entanto, amidos alternativos podem dar a  
31 funcionalidade exigida em diversas aplicações sem modificação, uma vez que as propriedades  
32 do amido variam, dependendo da origem da matéria-prima do qual foi extraído.

33 Acredita-se que tais diferenças resultam de diferenças na proporção de amilose /  
34 amilopectina dos grânulos de amido, peso molecular destes componentes, distribuição e  
35 comprimento da cadeia de amilopectina, disposição dos componentes do amido no grânulo e  
36 presença de componentes menores (proteínas, lipídios, fósforo) (HOYOS-LEYVA et al., 2017).  
37 Logo, a busca por novas fontes de amido é um caminho para a descoberta de produtos com  
38 propriedades diferentes, que possam atender às necessidades da indústria.

39 *Cochlospermum regium*, pertencente à família Cochlospermaceae, é uma planta nativa  
40 do Cerrado brasileiro, muito utilizada na medicina popular para o tratamento de infecções e  
41 inflamações. Alguns estudos avaliaram as propriedades terapêuticas dos extratos obtidos a  
42 partir de raízes de algodãozinho-do-campo (CUNHA-LAURA et al., 2013; SOLON et al., 2012;  
43 NADER et al., 2010).

44 A farmacopeia popular do cerrado cita o uso do amido extraído a partir de raízes do  
45 algodãozinho-do-campo, que possui aparência similar ao do amido da mandioca, como anti-  
46 inflamatório para o tratamento de enfermidades do sistema reprodutor feminino (Dias &  
47 Laureano, 2009). No entanto, não existem estudos científicos a respeito do processo de  
48 extração, nem sobre as propriedades térmicas, estruturais e físico-químicas de tal amido,

49 visando seu aproveitamento pela indústria de alimentos, o que constuiu o objetivo desta  
50 pesquisa.

## 51 **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 52 **2.1 Material**

53 As raízes de *Cochlospermum regium* (algodãozinho-do-campo) foram coletadas em  
54 julho de 2016, no município de Uruaçu-GO (-14.264977, -48.973811), em área de mata  
55 preservada. E foram armazenadas em embalagens de polietileno de baixa densidade e mantidas  
56 sobre refrigeração a temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$  durante o transporte, e até o momento da extração.

### 57 **2.2 Extração do amido**

58 As raízes foram selecionadas quanto a aparência e estado sanitário, descascadas,  
59 cortadas e mergulhadas em uma solução de metabissulfito ( $5\text{ g L}^{-1}$  de água), numa proporção  
60 de 1 kg de matéria-prima para 2 L de solução de metabissulfito. Em seguida, foram trituradas  
61 em liquidificador, com a adição de água na proporção de 2 L para 1 kg de raiz. O amido foi  
62 extraído por meio de três peneiragens e lavagens sucessivas da massa obtida, utilizando tamises  
63 com malhas entre 35 e 400 *mesh*. Em cada etapa, o material peneirado foi deixado em repouso  
64 até a decantação da suspensão, e o sobrenadante foi descartado. Após a última etapa da extração,  
65 o amido foi seco em estufa com circulação de ar a  $35^{\circ}\text{C}$  por 48 h, o tamanho das partículas  
66 reduzido com gral e pistilo, e enfim passado em peneira com orifícios de  $500\ \mu\text{m}$ . O rendimento  
67 foi calculado como a relação entre o peso inicial da raiz sem casca (500 g) e o peso do produto  
68 final, sendo os resultados expressos em  $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ . O rendimento médio foi determinado em três  
69 extrações (repetições).

### 70 **2.3 Cor**

71 A luminosidade (zero = preto e 100 = branco) e as coordenadas de cromaticidade  $a^*$   
72 (negativo = verde, e positivo = vermelho) e  $b^*$  (negativo = azul, positivo = amarelo) foram

73 determinadas em colorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA), calibrado com  
74 placa branca (Reddy, Luan & Xu, 2017). A croma (saturação da cor) e o ângulo Hue (tonalidade  
75 ou matriz) foram calculados partir das equações 1 e 2, respectivamente, nas quais  $C^*$  =  
76 cromaticidade;  $H^\circ$  = ângulo Hue;  $\tan^{-1}$  = arco tangente.

$$77 \quad C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$78 \quad H^* = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

## 79 **2.4 Composição centesimal e atividade de água**

80 A umidade foi quantificada em estufa a 105°C até peso constante e as cinzas por  
81 pesagem após incineração a 550 °C em forno mufla. O teor de nitrogênio foi determinado pelo  
82 método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 6.25 resultou no teor de proteína bruta. Os  
83 lipídeos foram extraídos com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet. Para obtenção do teor  
84 de fibra alimentar total foi utilizado o método enzimico-gravimétrico utilizando a amostra  
85 desengordurada no Soxhlet. O teor de carboidratos totais foi obtido por diferença. Todas as  
86 análises seguiram as recomendações da AOAC (2012). A atividade de água foi determinada no  
87 AquaLab digital (AquaLab, Series 3TE, Pullman, USA), acoplado a um banho termostático  
88 controlado, na temperatura de 25 °C. Todas as análises foram realizadas em triplicata, em três  
89 amostras (repetições originais).

## 90 **2.5 Amilose**

91 O teor de amilose foi determinado por espectroscopia, de acordo com o método da  
92 American Association of Cereal Chemistry (AACCC, 2000). Os valores das absorbâncias, lidas  
93 em 620 nm, de cada amostra foram inseridos na equação da reta ( $r^2 = 0.9993$ ) da curva de  
94 calibração feita com amilose pura (Sigma-Aldrich), na faixa de 0.004 – 0.024 mg mL<sup>-1</sup>.

## 95 **2.6 Espectroscopia em infra-vermelho com transformada de Fourier**

96 Pastilha de brometo de potássio (KBr) e equipamento Bomem Hartmann & Braun,  
97 marca MB 102 (Quebec, Canadá), operando na região entre 400-5600  $\text{cm}^{-1}$ , com 12 varreduras  
98 e resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  foram utilizados. Para preparar as pastilhas aproximadamente 1 mg de  
99 amostra foi misturado com 100 mg de KBr, e a mistura comprimida entre dois pastilhadores até  
100 a pastilha ficar translúcida (Di-Medeiros et al., 2014).

## 101 **2.7 Microscopia óptica sob luz polarizada**

102 A amostra de amido (1 mg) foi disposta em lâmina de vidro, imersa em uma gota de  
103 glicerol, coberta com uma lamínula de vidro e levada ao microscópio óptico (Zeiss Axioskop-  
104 MC80) sob luz polarizada, para observação em magnitudes de ampliação de 100 a 400X, e  
105 verificação da birrefringência conforme Huang et al (2015).

## 106 **2.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

107 A amostra previamente desidratada foi fixada com fita dupla face em suportes de  
108 alumínio, e metalizada com uma camada de ouro de 350 Å de espessura. Utilizou-se  
109 microscópio eletrônico de varredura (JEOL, JSM – 6610, ). Os grânulos de amido foram  
110 examinados com aumento de 500 a 2000 vezes (Di-Medeiros et al., 2014).

## 111 **2.9 Cristalinidade do amido nativo**

112 Para análise de difratometria de raios-X foi utilizado difratômetro (Shimadzu, XRD-  
113 6000) com tubo de cobre, radiação  $K\alpha$ , 40 kV e 100 mA, com varredura entre 10.0° - 80.0° em  
114 ângulo de 2 $\theta$ . As amostras de amido nativo foram secas durante 24 h e mantidas em um  
115 dessecador, contendo sílica, até momento da análise. O grau de cristalinidade foi estimado  
116 quantitativamente, seguindo o método de Nara e Komiy (1983) e foi definido como a razão  
117 entre a área da região cristalina e a área total coberta pela curva.

## 118 **2.10 Propriedades térmicas**

119 As propriedades térmicas do amido nativo foram determinadas com o calorímetro  
120 diferencial de varredura (*Diferencial Scanner Calorimeter – DSC*) (TA Instruments, Q20, New

121 Castle, UK), segundo Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009). A amostra (2 mg em base seca)  
122 foi colocada em recipiente de alumínio próprio para o equipamento, água destilada (6 µL) foi  
123 adicionada, e o porta amostra foi selado em prensa específica e mantido por 12 h a 25 °C até a  
124 homogeneização da umidade. O aquecimento ocorreu no intervalo entre 40 e 110 °C, a uma  
125 taxa de 10 °C min<sup>-1</sup>. A partir da curva obtida, a entalpia de gelatinização (ΔH), o intervalo de  
126 temperatura de gelatinização (ΔT), e as temperaturas no início (To), no pico (Tp) e no final (Tc)  
127 da gelatinização foram estimadas por meio da utilização do aplicativo TA Universal Analysis  
128 (TA Instruments, New Castle, UK).

### 129 **2.11 Termogravimetria (TG)**

130 As propriedades termogravimétricas (temperaturas de perda da água de hidratação e  
131 decomposição das cadeias poliméricas) da amostra (7,5 mg) foram medidas com um analisador  
132 térmico (Shimadzu, DTG 60/60H), com temperaturas variando entre 25 e 500 °C e taxa de  
133 aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. O teste foi conduzido sob atmosfera de nitrogênio, utilizando  
134 cadinho de alumínio (Di-Medeiros et al., 2014).

### 135 **2.12 Solubilidade e absorção de água em diferentes temperaturas**

136 Os índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) sob diferentes  
137 temperaturas foram determinados segundo Leach, McCowen e Schoch (1959). As amostras (2.5  
138 g) foram acondicionadas em tubos de centrifuga, previamente tarados. Em seguida, 30 mL de  
139 água destilada foram adicionados, e os tubos em banho Maria foram agitados por 30 min em  
140 temperatura de 55 °C, 65 °C, 80 °C ou 90 °C, e centrifugados a 50 Hz por 15 min. O sobrenadante  
141 foi recuperado cuidadosamente com auxílio de pipeta volumétrica de 10 mL. O valor de IAA  
142 foi calculado (equação 3), e o resultado expresso em g de precipitado por g de matéria seca. O  
143 índice de solubilidade em água (ISA) foi calculado pela relação entre as massas do resíduo seco  
144 do sobrenadante (resíduo da evaporação) e da amostra (equação 4), e expresso em percentual  
145 (g 100g<sup>-1</sup>). Nas quais: ISA= índice de absorção de água (g g<sup>-1</sup>); PRE= massa do resíduo da

146 evaporação (g); PRC= massa do resíduo da centrifugação (g); PA= massa da amostra (g) (base  
147 seca).

$$148 \quad IAA = \frac{\text{Peso do precipitado}}{\text{Peso da amostra(bs)}} \quad \text{Equação (3)}$$

$$149 \quad ISA = \left\{ \left[ \frac{\text{PRE}}{\text{PA}} \right] 3 \right\} 100 \quad \text{Equação (4)}$$

## 150 **2.13 Propriedade de pasta**

151 A amostra (2.5 g) foi dispersa em 25 mL de água destilada na cápsula do *Rapid Visco*  
152 *Analyzer -RVA* (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia). A marcha utilizada na análise foi  
153 inicialmente 50°C durante 1 min, aquecimento até 95 °C a taxa de 9.5 °C min<sup>-1</sup>, manutenção a  
154 95°C durante 2.5 min, e resfriamento para 50 °C a taxa de 11.842 °C min<sup>-1</sup>. O pico de  
155 viscosidade (PV), a viscosidade final (VF), a quebra de viscosidade (QV) ou *breakdown* e a  
156 tendência à retrogradação (TR) ou *setback* foram expressos em centipoise (cP), e também foi  
157 determinada a temperatura de gelatinização, todos com auxílio de software computacional  
158 (TCW3, Thermo Cline for Windows v3, Sidney, Austrália) (Di-Medeiros et al., 2014).

## 159 **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### 160 **3.1 Rendimento, cor, composição centesimal e amilose**

161 O rendimento da extração do amido das raízes de algodãozinho-do-campo  
162 (*Cochlospermum regium*) foi de 42.3 ± 1.6 g 100 g<sup>-1</sup> (b.s.). Valor superior aos obtidos na  
163 extração do amido de tubérculos de batata (32 g 100 g<sup>-1</sup>) e de grãos de milho (24.8 g 100 g<sup>-1</sup>),  
164 e inferior ao de *Solanum lycocarpum* (51 g 100 g<sup>-1</sup>) (Hoover & Hardziyew, 1981; Pascoal et al.,  
165 2013).

166 O amido de raízes de algodãozinho-do-campo se apresentou como um pó branco  
167 ligeiramente amarelado. Amidos com maiores valores de luminosidade apresentam maior  
168 leveza e pureza, sendo que para o uso do amido em várias aplicações na indústria de alimentos

169 e farmacêutica, a cor recomendada deve ser a mais branca (Reddy, Luan & Xu, 2017). A  
 170 luminosidade ( $L^*$ ) obtida de 94.15 foi próxima ao valor máximo, de 100 para o branco puro. O  
 171 valor da coordenada de cromaticidade  $a^*$  de 0.52 foi neutro, nem verde nem vermelho, enquanto  
 172  $b^*$ , entre o azul (-) e o amarelo (+), foide 6.23, ou seja, amarelada. A croma ( $C^*$ ) de 6.25  
 173 denotou um produto de tonalidade pálida, e ângulo Hue ( $H^\circ$ ) de  $85.21^\circ$ , que o tom do produto  
 174 foi próximo ao do amarelo puro ( $90^\circ$ ).

175 O amido de raízes de algodãozinho-do-campo apresentou baixos teores de proteína,  
 176 cinzas, fibra alimentar total e lipídios, o que confirma que o método de extração foi eficiente,  
 177 uma vez que o produto obtido é composto por 98.83 % de carboidratos (b.s.) (Tabela 1).

178 Tabela 1. Composição centesimal e teor de amilose ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) de amido de raízes de  
 179 algodãozinho-do-campo (*Cochlospermum regium*), base úmida

Componente	Média	Desvio-padrão	CV (%)*
Umidade	9.165	0.001	0.011
Cinzas	0.098	0.000	0.102
Lipídios	0.006	0.000	0.001
Proteína	0.960	0.004	0.417
Carboidratos	89.776	0.005	0.006
Fibra alimentar total	0.1675	0.007	4.478
Amilose	35.904	0.387	1.078

180 \*CV: Coeficiente de variação

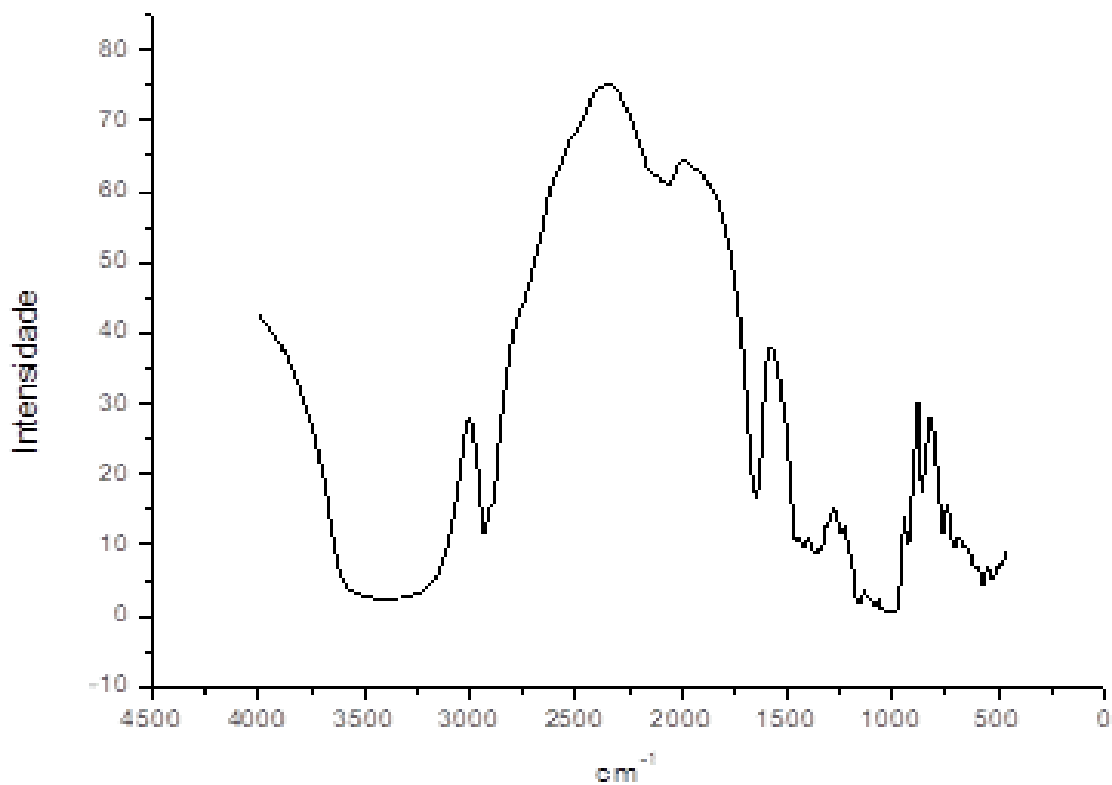
181 O amido de batata também apresenta traços de lipídios ( $0.08$  a  $0.18 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), menos  
 182 proteína ( $0.04$  -  $0.2 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) e mais cinzas ( $0.34$ - $0.37 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), que o amido de algodãozinho-  
 183 do-campo (Tabela 1). Enquanto o amido de milho, maior teor de cinzas ( $0.18$  -  $0.38 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ )  
 184 e lipídios ( $0.11$  -  $0.68 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), e menor conteúdo de proteína ( $0.15$  a  $0.31 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ). O  
 185 conteúdo de cinzas, proteína e lipídios influenciam nas propriedades tecnológicas do amido,

186 sendo que menores concentrações destes componentes indicam um maior grau de pureza do  
187 amido. Além disso, os lípidios cotribuem para o baixo inchamento dos grânulos do amido  
188 (Jiménez-Hernández et al., 2007; Sujka, 2017; Zhang et al., 2017).

189 O teor de amilose do amido de raízes de algodãozinho-do-campo foi de 35.90 g 100 g<sup>-1</sup>,  
190 superior aos reportados para os amidos de batata (25.0 – 28.7 g 100 g<sup>-1</sup>) (Zhang et al., 2017;  
191 Yusuph et al., 2003) e milho (16.21 a 29.3 g 100 g<sup>-1</sup>), os quais utilizaram a mesma metodologia  
192 (Jiménez-Hernández et al., 2007; Nakthong et al., 2017). A amilose influencia  
193 significativamente as propriedades funcionais e tecnológicas do amido, tais como a  
194 gelatinização, solubilização em água, recristalização (retrogradação), inchaço e propriedades  
195 visco-elásticas. Um elevado teor de amilose afeta a susceptibilidade à retrogradação e confere  
196 maior elasticidade das pastas no amido (Bello-Pérez et al., 2010). Além disso, os amidos com  
197 alto conteúdo de amilose são de interesse devido aos seus potenciais benefícios para a saúde.  
198 Os altos níveis de amilose estão correlacionados positivamente com o maior teor de amido  
199 resistente, que tem sido relacionado à redução das respostas glicêmicas e de insulina, bem como  
200 reduz o risco de desenvolver a obesidade, doenças cardiovasculares e diabetes tipo II (Falade  
201 & Okafor, 2013; Man et al., 2013).

### 202 **3.2 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier**

203 O espectro do infravermelho apresentou picos que caracterizam a estrutura amilácea  
204 (Figura 1). Como o pico largo em 3370 cm<sup>-1</sup>, referente ao agrupamento –OH; o pico menor na  
205 região de 2936 cm<sup>-1</sup>, resultado da vibração do alongamento da ligação C—H da molécula de  
206 glicose; o pico na região de 1651 cm<sup>-1</sup>, referente às vibrações do agrupamento –OH  
207 provenientes de água de hidratação presente no amido; a banda em 1644 cm<sup>-1</sup> é um resultado  
208 da água adsorvida nas regiões amorfas do amido, e pode variar de acordo com a cristalinidade  
209 (Kizil, Irudayaraj & Seetharaman, 2002).



210

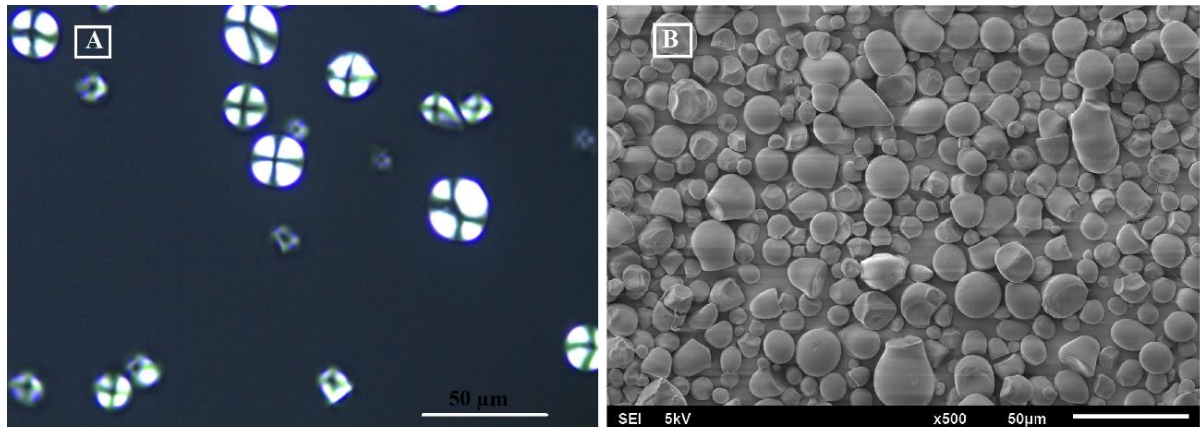
211 Figura 1. Espectro de infravermelho com transformada de Fourier do amido de algodãozinho-  
 212 do-campo (*Cochlospermum regium*) nativo.

213 Os picos na região em  $1461\text{ cm}^{-1}$ ,  $1424\text{ cm}^{-1}$  e  $1367\text{ cm}^{-1}$  são referentes ao estiramento  
 214 da ligação C—H. Os picos a  $1158\text{ cm}^{-1}$ ,  $1082\text{ cm}^{-1}$  e  $1016\text{ cm}^{-1}$  estão relacionados com a  
 215 vibração de alongamento de C—O—C e C—O—H das ligações glicosídicas, características de  
 216 polissacarídeos, como já relatado por Di-Medeiros et al. (2014) e Pavia et al. (2010). De acordo  
 217 com Warren et al. (2016) picos entre  $1047$  e  $1000\text{ cm}^{-1}$  estão associados a regiões ordenadas  
 218 (cristalinas), enquanto picos em  $1.022\text{ cm}^{-1}$  estão relacionando com a região amorfa do grânulo.  
 219 O que foi ratificado pelo resultado do conteúdo de amilose do algodãozinho-do-campo, uma  
 220 vez que no espectro ficou mais evidenciado as estruturas cristalinas.

### 221 3.3 Microscopia óptica com luz polarizada e microscopia eletrônica de varedura

222 Nas micrográfias com luz polarizada do amido de raízes de algodãozinho-do-campo  
 223 observou-se a ocorrência da cruz de malta nos grânulos (Figura 2 A). Estas ocorrem devido à

224 propriedade de birrefringência, resultante do alto grau de orientação molecular interna do  
225 grânulo, não tendo qualquer relação com a forma cristalina em particular, tendo o “hílum” do  
226 grânulo como centro da cruz (ELIASSON, 2004).



227

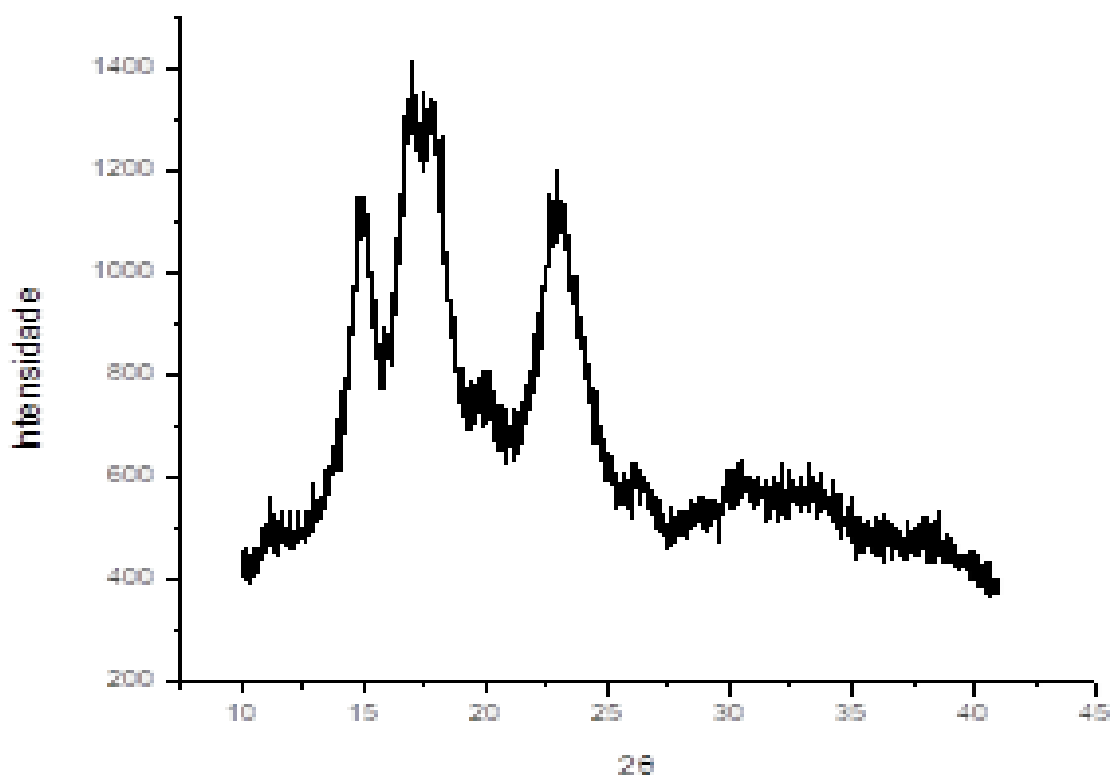
228 Figura 2. Imagens da cruz de malta (40x) (A) e micrografia eletrônica de varedura (500x) (B)  
229 do grânulo do amido de algodãozinho-do-campo (*Cochlospermum regium*).

230 Características morfológicas dos amidos, como a forma depende da fonte, bem como da  
231 origem biológica. Além disso, a morfologia do grânulo de amido depende das rotas bioquímicas  
232 e metabólicas que ocorrem no cloroplasto ou amiloplasto, bem como a fisiologia e as condições  
233 vegetais agrônômicas e climáticas sob as quais foram cultivadas (Freitas et al., 2004). Como  
234 pode ser visto na Figura 2 B, os granulos de amido foram de tamanho heterogêneo (6 – 25 μm),  
235 apresentando aparência arredondada, circular disforme, com partes poliedricas, semelhante ao  
236 grânulo do amido da fruta de lobeira (*Solanum lycocarpum*) (Pascoal et al., 2013) e ao amido  
237 de mandioca de alta amilose (Rolland-Sabaté et al., 2012).

### 238 3.4 Difractometria de raio-x

239 O amido das raízes de algodãozinho-do-campo apresentou picos em 14.9°, 16.9°, 17.8°  
240 e 22.8°, típicos de um amido de cristalinidade tipo A (Figura 2.3). Amidos podem apresentar  
241 três tipos de cristalinidade (A, B e C). O tipo A apresenta picos de alta intensidade para o ângulo  
242 de refração 2θ em 15° , 17° , 18° e 23°. Amidos de cereais são típicos do tipo A. O padrão de

243 cristalinidade do tipo A foi relatado em amidos de cereais e está relacionado à amilopectina  
244 com alta quantidade de cadeias curtas (Hoyos-Leyva et al., 2017). Já o tipo B apresentam  
245 maiores picos de intensidade de difração para os ângulos a  $2\theta$  a  $5.6^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $17.2^\circ$ ,  $22.2^\circ$  e  $23^\circ$   
246 sendo mais comum nos amidos de tuberosas, assim como em amidos com alto teor de amilose.  
247 O tipo C apresenta uma mistura das características A e B, com predominância de A. Por fim,  
248 um quarto tipo de cristalinidade, o tipo V, formado pela cristalização da amilose complexada  
249 com lipídios, que apresenta picos de intensidade nos ângulos de difração  $2\theta$  em  
250 aproximadamente  $12.6^\circ$ ,  $13.2^\circ$ ,  $19.4^\circ$  e  $20,6^\circ$  (Di-Medeiros et al., 2014; Mutungi et al., 2012).

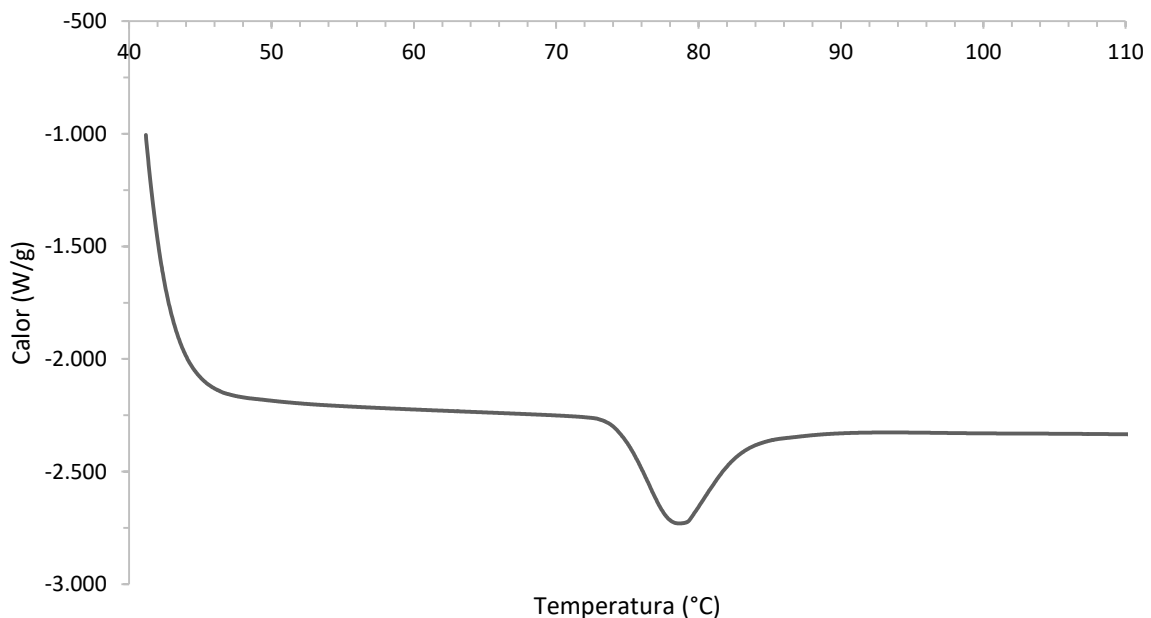


251  
252 Figura 3. Difratograma de raio-X do amido de raízes de algodãozinho-do-campo  
253 (*Cochlospermum regium*)  
254 No entanto, alguns estudos mostram que alguns amidos nativos isolados de grãos de  
255 milho, raízes e rizomas tropicais apresentam esse mesmo padrão de cristalinidade (Agama-  
256 Acevedo et al., 2011; Sukhija, Singh, & Riar, 2016). Amidos de tuberosas, são mais comuns

257 apresentarem o tipo B, com maior pico de intensidade para o ângulo de  $2\theta$  em  $5^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $17^\circ$   
258 e  $22^\circ$ . O terceiro tipo é o tipo C, que é uma mistura do tipo A e B, sendo o amido de mandioca  
259 um típico exemplo (Hoyos-Leyva et al., 2017). O grau de cristalinidade calculado do amido de  
260 algodãozinho-do-campo foi de 45.8%, o que indica ser um amido com áreas cristalinas maiores.

### 261 3.5 Propriedades térmicas (DSC)

262 O amido de raízes de algodãozinho-do-campo apresentou temperatura de gelatinização  
263 inicial de  $74.33 \pm 0.07^\circ\text{C}$ , de pico de  $78.47 \pm 0.10^\circ\text{C}$  e final de  $92.25 \pm 0.91^\circ\text{C}$ , além de  
264 entalpia de gelatinização de  $18.11 \pm 1.54 \text{ J g}^{-1}$  (Figura 4).



265  
266 Figura 4. Termograma de DSC do amido de raízes de algodãozinho-do-campo  
267 (*Cochlospermum regium*)

268 O amido de batata possui temperatura inicial ( $64.8^\circ\text{C}$ ), de pico ( $67.8^\circ\text{C}$ ) e de  
269 finalização ( $73.8^\circ\text{C}$ ) inferiores ao do amido de raízes de algodãozinho-do-campo. A entalpia  
270 de gelatinização do amido de batata ( $13.27 \text{ J g}^{-1}$ ) também foi menor que a requerida pelo amido  
271 de raízes de algodãozinho do campo (Przetaczek-Roznowska, 2017).

272 A energia requerida para a gelatinização do amido indica a presença de regiões  
273 cristalinas (atribuídas às frações lineares da amilopectina e frações de amilose) e zonas amorfas  
274 (alta concentração de amilose). Estudos indicam que a presença de zonas cristalinas aumenta a  
275 quantidade de energia necessária para o início da gelatinização do amido, enquanto que zonas  
276 amorfas reduzem a quantidade de energia (Jiménez-Hernández et al., 2007). Assim, a alta  
277 entalpia de gelatinização do amido de raízes do algodãozinho-do-campo reflete o alto grau de  
278 cristalinidade verificado na análise de difratometria de raio-X (45.8%).

### 279 **3.6 Termogravimetria**

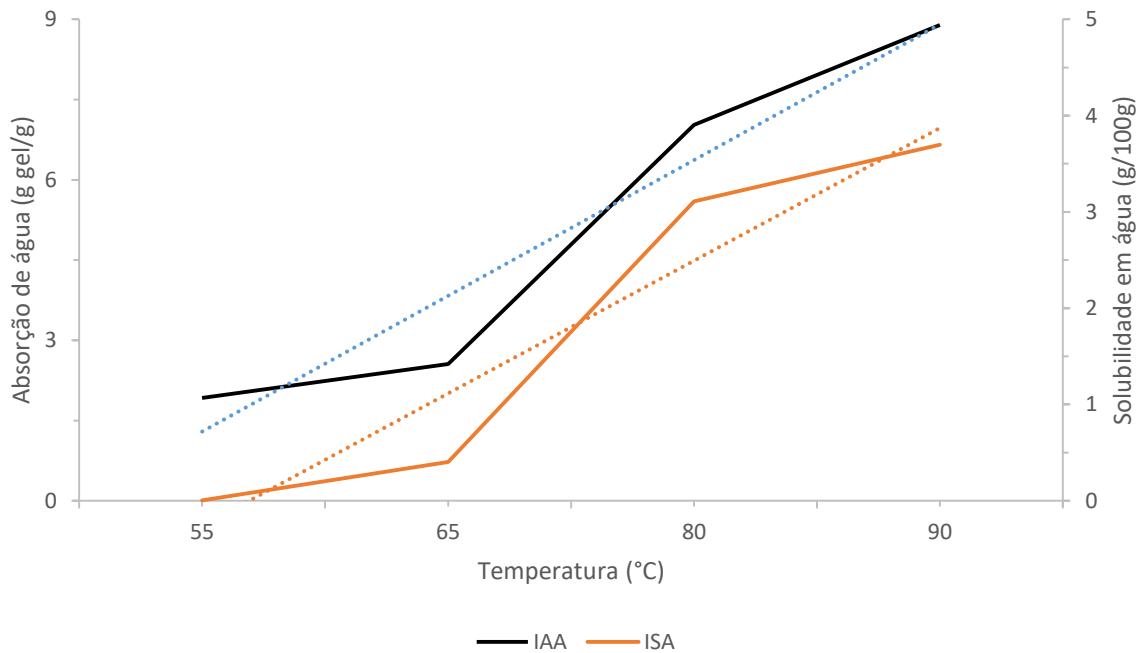
280 A primeira perda de massa ocorreu na faixa de temperatura entre 45.47 °C e 82.34 °C,  
281 com valor de 0.699 mg (10.461 %), referente à perda de componentes voláteis e a água de  
282 hidratação do amido de raízes de algodãozinho-do-campo. Na sequência, observou-se um platô  
283 até aproximadamente 305 °C. A segunda fase ocorreu na faixa de temperatura de 306 °C a 333  
284 °C, com perda de massa de 4.263 mg (63.798 %).

285 O alto percentual de perda nesta faixa de temperatura indica a decomposição de  
286 compostos de cadeia carbônica similar, característica de homopolissacarídeos como amido (Di-  
287 Medeiros et al., 2014). De acordo com Xu et al. (2014) a decomposição do amido é causada  
288 por reações de desidratação inter ou intra-moleculares, onde a água é o principal produto de  
289 decomposição. A partir disso, esses autores hipotetizaram que ocorre uma aproximação da  
290 estrutura cristalina e o aumento das interações inter-moleculares como principais fatores que  
291 poderiam influenciar a decomposição térmica do amido. Com isso, se pode inferir que o grau  
292 de cristalinidade do amido, bem como o teor de amilose e o tamanho das ramificações das  
293 cadeias de amilopectina influenciam na decomposição deste.

### 294 **3.7 Solubilidade em água, poder de entumescimento e absorção de óleo**

295 A solubilidade e a capacidade de absorção de água do amido de raízes do algodãozinho-  
296 do-campo a temperatura ambiente (28 °C) foram de  $0.38 \pm 0.01$  g 100 g<sup>-1</sup> e  $1.79 \pm 0.03$  g de gel

297 g de amostra<sup>-1</sup>, respectivamente. O índice de absorção de óleo do amido foi de  $1.70 \pm 0.03$  g de  
 298 gel g de amostra<sup>-1</sup>. A solubilidade do amido do algodãozinho-do-campo é dependente da  
 299 temperatura, com comportamento linear ( $r^2 = 0.95$ ) crescente, ou seja, com o aumento da  
 300 temperatura houve um aumento da solubilidade em água do amido (Figura 5), apresentando  
 301 máximo de  $3.8 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  em  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ .



302  
 303 Figura 5. Índice de absorção e solubilidade em água do amido de algodãozinho-do-campo  
 304 (*cochlospermum regium*)

305 A absorção de água ou poder de entumescimento do amido de algodãozinho também  
 306 apresentou comportamento linear ( $r^2 = 0.96$ ), onde o aumento da temperatura desencadeou o  
 307 aumento da retenção de água pelo amido (Figura 5), apresentando máximo de  $8.9 \text{ g } \text{g}^{-1}$  em  $90$   
 308  $^\circ\text{C}$ . O amido de milho apresenta solubilidade ( $9.8 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) e poder de entumescimento ( $16.78$   
 309  $\text{g } \text{g}^{-1}$ ) em  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  (Nakthong et al., 2017), superior ao do amido do algodãozinho-do-campo.  
 310 Portanto, o amido das raízes de algodãozinho-do-campo, sob temperatura de cozimento absorve  
 311 menos água e se solubiliza menos que o amido de milho, mantendo mais a estrutura dos grânulos

312 no produto final, podendo contribuir para a melhoria da textura do produto final, pois os  
313 grânulos menos danificados podem conferir maior firmeza ao produto.

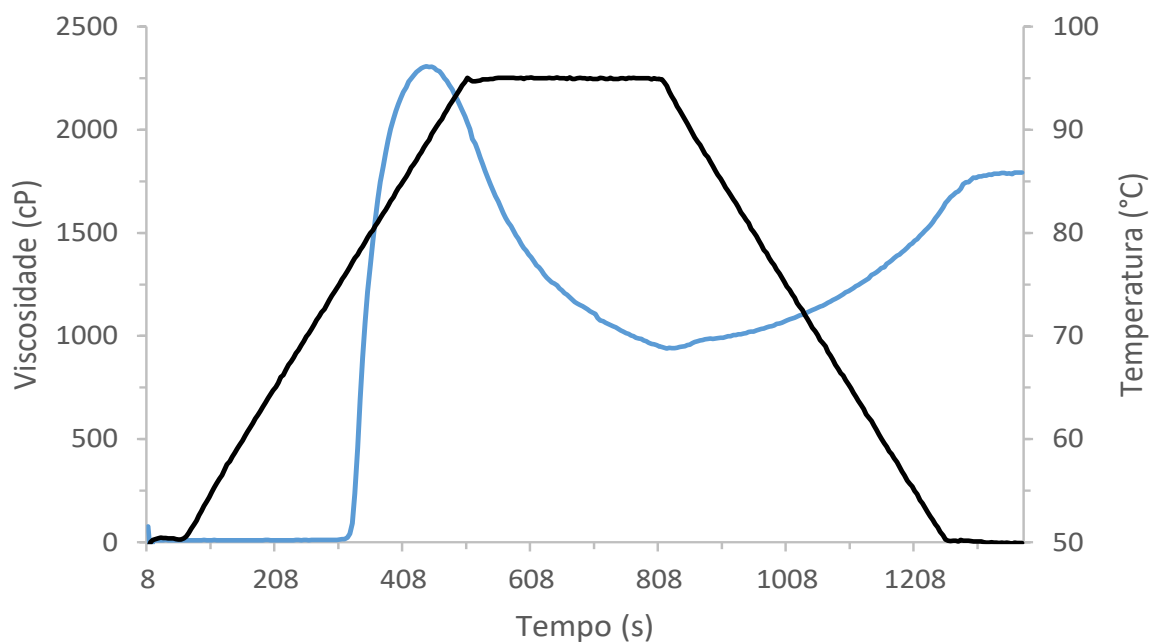
314 A hidratação e a solubilidade do amido durante o aquecimento reflete a intensidade das  
315 interações existentes entre as cadeias do amido no estado amorfo e cristalino. O percentual de  
316 amilose e amilopectina, bem como a distribuição dessas moléculas afetam essas interações, o  
317 que resulta na variação da capacidade de absorção e de solubilidade em água do amido (Di-  
318 Medeiros et al., 2014). A solubilidade em água do amido é um parâmetro que reflete a  
319 desintegração dos grânulos e a perda de componentes de baixo peso molecular, como a amilose.  
320 Com o aumento da temperatura, ocorre a degradação dos grânulos de amido, devido ao processo  
321 de gelatinização, com conseqüentemente perda de ligações intramoleculares, responsáveis pela  
322 organização cristalina do grânulo, resultando na perda da estrutura cristalina e a formação da  
323 estrutura amorfa (Ma et al., 2008). O que certamente ocorreu nesta pesquisa com o amido de  
324 raízes do algodãozinho-do-campo, resultado da elevação da temperatura, que favoreceu o  
325 aumento da solubilização do amido na água com temperaturas elevadas.

### 326 **3.8 Propriedades de pasta (RVA)**

327 Quanto menor a temperatura de pasta do amido mais baixa é a resistência do grânulo de  
328 amido à absorção de água, conseqüentemente maior será a capacidade de absorção de água do  
329 amido (Przetaczek-Roznowska, 2017; Sandhu & Singh, 2007). Além disso, Tester e Morrison  
330 (1999) relataram que o conteúdo mais baixo do complexo amilose-lipídios auxiliam a absorção  
331 de água, o que facilita a absorção de água pelo grânulo de amido. Esses fatos estão de acordo  
332 com o encontrado nesta pesquisa, uma vez que o amido das raízes do algodãozinho-do-campo  
333 possui baixa capacidade de absorção de água e temperatura de pasta relativamente alta (73.42  
334  $\pm 0.32$  °C ) (Figura 6), quando comparada com a do amido de batata (cerca de 66.9 °C)  
335 (Przetaczek-Roznowska, 2017).

336 A temperatura de pasta foi condizente com a temperatura inicial do pico de gelatinização  
337 encontrado na análise térmica do DSC. O amido de algodãozinho-do-campo apresentou uma  
338 viscosidade de pico igual a  $2333 \pm 20$  cP e viscosidade final de  $1804 \pm 11$  cP. Em temperatura  
339 constante ( $95^\circ\text{C}$ ), apresentou viscosidade mínima de  $943.6 \pm 4.5$  cP. As viscosidades de pico  
340 ( $3447$  cP) e final ( $1733$  cP) do amido de batata são maiores que as do amido de raízes de  
341 algodãozinho-do-campo.

342 A viscosidade final da pasta ficou em torno de  $1804 \pm 11$  cP, enquanto a tendência à  
343 retrogradação, calculada pela diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima à  
344 temperatura constante, relacionada com reorganização das moléculas de amido (SUN et al.,  
345 2014), foi de  $860.3 \pm 6.4$  cP, valor superior ao apresentado pela batata ( $277$  cP) (Przetaczek-  
346 Roznowska, 2017).



347  
348 Figura 6. Curva de empastamento típico do amido de raízes do algodãozinho-do-campo, obtida  
349 em RVA

350 A quebra de viscosidade, ou diferença entre o valor da viscosidade máxima e da  
351 viscosidade mínima à temperatura constante ( $95^\circ\text{C}$ ), foi de  $1387 \pm 16$  cP, e está associada à

352 estabilidade dos grânulos de amido em relação ao aquecimento (Oro et al., 2013).  
353 Normalmente, o alto poder de entumescimento também correlaciona-se com uma alta  
354 viscosidade de pico a quente e uma alta quebra de viscosidade a quente (Li & Yeh, 2001;  
355 Nakthong et al., 2017).

#### 356 **4 CONCLUSÃO**

357 Conclui-se que a extração do amido de algodãozinho-do-campo pode ser viável e este  
358 possui características químico-estruturais, térmicas e tecnológicas peculiares, bem diferentes  
359 das apresentados por amidos muito utilizados comercialmente (batata e milho), como por  
360 exemplo, o amido das raízes de algodãozinho-do-campo, sob temperatura de cozimento absorve  
361 menos água e se solubiliza menos que o amido de milho, mantendo mais a estrutura dos grânulos  
362 no produto final, podendo contribuir para a melhoria da textura deste.

#### 363 **REFERÊNCIAS**

- 364 AACC. (2000) Approved methods of the American Association of Cereal Chemistry, in  
365 Method 61-032000, AACC: St. Paul.
- 366 Agama-Acevedo, E., Garcia-Suarez, F. J., Gutierrez-Meraz, F., Sanchez-Rivera, M. M., San  
367 Martin, E., & Bello-Perez, L. A. (2011). Isolation and partial characterization of Mexican taro  
368 (*Colocasia esculenta* L.) starch. *Starch*, 63, 139-146.
- 369 Almeida, E. C., Bora, P. S., & Zárate, N. A. H. (2013). Amido nativo e modificado de taro  
370 (*Colocasia esculenta* L. Schott): caracterização química, morfológica e propriedades de pasta.  
371 *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 31, 67-82.
- 372 AOAC - Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official methods of analysis of*  
373 *Association of Official Analytical Chemists*. Gaithersburg: AOAC International.
- 374 Bello-Pérez, L. A., Sánchez-Rivera, M. M., Núñez-Santiago, C., Rodríguez-Ambriz, S. L., &  
375 Román-Gutiérrez, A. D. (2010). Effect of the pearly in the isolation and the morphological,  
376 physicochemical and rheological characteristics of barley starch. *Carbohydrate Polymers*, 81,  
377 63-69.
- 378 Cunha, G. H. Da, Moraes, M. O. De, Fachine, F. V., Fernando Antônio Frota Bezerra, F. A. F.,  
379 Silveira, E. R., Canuto, K. M., & Moraes, M. E. A. De. Vasorelaxant and antihypertensive

- 380 effects of methanolic fraction of the essential oil of *Alpinia zerumbet*. *Vascular*  
381 *Pharmacology*, 58, 337–345, 2013.
- 382 Dias, J. E., & Laureano, L. C. *Farmacopeia popular do cerrado* Associação Pacari, Goiás  
383 (2009)
- 384 Di-Medeiros, M .C. B., Pascoal, A. M., Batista, K. A., Bassinello, P. Z., Lião, L. M., Leles,  
385 M. I. G., & Fernandes, K. F. (2014). Rheological and biochemical properties of *Solanum*  
386 *lyocarpum* starch. *Carbohydrate Polymers*, 104, 66–72.
- 387 Eliasson, A. C. *Starch in food – Structure, function and applications*. New York: Boca Raton,  
388 CRC, 2004. 605p.
- 389 Falade, K. O., & Okafor, C. A. (2013). Physicochemical properties of five cocoyam  
390 (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagitifolium*) starches. *Food Hydrocolloids*, 30, 173–  
391 181.
- 392 Freitas, R. A., Paula, R. C., Feitosa, J. P. A., Rocha, S., & Sierakowskic, M. R.  
393 (2004). Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam  
394 (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches. *Carbohydrate Polymers*, 55, 3–  
395 8.
- 396 Huang, J., Zhao, L., Man, J., Wang, J., Zhou, W., Huai, H., & Wei, C. (2015). Comparison of  
397 physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources.  
398 *International Journal of Biological Macromolecules*, 78(Supplement C), 165-172.
- 399 Hoover, R., & Hadziyev, D. (1981). Characterization of potato starch and its mono-glyceride  
400 complexes. *Starch*, 33, 290–300.
- 401 Hoyos-Leyva, J. D., Alonso-Gomez, L., Rueda-Enciso, J., Yee-Madeira, H., Bello-Perez, L.  
402 A., & Alvarez-Ramirez, J. (2017). Morphological, physicochemical and functional  
403 characteristics of starch from *Marantharuiiziana Koern*. *LWT - Food Science and Technology*,  
404 83(Supplement C), 150-156.
- 405 Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J. A., & Ramos-Ramírez, E. G. (2007). Physical,  
406 chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechiumedule*) tuber  
407 and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers*, 68, 679-686.
- 408 Kizil, R., Irudayaraj J., & Seetharaman, K. (2002). “Characterization of Irradiated Starches by  
409 Using FT-Raman and FTIR Spectroscopy,” *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50,  
410 3912-3918.
- 411 Leach, H. W., McCowen, L. D., & Schoch, T. J. (1959). Structure of the starch granule. I.  
412 Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry*, 36, 534-544.
- 413 Li, J.-Y., & Yeh, A.-I. (2001). Relationships between thermal, rheological characteristics and  
414 swelling power for various starches. *Journal of Food Engineering*, 50, 141-148.

- 415 Ma, X. F., Jian, R. J., Chang, P. R., & Yu, J. G. (2008). Fabrication and characterization of  
416 citric acid-modified starch nanoparticles/ plasticized-starch composites. *Biomacromolecules*,  
417 9, 3314–3320.
- 418 Man, J., Yang, Y., Huang, J., Zhang, C., Zang, F., Wang, Y., et al. (2013). Morphology and  
419 structural properties of high-amylose rice starch residues hydrolysed by amyloglucosidase.  
420 *Food Chemistry*, 138, 2089–2098.
- 421 Nader, T. T., Coppede, J. S., Amaral, L. A., Fachin, A. L., Ferreira, L. M., & Pereira, A. M. S.  
422 (2010). Avaliação in vitro da eficácia de extratos de plantas medicinais do Cerrado frente  
423 *Staphylococcus aureus* isolado de diferentes fontes de propriedades leiteiras. *Arquivos do*  
424 *Instituto Biológico*, 429-433.
- 425 Nakthong, N., Wongsagonsup, R., & Amornsakchai, T. (2017). Characteristics and potential  
426 utilizations of starch from pineapple stem waste. *Industrial Crops and Products*,  
427 105(Supplement C), 74-82.
- 428 Nara, S., & Komiy, T. (1983). Studied on the relationship between water saturated state and  
429 crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. *Starch*, 35, 407-410.
- 430 Oro, T.; Limberger, V. M.; Miranda, M. Z. De; Richards, N. S.P. Dos S.; Gutkoski, L. C., &  
431 Francisco, A. De. (2013). Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha  
432 refinada usadas na produção de pães. *Ciência Rural*, 43, 754-760.
- 433 Pascoal, A. M., Di-Medeiros, M. C. B., Batista, K. A., Leles, M. I. G., Lião, L. M., Fernandes,  
434 K. F. (2013). Extraction and chemical characterization of starch from *S. lycocarpum* fruits.  
435 *Carbohydrate Polymers*. 98, 1304-1310.
- 436 Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. R. (2010). *Introdução à*  
437 *espectroscopia*. (4th ed.). Boston: CENGAGE Learning.
- 438 Przetaczek-Roznowska, I. (2017). Physicochemical properties of starches isolated from  
439 pumpkin compared with potato and corn starches. *International Journal Biological*  
440 *Macromolecules*, 101, 536-542.
- 441 Reddy, C. K., Luan, F., & Xu, B. (2017). Morphology, crystallinity, pasting, thermal and  
442 quality characteristics of starches from adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and edible kudzu  
443 (*Pueraria thomsonii* Benth). *International Journal of Biological Macromolecules*, 105(Part  
444 1), 354-362.
- 445 Rolland-Sabaté, A., Sánchez, T., Buléon, A., Colonna, P., Jaillais, B., & Ceballos, H. (2012).  
446 Structural characterization of novel cassava starches with low and high-amylose contents in  
447 comparison with other commercial sources. *Food Hydrocolloids*, 27, 161–174.
- 448 Sandhu, K. S., & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: Physicochemical,  
449 gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, 101, 1499-  
450 1507.

- 451 Solon, S., Carollo, C. A., Brandão, L. F. G., Macedo, C. S., Klein, A., Dias-Júnior, C. A., &  
452 Siqueira, J. M. (2012). Phenolic derivatives and other chemical compounds from  
453 *Cochlospermum regium*. *Química Nova*, 35, 1169-1172.
- 454 Sujka, M. (2017). Ultrasonic modification of starch – Impact on granules porosity. *Ultrasonics*  
455 *Sonochemistry*, 37(Supplement C), 424-429.
- 456 Sukhija, S., Singh, S., & Riar, C. S. (2016). Isolation of starches from different tubers and  
457 study of their physicochemical, thermal, rheological and morphological characteristics. *Starch*  
458 *- Stärke*, 68, 160-168.
- 459 Sun, Q. J., Gong, M., Li, Y., Xiong, L. (2014). Effect of dry heat treatment on the  
460 physicochemical properties and structure of millet flour and starch. *Carbohydrate Polymers*.  
461 110, 128–134.
- 462 Tester, R. F., & Morrison, W.R. (1999). Swelling and gelatinization of cereal starches. Effects  
463 of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry*, 67, 551–557.
- 464 Warren, F.J., Gidley, M. J., & Flanagan, B. M. (2016). Infrared spectroscopy as a tool to  
465 characterise starch ordered structure—a joint FTIR–ATR, NMR, XRD and DSC study.  
466 *Carbohydrate Polymers*, 139, 35-42.
- 467 Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P. & Chang, Y. K. (2009). Physicochemical, rheological,  
468 morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn  
469 starches. *Ciência Tecnologia Alimentos*, 29, 748-753.
- 470 Xu, H., Sismour, E.N., Grizzard, C., Thomas, M., Pestov, D., Huba, Z., Wang, T., &  
471 Bhardwaj, H. L. (2014). Morphological, structural, and thermal properties of starch  
472 nanocrystals affected by different botanic origins 1. *Cereal Chemistry*, 91, 383–388.
- 473 Yusuph, M., Tester, R. F., Ansell, R., & Snape, C. E. (2003). Composition and properties of  
474 starches extracted from tubers of different potato varieties grown under the same  
475 environmental conditions. *Food Chemistry*, 82, 283–289.
- 476 Zhang, L., Li, G., Wang, S., Yao, W., & Zhu, F. (2017). Physicochemical properties of maca  
477 starch. *Food Chemistry*, 218(Supplement C), 56-63.

## CAPÍTULO 3

### EXTRAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES TÉRMICAS DO AMIDO DE BATATA-DE-TEIÚ

**Resumo:** *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg é uma planta pertencente à família das Euphorbiaceae, nativa do cerrado brasileiro, e conhecida popularmente como “batata-de-teiú”. Embora, as plantas deste gênero sejam amplamente estudadas, existe carência de conhecimentos científicos sobre os aspectos físico-químicos e tecnológicos da *Jatropha elliptica* e suas possíveis aplicações, em alimentos e ou medicamentos, sendo que uma possível aplicação para a raiz da batata-de-teiú é a extração de amido. Com isso, este trabalho teve por objetivo verificar a viabilidade para a extração do amido e a avaliar as características térmicas, viscoamilográficas e físico-químicas do amido extraído de batata-de-teiú. O rendimento da extração de amido foi de  $22.8 \pm 1.1\%$ , sendo o produto obtido um pó branco com pequena tendência ao alaranjado imperceptível ao olho nu, com teor de carboidratos de 96.82% (b.s.), e baixos teores de cinzas, proteínas e fibra alimentar total. O amido de batata-de-teiú apresentou teor de amilose de 32.82%, cristalinidade de 60.23% , difratograma do tipo A, cruz de malta sob luz polarizada e espectro de infravermelho com transformada de Fourier e curva termogravimétrica característico de amido de tubérculos. A temperatura inicial de gelatinização do amido de batata-de-teiú foi de 70.11 °C, a de pico foi de 73.84 °C e a final 85.52 °C, e o amido apresentou baixa tendência à retrogradação. Conclui-se que o amido de batata-de-teiú possui características químico-estruturais, térmicas e tecnológicas peculiares e adequadas para uso na indústria de alimentos e farmacêutica.

**Palavras chave:** *Jatrhofa eliptica* (Pohl) Muell Arg, amilose, difractometria de raio-X, propriedades de pasta, calorimetria.

## 24 1 INTRODUÇÃO

25 *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg é uma planta herbácea subarborescente nativa do  
26 cerrado brasileiro, conhecida popularmente como “batata-de-teiú”, “purga-de-lagarto” ou  
27 “erva-de-teiú”. Dentre os bioativos isolados do rizoma da batata-de-teiú destacam-se a jatrofona  
28 e a jatrolona A e B. A jatrofona demonstrou atividade contra o caramujo *Biomphalaria*  
29 *glabrata*, podendo ser utilizada na produção de medicamentos contra a esquistossomose (Dos  
30 Santos et al., 2014). A jatrolona A e B apresentaram atividade gastroprotetora contra lesões  
31 induzidas por ácido clorídrico e etanol, com redução das lesões em até 54%. Os efeitos  
32 citotóxicos destes compostos também foram demonstrados em fibroblastos e células de  
33 adenocarcinoma gástrico (Devappa, Makkar, & Becker, 2011; Pertino et al., 2007).

34 Embora popularmente conhecidas pelos seus benefícios medicinais, as plantas  
35 pertencentes ao gênero *Jatropha* que foram exploradas até agora foram *J. curcas*, *J.*  
36 *gossypifolia*, *J. glandulifera*, *J. multifida* e *J. podagrica* (Sharma & Singh, 2012). Embora, as  
37 plantas deste gênero estejam amplamente distribuídas, existe carência de conhecimentos  
38 científicos sobre os aspectos físico-químicos e tecnológicos da *Jatropha elliptica* e suas  
39 possíveis aplicações, em alimentos e ou medicamentos.

40 Uma possível aplicação da raiz da batata-de-teiú é a extração de amido. Os amidos de  
41 diferentes fontes botânicas variam em composição, morfologia, estrutura molecular, bem como  
42 em arranjo e conteúdo de amilose e amilopectina (Hoover, 2010). O teor de amilose e  
43 amilopectina, influenciam de modo determinante, nas propriedades tecnológicas do amido, tais  
44 como a gelatinização, solubilização em água, recristalização (retrogradação), inchaço e  
45 propriedades visco-elásticas. A amilopectina contribui para o inchamento do grânulo, enquanto  
46 a amilose e os lipídios o inibem (Rocha, Demiate & Franco, 2008).

47 Como não há relatos na literatura sobre a extração e a caracterização do amido da batata-  
48 de-teiú, este trabalho teve por objetivo verificar a viabilidade da extração do amido das raízes  
49 de batata-de-teiú, e a avaliar as suas características térmicas, viscoamilográficas e físico-  
50 químicas.

## 51 **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 52 **2.1 Material**

53 As raízes de batata-de-teiú foram coletadas na zona rural do município de Mara Rosa-  
54 GO (-14.05938, -49.369186), em uma área antropizada de cerrado, com pastagem típica de  
55 litosolo, no mês de julho do ano de 2016. As raízes foram acomodadas em embalagens de  
56 polietileno de baixa densidade, mantidas sob refrigeração durante o transporte até o laboratório,  
57 e imediatamente processadas.

### 58 **2.2 Extração do amido**

59 As raízes foram lavadas em água corrente, descascadas e cortadas manualmente e  
60 mergulhadas em solução de metabissulfito (5 g L<sup>-1</sup> de água) durante 15 min, em uma proporção  
61 de 1 kg de matéria-prima para 2 L de solução de metabissulfito. Em seguida, foram trituradas  
62 com a água na proporção de 2 L para 1 kg de raiz em liquidificador. O amido foi extraído por  
63 peneiração e três lavagens sucessivas da massa usando malhas finas com abertura entre 35 e  
64 400 *mesh*. O filtrado foi colocado em repouso para a decantação do amido. O sobrenadante foi  
65 descartado, e o precipitado foi seco em estufa de circulação de ar a 35 °C durante 48 h. Logo  
66 após, o produto foi reduzido a pó, utilizando gral e pistilo, e foi passado em peneira com malha  
67 de 35 *mesh* (abertura 500 µm). O rendimento foi calculado como a relação entre o peso inicial  
68 médio das raízes sem casca (500 g) e o peso médio do produto final, em três repetições, e os  
69 resultados foram expressos em g 100 g<sup>-1</sup>.

### 70 **2.3 Composição proximal e atividade de água**

71 A umidade das amostras foi quantificada em estufa a 105 °C até peso constante; as cinzas  
72 por pesagem após incineração a 550 °C em forno mufla; o teor de nitrogênio pelo método micro-  
73 Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 6.25 resultou no teor de proteína bruta; e os lipídeos por  
74 extração com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet. Para obter a fibra alimentar total foi  
75 utilizada amostra desengordurada da extração por Soxhlet, seguindo método enzimico-  
76 gravimétrico. A atividade de água foi determinada no AquaLab digital (AquaLab, Series 3TE,  
77 Pullman, USA), acoplado a um banho termostático controlado, na temperatura de 25 °C. As  
78 análises foram realizadas em triplicata, todas conforme as recomendações da AOAC (2012).

### 79 **2.4 Cor instrumental**

80 Os parâmetros instrumentais de cor das amostras foram obtidos por meio de colorímetro  
81 (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA), calibrado com placa de porcelana branca. A  
82 luminosidade (zero = preto e 100 = branco), as coordenadas de cromaticidade a\* (-80 até zero  
83 = verde, e zero ao +100 = vermelho) e b\* (-100 até zero = azul, do zero ao + 70 = amarelo)  
84 foram lidas, e a partir dos parâmetros a\* e b\* se calculou a croma (saturação da cor) e o ângulo  
85 Hue (tonalidade ou matriz) (Reddy, Luan & Xu, 2017).

### 86 **2.5 Microscopia com luz polarizada**

87 A análise de birrefringência foi realizada em microscópio óptico (Zeiss Axioskop-  
88 MC80) sob luz polarizada, conforme Huang et al. (2015). Pequena quantidade de amostra foi  
89 colocada em lâmina de vidro e adicionou-se uma gota de glicerol. Posteriormente, a amostra  
90 foi coberta com uma lamínula de vidro e levadas ao microscópio para observação. Cada amostra  
91 foi analisada em magnitude de ampliação de 10 a 40X.

### 92 **2.6 Microscopia eletrônica de varredura**

93 A amostra de amido em pó, previamente desidratada, foi fixada com fita dupla face, em  
94 suportes de alumínio e em seguida metalizada com uma camada de ouro de 350 Å de espessura.

95 Para a análise das amostras utilizou-se microscópio eletrônico de varredura JEOL (JSM –  
96 6610). Os grânulos de amido foram examinados sob microscópio, e as fotografias foram tiradas  
97 em triplicata, com aumento de 200 a 1000 vezes (Di-Medeiros et al., 2014).

## 98 **2.7 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier**

99 Esta análise foi realizada em espectroscópio (Bomem Hartmann & Braun, MB 102,  
100 Quebec, California), com pastilhas de brometo de potássio (KBr). Para o preparo das pastilhas,  
101 aproximadamente 1 mg de cada amostra foi misturado com 100 mg de KBr, comprimiu-se a  
102 mistura entre dois pastilhadores sob alta pressão (8 ton) até a formação de uma pastilha  
103 translúcida. As condições de operação foram estabelecidas na região 400-5600  $\text{cm}^{-1}$ , com 12  
104 varreduras e resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  (Di-Medeiros et al., 2014).

## 105 **2.8 Conteúdo de amilose**

106 O teor de amilose foi determinado conforme metodologia descrita pela American  
107 Association of Cereal Chemistry (AACC, 2000), a partir da leitura em espectrofotômetro (Bel  
108 Photonic, SP2000UV, Piracicaba, Brasil), calibrado com comprimento de onda de 620 nm. A  
109 equação da reta da curva padrão foi obtida por concentrações de amilose pura de 8% a 60%  
110 (Sigma-Aldrich, amylose from potato, Darmstadt, Alemanha).

## 111 **2.9 Difractometria de raio-X do amido nativo**

112 O grau de cristalinidade, definido como a razão entre a área da região cristalina e a área  
113 total coberta pela curva, foi estimado quantitativamente seguindo o método de Nara e Komiy  
114 (1983). Difratorômetro de raios-X (Shimadzu, XRD-6000), com tubo de cobre de radiação  $K\alpha$ ,  
115 40 kV e 100 mA, e varredura entre 10.000 - 80.000 foi utilizado. Para evitar a interferência de  
116 umidade relativa, a amostra foi seca durante 24 h e mantida até utilização em dessecador  
117 contendo sílica gel.

## 118 **2.10 Termogravimetria (TG)**

119 As propriedades térmogravimétricas foram medidas com um analisador térmico  
120 (Shimadzu, DTG 60/60H), com a temperatura variando de 25 a 500 °C, com uma taxa de  
121 aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. O teste foi conduzido sob atmosfera de nitrogênio, utilizando um  
122 cadinho de alumina, e o peso inicial da amostra foi de 6.0 mg (Di-Medeiros et al., 2014).

### 123 **2.11 DSC**

124 As propriedades térmicas foram determinadas em um calorímetro diferencial de  
125 varredura (TA Instruments, Q20, New Castle, UK), segundo Weber, Collares-Queiroz, Chang  
126 (2009). A amostra foi aquecida no intervalo entre 40 e 120 °C, a uma taxa de aquecimento de  
127 10 °C min<sup>-1</sup>. A partir da curva, a entalpia de gelatinização, os intervalos de temperatura de  
128 gelatinização, a temperatura no início da gelatinização, no pico e final foram calculadas com  
129 auxílio do software TA Universal Analysis (TA Instruments, New Castle, UK).

### 130 **2.12 RVA**

131 Para avaliação das propriedades de pasta foi utilizado o Rapid Visco Analyzer (Perten,  
132 RVA 4500, Huddinge, Suécia). Amostra de 2.5 g foi dispersa em 25 mL de água destilada,  
133 mantida a 50 °C durante 1 min, e posteriormente aquecida a 95 °C a uma velocidade de 9.5 °C  
134 min<sup>-1</sup>. Em seguida, a amostra foi mantida a 95 °C durante 2.5 min, e subsequentemente resfriada  
135 para 50 °C a uma velocidade de 11.84 °C min<sup>-1</sup>. Pico de viscosidade, viscosidade final, quebra  
136 de viscosidade ou *breakdown* e tendência a retrogradação ou *setback* foram determinados, e os  
137 resultados expressos em *centipoise* (cP) (Di-Medeiros et al., 2014).

### 138 **2.13 Solubilidade e poder de entumescimento**

139 O poder de intumescimento foi determinado segundo Anderson et al. (1969). Amostras  
140 de 2,5 g adicionadas de 30 mL de água destilada em tubos de centrífuga foram agitadas em  
141 banho maria por 30 min em temperaturas de 55 °C, 65 °C, 80 °C e 90 °C, e seguida centrifugadas  
142 (Best Eletronics, TG- WS, Xangai, China) a 3000 rpm, por 15 min. O sobrenadante foi retirado

143 cuidadosamente com auxílio de uma pipeta volumétrica de 10 mL e colocada para evaporar em  
144 placa de Petri previamente tarada.

### 145 **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### 146 **3.1 Rendimento, cor, atividade de água, composição centesimal e amilose**

147 O rendimento da extração de amido das batatas-de-teiú foi de  $22.8 \pm 1.1$  g 100 g<sup>-1</sup> (b.s.),  
148 resultado inferior ao da extração de amido da mandioca, a qual apresenta rendimento ao redor  
149 de 30 g 100 g<sup>-1</sup> (Fakir et al., 2012).

150 O produto obtido, foi um pó branco (Figura 1 A), com os seguintes padrões de cor  
151 instrumental: L\* de 95.38 (cor clara); coordenada de cromaticidade a\* 2.55 (cor neutra, com  
152 ligeira tendência ao vermelho) e b\* 4.13 (cor ligeiramente amarelada); Croma igual a 4.86 (cor  
153 bem desbotada) e ângulo Hue de 58.27° (levemente alaranjada). Amidos com maiores valores  
154 de luminosidade apresentam maior leveza e pureza, sendo que para o uso do amido em várias  
155 aplicações na indústria de alimentos e farmacêutica, a cor é recomendada é a mais branca  
156 (Reddy, Luan & Xu, 2017).

157 Atividade de água do amido de batata-de-teiú foi de  $0.65 \pm 0.01$  a 25 °C. A atividade da  
158 água do produto representa o estado energético das moléculas de água nos alimentos. Esta  
159 propriedade termodinâmica dos alimentos está relacionada à fugacidade da água do produto  
160 que influenciam várias taxas de reação bioquímicas e o crescimento microbiano (Tadapaneni  
161 et al., 2017), sendo que, a baixa atividade de água corrobora para a manutenção das  
162 características do produto e dificulta o desenvolvimento de microrganismos e possíveis reações  
163 bioquímicas.

164 O amido apresentou um grau de pureza de 96.42%, baixos teores de cinzas e proteínas,  
165 e traços de lipídios (Tabela 1).

166 Tabela 1. Composição centesimal, amilose e amilopectina do amido extraído da raiz do batata-  
167 de-teiú (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg), expressa em g 100 g<sup>-1</sup>

Componente*	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)
Umidade	13.422	0.002	0.013
Cinzas	1.232	0.001	0.040
Lipídios	0.001	0.000	0.010
Proteína	1.865	0.006	0.343
Carboidratos	83.480	0.009	0.011
Fibra alimentar total	0.371	0.018	4.852
Amilose	31.821	0.996	3.130

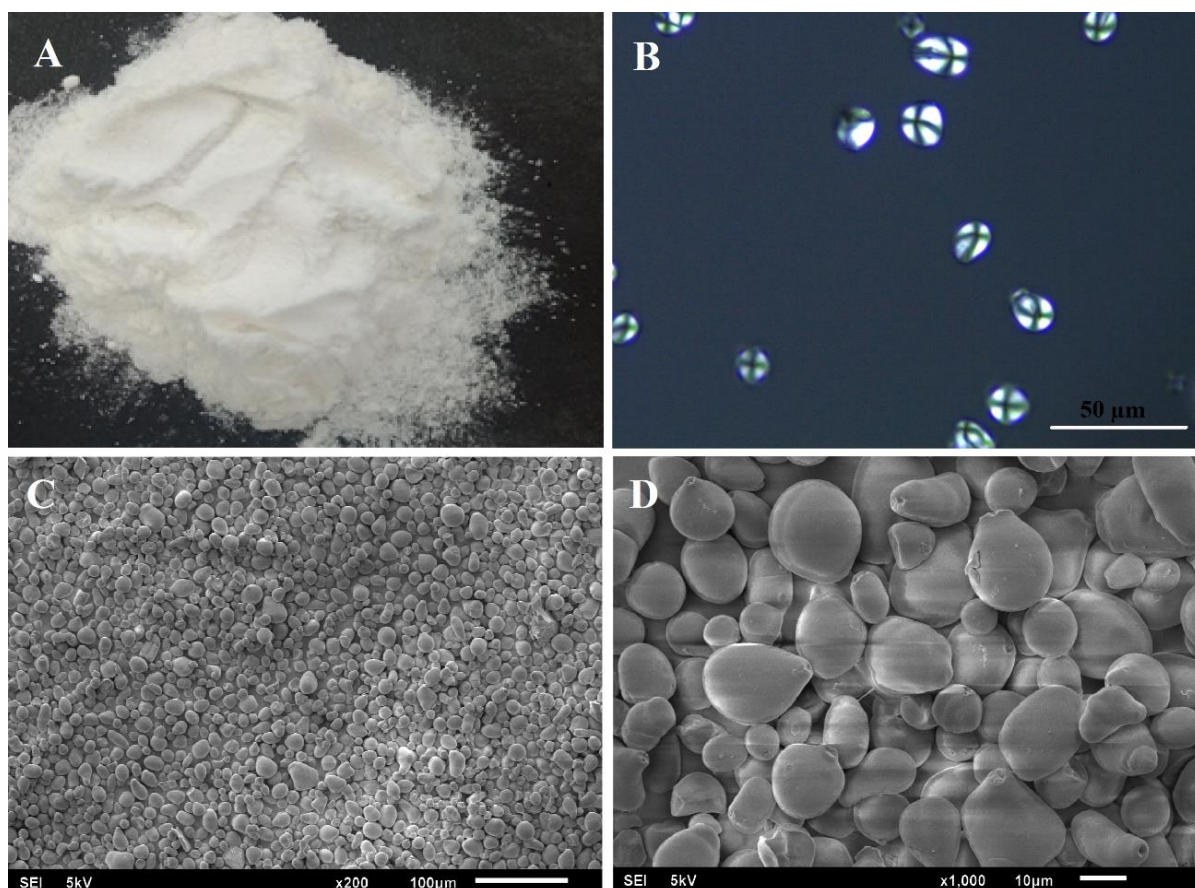
168 \*Resultados em base umida

169 Os teores de cinzas e proteína do amido da batata-de-teiú (Tabela 1) foram superiores  
170 aos do amido de mandioca (0.24 g 100g<sup>-1</sup> e não detectado, respectivamente), enquanto que o  
171 teor de lipídios do amido de mandioca (0.1 g 100 g<sup>-1</sup>) foi maior que o da batata-de-teiú. O amido  
172 de batata-de-teiú também apresentou baixo teor de fibra alimentar total quando comparado com  
173 o amido de mandioca (Lovera et al., 2017).

174 O amido da batata-de-teiú apresentou teor de amilose de cerca de 31.82 g 100 g<sup>-1</sup> (Tabela  
175 1), valor superior aos determinados em amido de mandioca por Tan et al. (2017) de 26.97 g 100  
176 g<sup>-1</sup>, e por Chandanasree, Gul & Riar (2016) de 20.93–22.61 g 100 g<sup>-1</sup>. O teor de amilose  
177 influencia diretamente as propriedades funcionais do amido e pode influenciar na capacidade  
178 de inchamento do grânulo, gelatinização, retrogradação e no comportamento durante a ingestão,  
179 sendo que o conteúdo de amilopectina contribui para inchaço dos grânulos enquanto a presença  
180 de complexos lipídios-amilose pode retardar a gelatinização do grânulo, aumentando a  
181 temperatura de gelatinização (Schirmer et al., 2013).

182 **3.2 Microscopia com luz polarizada e microscopia eletrônica de varredura**

183 O amido de batata-de-teiú apresentou birrefringência, quando observado em microscopia  
184 com luz polarizada, pois se observou a cruz de malta em cada grânulo do amido de batata-de-  
185 teiú (Figura 1 B).



186  
187 Figura 1. Imagens do amido de batata-de-teiú (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg) (A) sob  
188 microscopia com luz polarizada 40x (B) e micrografias eletrônica de varredura em 200x (C) e  
189 em 1000x (D)

190 A birrefringência ocorre devido ao alto grau de orientação molecular interna. Os  
191 diferentes graus de ordenamento na estrutura dos grânulos de amido são responsáveis pelas  
192 propriedades de birrefringência e cristalinidade, onde as regiões amorfas contêm estruturas não  
193 ordenadas e não podem ser distinguidas do fundo. Este padrão de interferência observado toma

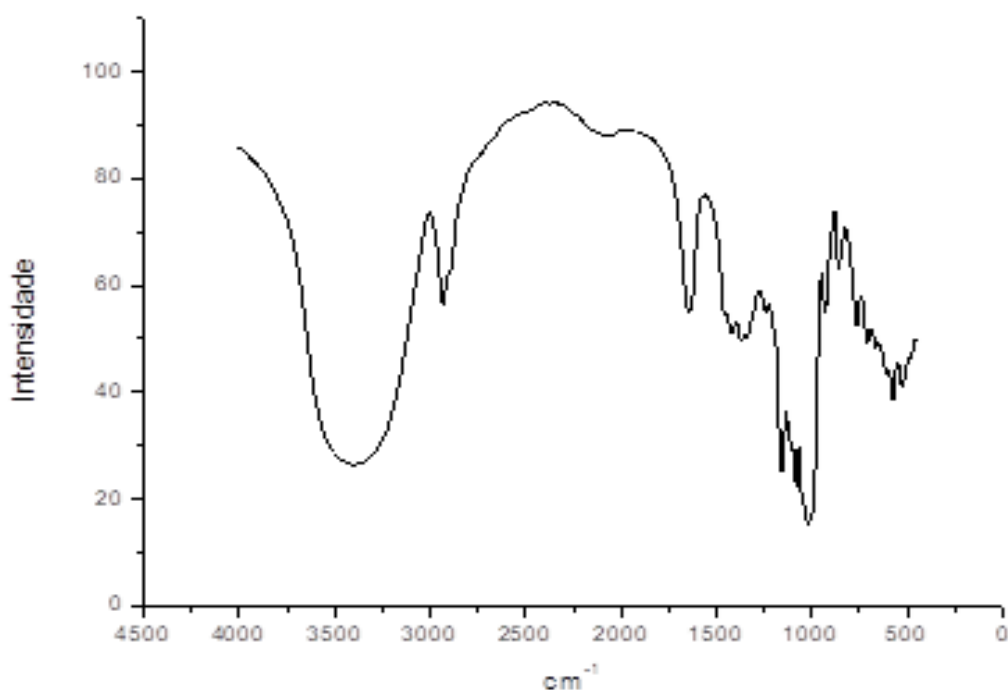
194 a forma de uma “cruz de Malta” quando observadas sob luz polarizada (Wang et al., 1998),  
195 como ocorreu nesta pesquisa (Figura 1 B).

196 Os grânulos de amido de batata-de-teiú são heterogeneos (6 – 20  $\mu\text{m}$ ) (Figura 1 C),  
197 apresentam formato oval irregular e cuboidal. O grânulo apresenta superfície uniforme, sem a  
198 presença de ranhuras, e apresenta orifício lateral (Figura 1 D). O amido de batata-de-teiú  
199 apresentou morfologia semelhante ao amido de batata (Jiménez-Hernández, Salazar-Montoya,  
200 & Ramos-Ramírez, 2007; Singh et al., 2003).

### 201 **3.3 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier**

202 O amido de batata-de-teiú apresentou espectro de infravermelho com transformada de  
203 Fourier (Figura 2) com pico largo em  $3392\text{ cm}^{-1}$ , referente ao agrupamento OH; pico de menor  
204 na região de  $2936\text{ cm}^{-1}$ , atribuído à vibração de estiramento da ligação  $\text{CH}_2$  da molécula de  
205 glicose. O pico na região de  $1643\text{ cm}^{-1}$  é atribuído a vibrações do agrupamento OH provenientes  
206 de água de hidratação presente na região amorfa do amido (Reddy, Luan, & Xu, 2017). Os picos  
207 a  $1157\text{ cm}^{-1}$ ,  $1079\text{ cm}^{-1}$  e  $1019\text{ cm}^{-1}$  estão relacionados com a vibração de alongamento de C–  
208 O–C e C–O–H das ligações glicosídicas, características de polissacarídeos (Pavia et al., 2015;  
209 Silva et al., 2010).

210 Os demais picos apresentados no espectro foram em 929, 860, 761, 711, 611, 575 e 525  
211  $\text{cm}^{-1}$ . Segundo Jiang et al. (2011) o pico em  $929\text{ cm}^{-1}$  reflete a sensibilidade à água, característica  
212 da hidrofiliidade do amido. Os picos observados entre 760 e  $929\text{ cm}^{-1}$  foram devidos à ligação  
213 de hidrogênio do grupo OH, à vibração do tipo esqueleto da ligação glicosídica  $\alpha$ -1,4 e  
214 alongamento C–C (Das, Jha, & Kumar, 2015), respectivamente.



215

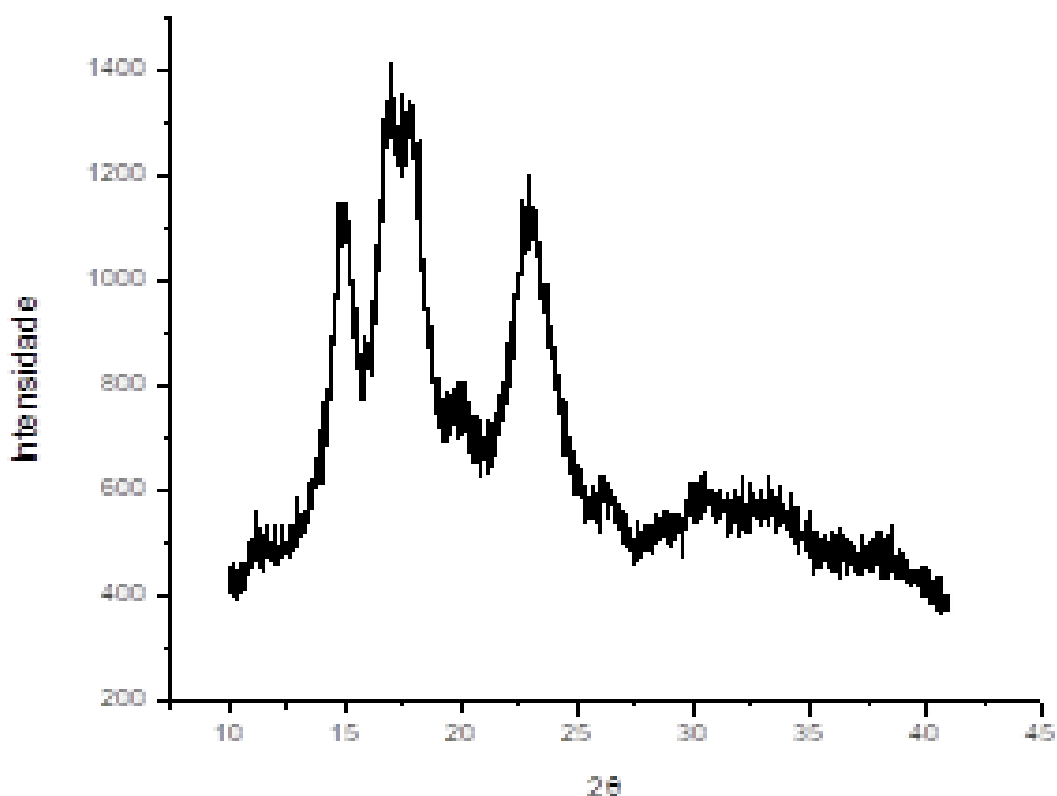
216 Figura 2. Espectro de infravermelho com transformada de Fourier do amido de batata-de-teiú  
 217 (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg)

### 218 3.4 Difratomia de raio-x

219 O amido de batata-de-teiú apresentou características de um amido do tipo A,  
 220 evidenciado pela presença do dubleto com picos em 16,9°, 17,7° e picos intensos em 14,9° e  
 221 22,8° (Figura 3). Amido extraído da raiz de mandioca também apresentaram cristalinidade do  
 222 tipo A (Tan et al., 2017).

223 Os espectros do tipo A exibem maiores picos de intensidade nos ângulos de difração  $2\theta$   
 224 em aproximadamente 15,3°, 17,1°, 18,2° e 23,5°, sendo estes característicos de amidos de  
 225 cereais. Já o tipo B apresentam maiores picos de intensidade de difração para os ângulos a  $2\theta$  a  
 226 5,6°, 15°, 17,2°, 22,2° e 23° sendo mais comum nos amidos de tuberosas, assim como em  
 227 amidos com alto teor de amilose. O tipo C apresenta uma mistura das características A e B, com  
 228 predominância de A. Por fim, um quarto tipo de cristalinidade, o tipo V, formado pela  
 229 cristalização da amilose complexada com lipídios, que apresenta picos de intensidade nos

230 ângulos de difração  $2\theta$  em aproximadamente  $12.6^\circ$ ,  $13.2^\circ$ ,  $19.4^\circ$  e  $20,6^\circ$  (Di-Medeiros et al.,  
231 2014; Mutungi et al., 2012). Amidos do tipo A apresentam duplas hélices em arranjo  
232 monoclínico. Possui uma estrutura relativamente compacta com um baixo conteúdo de água  
233 resultando em uma conformação altamente cristalina. Este tipo de amido apresenta cadeias  
234 curtas de amilopectina e baixos teores de fósforo (Parker & Ring, 2001; Tester et al., 2004).



235

236 Figura 3. Difratograma de raio-x do amido de batata-de-teiú (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell  
237 Arg)

238 O amido de batata-de-teiú apresentou um grau de cristalinidade de 60,23%. A  
239 cristalinidade do amido encontra-se associada principalmente à amilopectina, de 15 a 45%, já  
240 a ausência da amilose não afetaria a cristalinidade do amido, isso é observado principalmente  
241 em amidos cerosos que apresentam um baixo teor de amilose (Rocha et al., 2008; Salgado et  
242 al., 2005).

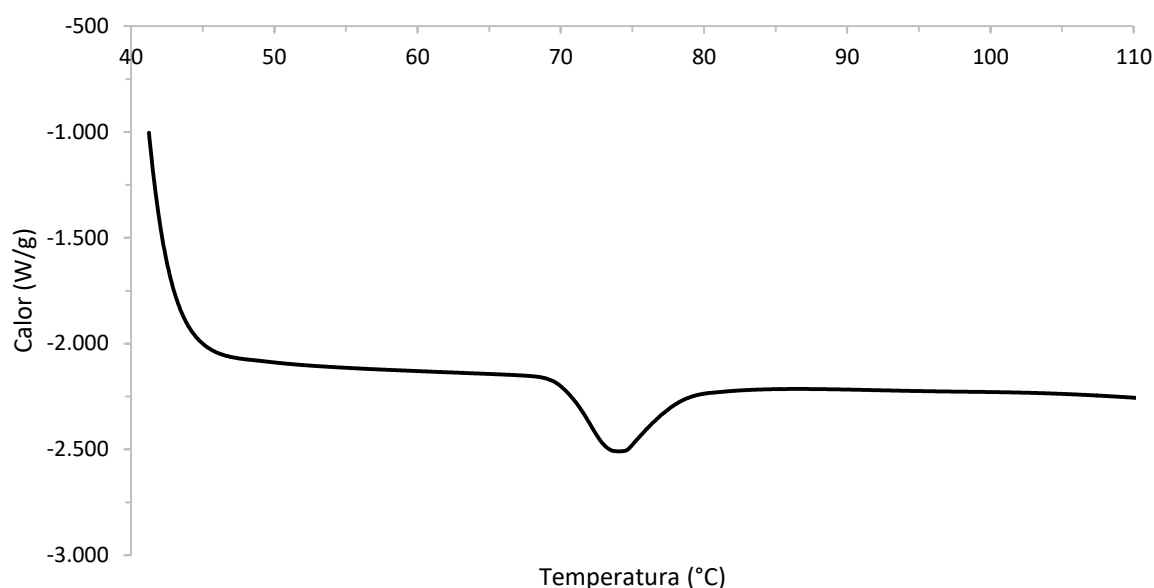
243 No entanto, quanto maior o conteúdo de amilose, maior o percentual de áreas amorfas,  
244 consequentemente menos cristalino será o material (Ambigaipalan et al., 2011). Mas, a amilose  
245 pode localizar-se entre as moléculas de amilopectina e se associar com as regiões lineares da  
246 mesma, contribuindo com alto grau de ordem dentro das regiões cristalinas da molécula de  
247 amilopectina (Bello-Pérez et al., 2010), o que justificaria o alto grau de cristalinidade do amido  
248 de batata-de-teiú, visto seu teor de amilose considerável (31.8 g 100 g<sup>-1</sup>). Há relatos na literatura  
249 de cristalinidade entre 38 e 49% para amidos de mandioca com conteúdo de amilose variando  
250 entre 6 e 21% (Gomand et al., 2010; Nuwamanya et al., 2009; Rolland-Sabaté et al., 2012,  
251 2013), valores de cristalinidade e amilose inferiores ao encontrado para a batata-de-teiú, sendo  
252 estes justificáveis pela diferença de espécies, apesar de serem da mesma família botânica.

### 253 **3.5 Termogravimetria**

254 A curva termogravimétrica do amido de batata-de-teiú apresentou três picos de perda de  
255 massa. O primeiro primeiro pico teve temperatura inicial de 44.18 °C ± 0.20 e temperatura final  
256 de 78.46 °C ± 0.18 com uma perda de massa de 0.762 mg ± 0.001 (10.187%), referente à perda  
257 da água de hidratação. O segundo ponto de perda de massa ocorreu entre 304.24 °C ± 0.21 e  
258 330.73°C ± 0.37 com uma perda de massa de 4.624 mg ± 0.001 (61.818%). O alto percentual  
259 de perda de massa nessa faixa é resultado da decomposição de compostos de cadeia carbônica  
260 similar, característica de homopolissacarídeos como o amido (Franklin et al., 2017).

### 261 **3.6 Propriedades térmicas**

262 A temperatura inicial de gelatinização (T<sub>0</sub>) do amido de batata-de-teiú foi de 70.11 °C  
263 ± 0.03, a temperatura de pico de 73.84 °C ± 0.05 e a temperatura final de 85.52 °C ± 0.67. A  
264 energia requerida para a gelatinização do amido de batata-de-teiú foi de 12.12 J g<sup>-1</sup> ± 0.43  
265 (Figura 4).



266

267 Figura 4. Termograma do amido de batata-de-teiú (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg)

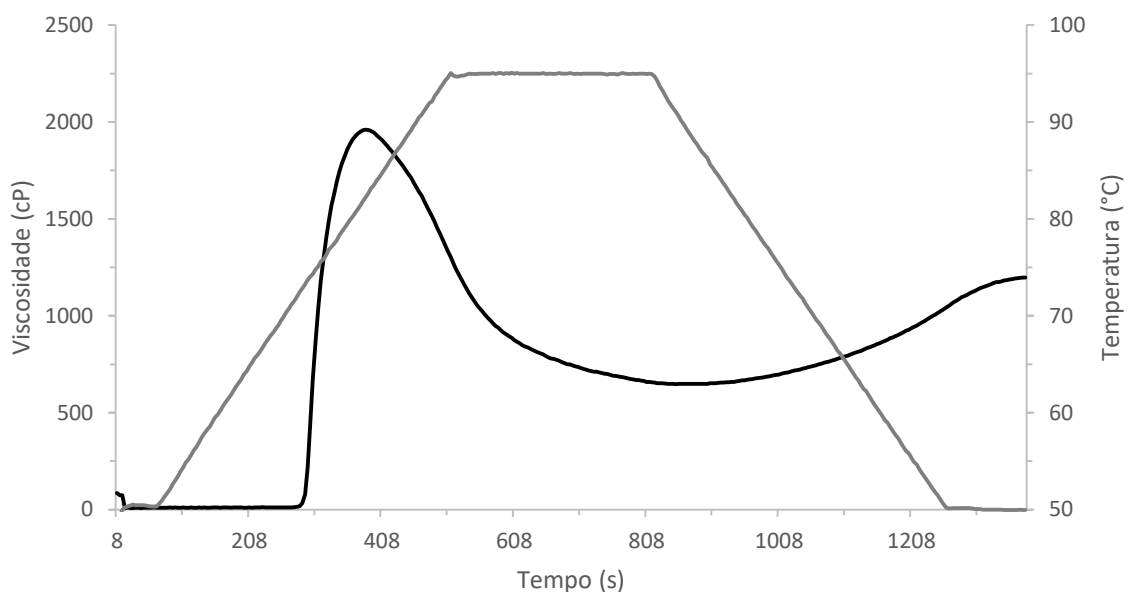
268 O amplo intervalo de temperatura para a gelatinização do amido (70.11 a 85.52 °C)  
 269 indicou que os grânulos apresentaram resistência à gelatinização, o que provavelmente está  
 270 relacionado ao alto grau de cristalinidade deste amido. Também apresentaram um amplo  
 271 intervalo de temperatura de gelatinização os amidos de araruta (68.5 a 85 °C) (Moorthy, 2002),  
 272 *Curca angustifolia* (75 a 85 °C) (Franklin et al., 2017) e mandioca (61.48 a 84.07 °C)  
 273 (Chandanasree, Gul & Riar, 2016).

274 O amido de batata-de-teiú apresentou maior faixa de temperatura de gelatinização,  
 275 comparado com amidos comerciais como amidos de milho, batata e mandioca que apresentam  
 276 intervalo de gelatinização entre 65 a 72 °C (Biliaderis, Maurice, & Vose, 1980; Jyothi, Moorthy  
 277 & Vimala, 2003; Pushpadass et al., 2009). O que sugere um maior grau das forças associativas  
 278 entre as suas cadeias de amilopectina e amilose.

279 Amidos com maior temperatura de gelatinização são resistentes à degradação dos  
 280 grânulos durante o aquecimento em água, o que seria desejável para um ingrediente de produtos  
 281 alimentares que fossem submetidos a altas temperaturas durante o processamento, como por  
 282 exemplo na produção de requeijão cremoso com amido e molhos prontos.

### 283 3.7 RVA

284 O amido da batata-de-teiú apresentou temperatura de pasta de cerca de 69.07 °C (Figura  
285 5), o que condiz com a temperatura inicial do pico de gelatinização encontrado na análise de  
286 DSC (70.11°C), e é próxima à temperatura de pasta de amido de mandioca (64.4 – 67.7 °C)  
287 (Tan et al., 2017). A viscosidade de pico foi igual a  $1960 \pm 1$  cP e viscosidade final de  $1193 \pm$   
288  $6$  cP (Figura 5), valores bem inferiores ao apresentado pelo amido de mandioca, 3995 cP e 4232  
289 cP, respectivamente (CHANDANASREE, GUL & RIAR, 2016). O pico de viscosidade reflete  
290 a capacidade do amido de inchar livremente antes de sua desestruturação física. A viscosidade  
291 máxima é frequentemente correlacionada com a qualidade do produto final e também fornece  
292 uma indicação da carga viscosa que pode ser encontrada durante a mistura (Alamu, Maziya-  
293 Dixon & Dixon, 2017).



294

295 Figura 5. Viscoamilograma do amido da batata-de-teiú (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg)

296 Em temperatura constante (95 °C), a viscosidade mínima foi de  $641 \pm 8$  cP. A tendência  
297 à retrogradação, calculada pela diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima à  
298 temperatura constante foi de  $551.5 \pm 2.1$ cP, característica de amido que formam géis estáveis.  
299 Chandanasree, Gul & Riar (2016) reportaram que o amido de mandioca apresentou uma alta

300 tendência á retrogradação (2802 cP), a qual é cerca de cinco vezes maior que a do amido de  
301 batata-de-teiú.

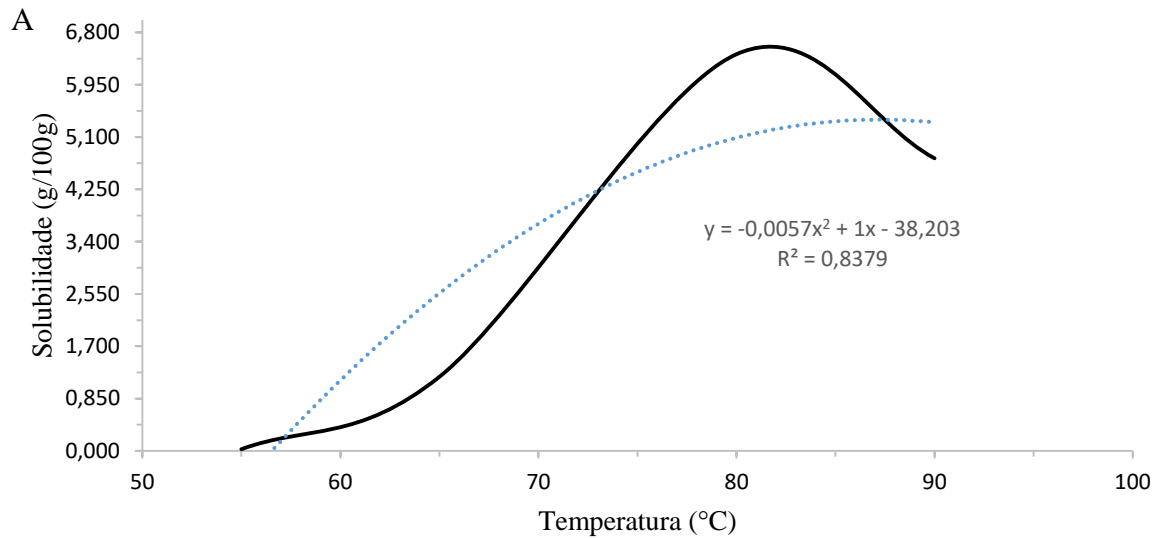
302 A quebra de viscosidade do amido de batata-de-teiú, ou diferença entre o valor da  
303 viscosidade máxima e da viscosidade mínima à temperatura constante (95 °C), foi de  $1318.5 \pm$   
304  $7.8$  cP, e está associada à estabilidade dos grânulos de amido em relação ao aquecimento (Oro  
305 et al., 2013). As propriedades de pasta encontradas para o amido de batata-de-teiú se  
306 assemelham às relatadas para o amido de mandioca (Alamu, Maziya-Dixon & Dixon, 2017).  
307 Pois, quando o amido de mandioca atinge a temperatura de gelatinização, os grânulos de amido  
308 sofrem um grau de inchaço relativamente alto, resultando em uma alta viscosidade de pico,  
309 seguida de uma rápida quebra da pasta. Embora, a temperatura de pico e a tendência à  
310 retrogradação do amido de batata-de-teiú tenham sido menores que a do amido de mandioca.

### 311 **3.8 Solubilidade e poder de entumescimento**

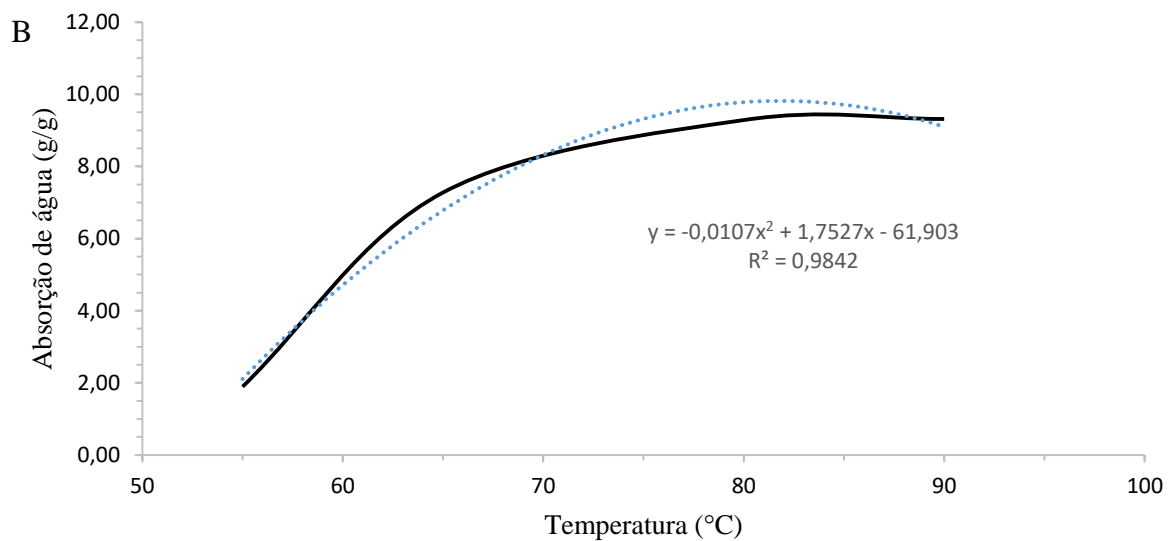
312 O amido de batata-de-teiú apresentou solubilidade e poder de inchamento com  
313 comportamento polinômial de segundo grau, o qual demonstra que o aumento da temperatura  
314 aumenta a capacidade de solubilização e de absorção de água do amido na água até cerca de 80  
315 °C, seguida de um decrescimo da solubilidade (Figura 6 A, B). O aumento da solubilidade está  
316 relacionado ao grau de desestruturação promovido pelo aquecimento do grânulo do amido sob  
317 agitação mecânica, onde há uma perda de componentes de menor cadeia molecular para o  
318 sobrenadante, sendo que está depende de fatores como o conteúdo de amilopectina, amilose,  
319 presença de minerais, lipidios e proteína (Wani et al., 2016).

320 O poder de intumescimento foi diretamente afetado e aumentado pelo aumento da  
321 temperatura, chegando a aproximadamente  $10$  g de gel  $g^{-1}$ , seguida de uma estabilização. O  
322 inchaço do grânulo é um indicador do indice absorção de água dos grânulos durante o  
323 aquecimento. Os grânulos de amido nativos são insolúveis em água fria, mas quando estes são  
324 aquecidos no presença de excesso de água, os grânulos absorvem água, o que promove o

325 inchaço (Cai & Wei, 2013). Esse comportamento descreve a perda da organização radial de  
326 cadeias de amilopectina e amilose (Colonna & Buleon, 2010), na qual ocorre uma interrupção  
327 irreversível da ordem molecular dentro de grânulos de amido.



328



329

330 Figura 6. (A) Solubilidade, e (B) poder de entumescimento de amido de batata-de-teiú  
331 (*Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg) em função da temperatura

332 Assim, o aumento da absorção de água resulta na perda da estrutura cristalina e da  
333 solubilização dos componentes de menor peso molecular, o que aumenta a solubilidade em  
334 água. No entanto, quando o amido é submetido à ação da energia mecânica e/ou térmica de

335 maior grandeza, o índice de absorção de água decresce indicando destruição da integridade  
336 molecular do amido (Wani et al., 2016), o que não foi observado neste trabalho, uma vez que  
337 não houve um decréscimo da absorção de água e sim uma estabilização, indicando que em  
338 condições de agitação e aquecimento a 90 °C os grânulos do amido de batata-de-teiú não foram  
339 totalmente destruídos, sendo este indicado, por exemplo, para a produção de requeijão, produto  
340 que requer um amido que apresente uma certa estabilidade frente a tratamentos termicos.

#### 341 **4 CONCLUSÃO**

342 Conclui-se que a extração do amido de batata-de-teiú pode ser viável e este possui  
343 características químico-estruturais, térmicas e tecnológicas peculiares e adequadas para uso na  
344 indústria de alimentos, como por exemplo na produção de requeijão cremoso e molhos prontos,  
345 uma vez que o amido de batata-de-teiú apresenta uma boa estabilidade térmica e baixa tendência  
346 à retrogradação, e na indústria farmacêutica, como excipiente na formulação de medicamentos,  
347 como por exemplo no paracetamol.

#### 348 **REFERÊNCIAS**

349 AACC. (2000) Approved methods of the American Association of Cereal Chemistry, in  
350 Method 61-032000, AACC: St. Paul.

351 Alamu, E.O., Maziya-Dixon, B. & Dixon, A. (2017). Evaluation of proximate composition  
352 and pasting properties of high quality cassava flour (HQCF) from cassava genotypes  
353 (*Manihot esculenta* Crantz) of b-carotene-enriched roots. *LWT - Food Science and*  
354 *Technology*, 86, 501-506.

355 Ambigaipalan, P., Hoover, H., Donner, E., Liu, Q., Jaiswal, S., & Chibbar, R.  
356 (2011). Structure of fava bean, black bean and pinto bean at different levels of granule  
357 organization and their physicochemical properties. *Food Research International*, 44, 2962–  
358 2974.

359 Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin Junior, L. (1969). Gelatinization of  
360 Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. *Cereal Science Today*, 14, 1, 4-12.

361 AOAC - Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official methods of analysis of*  
362 *Association of Official Analytical Chemists*. Gaithersburg: AOAC International.

- 363 Bello-Pérez, L. A., Sánchez-Rivera, M. M., Núñez-Santiago, C., Rodríguez-Ambriz, S. L., &  
 364 Román-Gutierrez, A. D. (2010). Effect of the pearled in the isolation and the morphological,  
 365 physicochemical and rheological characteristics of barley starch. *Carbohydrate Polymers*, 81,  
 366 63-69.
- 367 Biliaderis, C. G., Maurice, T. J., & Vose, R. R. (1980). Starch gelatinization phenomena  
 368 studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science*, 45, 1669-1674.
- 369 Cai, C., & Wei, C. (2013). In situ observation of crystallinity disruption patterns during starch  
 370 gelatinization. *Carbohydrate Polymers*, 92, 469–478.
- 371 Chandanasree, D., Gul, K., & Riar, C. S. (2016). Effect of hydrocolloids and dry heat  
 372 modification on physicochemical, thermal, pasting and morphological characteristics of  
 373 cassava (*Manihot esculenta*) starch. *Food Hydrocolloids*, 52(Supplement C), 175-182.
- 374 Colonna, P., & Buleon, A. (2010). Thermal transitions of starches. In: Bertolini, A. (Ed.),  
 375 *Starches, Characterization, Properties and Applications*. Taylor & Francis Group, Boca  
 376 Raton, FL, pp. 71–102.
- 377 Das, D., Jha, S., & Kumar, K. J. (2015). Isolation and release characteristics of starch from  
 378 the rhizome of Indian Palo. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 341-346.
- 379 Denardin, C. C., & Silva, L. P. (2009). Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com  
 380 propriedades físico-químicas. *Ciência Rural*, 39, 945-954.
- 381 Devappa RK, Makkar HP, Becker K. (2011). *Jatropha* diterpenes: a review. *Journal of the*  
 382 *American Oil Chemists' Society*, 88, 301–322.
- 383 Di-Medeiros, M .C. B., Pascoal, A. M., Batista, K. A., Bassinello, P. Z., Lião, L. M., Leles,  
 384 M. I. G., & Fernandes, K. F. (2014). Rheological and biochemical properties of *Solanum*  
 385 *lycopurum* starch. *Carbohydrate Polymers*, 104, 66–72.
- 386 dos Santos, A. F., Fonseca, S. A., César, F. A., de Azevedo Albuquerque, M. C. P., Santana,  
 387 J. V., & Santana, A. E. G. (2014). A penta-substituted pyridine alkaloid from the rhizome of  
 388 *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell. Arg. is active against *Schistosoma mansoni* and *Biomphalaria*  
 389 *glabrata*. *Parasitology Research*, 113, 1077-1084.
- 390 Fakir, M. S. A, Jannat, M., Mostafa, M. G., & Seal, H. (2012). Starch and flour extraction and  
 391 nutrient composition of tuber in seven cassava accesions. *Journal of the Bangladesh*  
 392 *Agricultural University*, 10, 217–222.
- 393 Franklin, M. E. E., Pushpadass, H A., Kumar, B., Kulkarni, S., Muthurayappa, M.,  
 394 Kandasamy, R., Venkatachalam, P., & Vellingiri, P. (2017). Physicochemical, thermal,  
 395 pasting and microstructural characterization of commercial *Curcuma angustifolia* starch. *Food*  
 396 *Hydrocolloids*, 67, 27-36.
- 397 Gomand, S. V., Lamberts, L., Derde, L. J., Goesaert, H., Vandeputte, G. E., & Goderis, B.  
 398 (2010). Structural properties and gelatinisation characteristics of potato and cassava starches  
 399 and mutants thereof. *Food Hydrocolloids*, 24 307–317.

- 400 Hoover, R., (2010). The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and  
 401 properties of starches isolated from different botanical sources. *Critical Reviews in Food*  
 402 *Science and Nutrition*, 50, 835–847.
- 403 Huang, J., Zhao, L., Man, J., Wang, J., Zhou, W., Huai, H., & Wei, C. (2015). Comparison of  
 404 physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources.  
 405 *International Journal of Biological Macromolecules*, 78(Supplement C), 165-172.
- 406 Jiang, Q., Gao, W., Li, X., & Zhang, J. (2011). Characteristics of native and enzymatically  
 407 hydrolyzed *Zea mays* L., *Fritillaria ussuriensis* Maxim. and *Dioscorea opposita* Thunb.  
 408 starches. *Food Hydrocolloids*, 25, 521-528.
- 409 Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J. A., & Ramos-Ramírez, E. G. (2007). Physical,  
 410 chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*)  
 411 tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers*, 68, 679-  
 412 686.
- 413 Jyothi, A. N., Moorthy, S. N., & Vimala, B. (2003). Physicochemical and functional  
 414 properties of starch from two species of Curcuma. *International Journal of Food Properties*,  
 415 6, 135-145.
- 416 Lovera, M., Pérez, E., & Laurentin, A. (2017). Digestibility of starches isolated from stem  
 417 and root tubers of arracacha, cassava, cush–cush yam, potato and taro. *Carbohydrate*  
 418 *Polymers*, 176(Supplement C), 50-55.
- 419 Moorthy, S. N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches:  
 420 A review. *Starch/Stärke*, 54, 559-592.
- 421 Mutungi, C., Passauer, L., Onyango, C., Jaros, D., & Rohm, H. (2012). Debranched cassava  
 422 starch crystallinity determination by Raman spectroscopy: Correlation of features in Raman  
 423 spectra with X-ray diffraction and <sup>13</sup>C CP/MAS NMR spectroscopy. *Carbohydrate*  
 424 *Polymers*, 87, 598–606.
- 425 Nara, S., & Komiy, T. (1983). Studied on the relationship between water-saturated state and  
 426 crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. *Starch*, 35, 407-410.
- 427 Nuwamanya, E., Baguma, Y., Emmambu, E., & Patrick, R. (2009). Crystalline and pasting  
 428 properties of cassava starch are influenced by its molecular properties. *African Journal of*  
 429 *Food Science*, 4, 008–015.
- 430 Oro, T., Limberger, V. M., Miranda, M. Z.De, Richards, N. S.P. Dos S., Gutkoski, L. C., &  
 431 Francisco, A. De. (2013). Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha  
 432 refinada usadas na produção de pães. *Ciência Rural*, 43, 754-760.
- 433 Parker, R., & Ring, S. G. (2001). Aspects of the physical chemistry of starch. *Journal of*  
 434 *Cereal Science*, 34, 1-17.
- 435 Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. R. (2015). *Introdução à espectro-*  
 436 *scopia*. São Paulo: Cengage Learning.

- 437 Pertino, M. Schmeda-Hirschmann, G., Rodríguez, J.A., & Theoduloz, C. (2007).  
 438 Gastroprotective effect and cytotoxicity of semisynthetic jatrophenol derivatives. *Planta*  
 439 *medica*, 73, 1095-1100.
- 440 Pushpadass, H. A., Marx, D. B., Wehling, R. L., & Hanna, M. A. (2009). Extrusion and  
 441 characterization of starch films. *Cereal Chemistry*, 86, 44-51.
- 442 Reddy, C. K., Luan, F., & Xu, B. (2017). Morphology, crystallinity, pasting, thermal and  
 443 quality characteristics of starches from adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and edible kudzu  
 444 (*Pueraria thomsonii* Benth). *International Journal of Biological Macromolecules*, 105(Part 1),  
 445 354-362.
- 446 Rocha, S. T., Demiate, M. I., & Franco, L. C. M. (2008). Características estruturais e físico-  
 447 químicas de amidos de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). *Ciência e Tecnologia de*  
 448 *Alimentos*, 28,620-628.
- 449 Rolland-Sabaté, A., Sanchez, T., Buléon, A., Colonna, P., Ceballos, H., & Zhao, S.-S. (2013).  
 450 Molecular and supra-molecular structure of waxy starches developed from cassava (*Manihot*  
 451 *esculenta* Crantz). *Carbohydrate Polymers*, 92,1451–1462.
- 452 Rolland-Sabaté, A., Sánchez, T., Buléon, A., Colonna, P., Jaillais, B., & Ceballos, H. (2012).  
 453 Structural characterization of novel cassava starches with low and high-amylose contents in  
 454 comparison with other commercial sources. *Food Hydrocolloids*, 27, 161–174.
- 455 Salgado, S.M., Guerra, N.B., Andrade, S.A.C., & Livera, A.V.S. (2005). Caracterização  
 456 físico-química do grânulo do feijão caupí. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25, 525-530.
- 457 Schirmer, M., Höchstötter, A., Jekle, M., Arendt, E., & Becker, T. (2013). Physicochemical  
 458 and morphological characterization of different starches with variable amylose/ amylopectin  
 459 ratio. *Food Hydrocolloids*, 32, 52–63.
- 460 Sharma, S. K., & Singh, H. (2012). A review on pharmacological significance of genus  
 461 *Jatropha* (Euphorbiaceae). *Chinese Journal of Integrative Medicine*, 18, 868-880.
- 462 Silva, T. M., Santiago, P. O., Purcena, L. L. A., & Fernandes, K. F. (2010). Study of the  
 463 cashew gum polysaccharide for the horseradish peroxidase immobilization –Structural  
 464 characteristics, stability and recovery. *Material Science and Engineering C*, 30, 562-530.
- 465 Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh Sodhi, N., & Singh Gill, B. (2003). Morphological,  
 466 thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food*  
 467 *Chemistry*, 81(2), 219-231.
- 468 Tadapaneni, R. K., Yang, R., Carter, B., & Tang, J. (2017). A new method to determine the  
 469 water activity and the net isosteric heats of sorption for low moisture foods at elevated  
 470 temperatures. *Food Research International*, 102(Supplement C), 203-212.
- 471 Tan, X., Gu, B., Li, X., Xie, C., Chen, L., & Zhang, B. (2017). Effect of growth period on the  
 472 multi-scale structure and physicochemical properties of cassava starch. *International Journal*  
 473 *of Biological Macromolecules*, 101(Supplement C), 9-15.

- 474 Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. Review. Starch-composition, fine structure and  
475 architecture. *Journal of Cereal Science*, 39, 151-165.
- 476 Wang, S., Yu, J., Zhu, Q., Yu, J., & Jin, F. (2009). Granular structure and allomorph position  
477 in C-type Chinese yam starch granule revealed by SEM, <sup>13</sup>C CP/MAS NMR and XRD. *Food*  
478 *Hydrocolloids*, 23, 426-433.
- 479 Wang, T. L., Bogracheva, T. Y., & Hedley, C. L. (1998). Starch: as simple as A, B, C.  
480 *Journal of Experimental Botany*, 49, 481-502.
- 481 Wani, I. A., Sogi, D. S., Hamdani, A. M., Gani, A., Bhat, N. A., & Shah, A. (2016). Isolation,  
482 composition, and physicochemical properties of starch from legumes: A review. *Starch*, 68,  
483 834-845.
- 484 Warren, F. J., Gidley, M. J., & Flanagan, B. M. (2016). Infrared spectroscopy as a tool to  
485 characterise starch ordered structure—a joint FTIR–ATR, NMR, XRD and DSC study.  
486 *Carbohydrate Polymers*, 139, 35-42.
- 487 Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P. & Chang, Y. K. (2009). Physicochemical, rheological,  
488 morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn  
489 starches. *Ciência Tecnologia Alimentos*, 29, 748-753.

## CAPÍTULO 4

### EXTRAÇÃO E CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-ESTRUTURAIS, TÉRMICAS E TECNOLÓGICAS DO AMIDO DE LÍRIO-DO-BREJO (*Hedychium coronarium* J. Koen)

**Resumo:** O lírio-do-brejo, natural do Nepal, é considerado planta invasora no Brasil, pois apresenta crescimento rápido e negativo para a biodiversidade vegetal. Os rizomas são aproveitados pelo homem, devido suas propriedades medicinais, como nos tratamentos da cefaleia, do câncer e das inflamações, mas também pode ser uma fonte potencial para a extração de amido, ainda pouco explorada e com dados escassos literatura científica. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo contribuir com novos dados sobre o rendimento da extração do amido em duas diferentes estações do ano e caracterizar as propriedades químico-estruturais, térmicas e tecnológicas do amido de lírio-do-brejo. O rendimento da extração de amido colhido na estação seca foi de  $22.0 \pm 0.3$  %, sendo o produto obtido um pó branco ligeiramente amarelado, com pequena tendência ao verde imperceptível ao olho nu, com teor de carboidrato de 97.67%, e baixos teores de cinzas, proteínas e fibra alimentar total. O amido de lírio-do-brejo apresentou teor de amilose de cerca de 59.16%, cristalinidade de 19.30% e um típico difratograma de amido do tipo B, ausência da cruz de malta sob luz polarizada e espectro de infravermelho com transformada de Fourier e curva termogravimétrica típica de amido de tubérculos. A temperatura inicial de gelatinização ( $T_0$ ) do amido de lírio-do-brejo foi de 72.30 °C, enquanto a de pico ( $T_p$ ) foi de 76.78 °C e a final ( $T_c$ ) 91.21 °C. O amido apresentou alta tendência à retrogradação e aumento da solubilidade e do poder de entumescimento com o aumento da temperatura. Conclui-se que o amido de lírio-do-brejo possui características químico-estruturais, térmicas e tecnológicas peculiares e adequadas para uso na indústria de alimentos.

25 **Palavras chave:** Alimento alternativo, polímero natural, difractometria de raio-X, propriedades  
26 de pasta, calorimetria, amilose.

## 27 **1 INTRODUÇÃO**

28 O *Hedychium coronarium* J. König é popularmente conhecido como lírio-do-brejo,  
29 lírio-borboleta, napoleão, narciso, olímpia ou gengibre-branco. A planta é uma  
30 monocotiledônea macrófita da família Zingiberaceae, natural da região do Himalaia e da área  
31 abrangida entre a Índia até a Indonésia, e aclimatada nas Américas, principalmente no Brasil  
32 (Instituto Hórus, 2016).

33 No Brasil, *H. coronarium* é considerada uma planta invasora, pois apresenta influencia  
34 negativa para a comunidade vegetal, com conseqüências indesejadas para a biodiversidade das  
35 áreas invadidas (Castro et al., 2016; Saulino & Trivinho-Strixino, 2017). A principal forma de  
36 aproveitamento, pelo homem, desta planta é o uso de seus rizomas, devido suas propriedades  
37 medicinais, como no tratamento de cefaleia, câncer e inflamação, além de promover a apoptose  
38 celular (Verma & Bansal, 2010), e de possuir atividade antifúngica e antibacteriana (Joy, Rajan,  
39 & Abraham, 2007). Além das propriedades medicinais os rizomas do lírio-do-brejo são uma  
40 fonte em potencial para a extração de amido.

41 O amido é fonte de energia para seres humanos e animais, e também é uma importante  
42 matéria-prima em vários segmentos industriais, como a indústria de alimentos e farmacêutica.  
43 Nas plantas, o amido é armazenado na forma de grânulos semicristalinos com tamanho de 1 a  
44 100 nm, e é constituído por dois componentes principais: amilose, principalmente linear, e a  
45 amilopectina, altamente ramificada (Blazek & Gilbert, 2011). As cadeias de amilose formam  
46 duplas hélices organizadas em paralelo, e a amilopectina com um alto grau de ramificação e  
47 ordenação estrutural é responsável pelas características cristalino dos grânulos do amido,  
48 podendo variar nos tipo A, B, C e V (Pérez & Bertoft, 2010; He & Wai, 2017). O conteúdo de

49 amilose e amilopectina influenciam drasticamente nas propriedades do amido. A amilopectina  
50 proporciona o aumento da cristalinidade do amido, pois constitui a fração cristalina do grânulo.  
51 Já os grânulos de amido com alta concentração de amilose apresentam maior proporção de áreas  
52 amorfas o que lhe confere menor grau de cristalinidade. No entanto, a amilose pode localizar-  
53 se entre as moléculas de amilopectina e se associar com as regiões lineares da mesma,  
54 contribuindo com alto grau de ordem dentro das regiões cristalinas da molécula de amilopectina  
55 (Kitahara et al., 2017; Ambigaipalan et al., 2011; Bello-Pérez et al., 2010)

56 A única fonte científica encontrada na literatura que estudou o amido de lírio-do-brejo  
57 avaliou a composição centesimal, teores de açúcares totais, conteúdo de amilose, as  
58 propriedades de pasta, propriedades térmicas, solubilidade e absorção de água, tipo de  
59 cristalinidade e propriedades de adsorção de água do amido. Com isso, os autores verificaram  
60 que os rizomas do lírio-do-brejo renderam cerca de 21,97% de amido (base seca), e este  
61 apresentou baixa energia diferencial de adsorção de água, o que denota ao produto característica  
62 de baixa higroscopicidade. O produto também apresentou teor de amilose superior aos dos  
63 amidos de mandioca, batata e milho, elevada temperatura de empastamento e baixa tendência  
64 ao inchamento, além de elevada estabilidade frente ao calor sob agitação mecânica, e alta  
65 tendência à retrogradação (Ascheri et al., 2009; Ascheri et al., 2010).

66 Embora haja dados relevantes para a caracterização do amido de rizoma de lírio-do-  
67 brejo, estes necessitam de maior investigação, sobretudo estrutural, utilizando técnicas, tais  
68 como as espectroscópicas para corroborar com resultados físico-químicos. Além disso, não há  
69 estudos que avaliaram o rendimento da extração em diferentes épocas do ano, o que é bastante  
70 relevante em regiões de estações bastante distintas, sobretudo no que se refere ao aporte hídrico  
71 do ecossistema. Neste sentido o presente trabalho apresenta um aprofundamento do estudo  
72 deste amido, em relação à caracterização estrutural e propriedades tecnológicas, utilizando  
73 espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier, a microscopia com luz

74 polarizada, a microscopia eletrônica de varredura, a termogravimetria, a ressonância magnética  
75 nuclear (RMN), bem como dados sobre os parâmetros de cor instrumental do amido. Portanto,  
76 o presente trabalho teve por objetivo determinar o rendimento da extração em duas diferentes  
77 estações do ano e caracterizar as propriedades químico-estruturais, térmicas e tecnológicas do  
78 amido de lírio-do-brejo.

## 79 **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 80 **2.1 Material**

81 Amostras com 60 kg de rizomas de lírio-do-brejo foram coletados no município de  
82 Vianópolis, Goiás, Brasil, em duas épocas, setembro de 2016 (início da primavera) e em janeiro  
83 de 2017 (início do verão). Os rizomas foram acondicionados em sacos de polipropileno  
84 trançado, e imediatamente transportados para o Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e  
85 Subprodutos Agorindustriais da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, e  
86 imediatamente processados.

### 87 **2.2 Extração do amido**

88 O amido foi extraído conforme Aschieri et al. (2009), onde os rizomas foram  
89 descascados, cortados manualmente, e mergulhados em solução aquosa de metabissulfito (5 g  
90 L<sup>-1</sup>), numa proporção de 1 kg de matéria-prima para 2 L de solução por 15 min. Em seguida, os  
91 pedaços foram triturados em liquidificador, com a adição de água na proporção de 2 L para 1  
92 kg de raiz. O amido foi extraído por peneiragem, usando malhas com aberturas entre 35 e 400  
93 *mesh* (0,500 a 0,037 mm), e lavagens sucessivas da massa. O filtrado foi mantido em repouso  
94 para sedimentação e o sobrenadante foi descartado. O amido foi seco em estufa de circulação  
95 de ar a 35 °C por 48 h, reduzido a pó manualmente com auxílio de gral e pistilo, e peneirado  
96 em tamis com malha de 35 *mesh* (abertura 500 µm). O rendimento foi calculado como a relação  
97 entre a massa do produto final a massa inicial do rizoma descascado (500 g) multiplicada por

98 100. A extração foi realizada em três repetições, e o rendimento médio expresso em percentual,  
99 seguido do desvio-padrão. A caracterização de três amostras de amido dos rizomas colhidos em  
100 janeiro de 2017 foi realizada, e todas as análises realizadas em triplicata.

### 101 **2.3 Cor instrumental**

102 Os parâmetros instrumentais de cor foram analisados, conforme Reddy, Luan e Xu  
103 (2017), através de calorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA). A calibração  
104 foi efetuada em superfície de porcelana branca, e se realizaram as leituras dos parâmetros:  
105 luminosidade (zero = preto e 100 = branco), coordenadas de cromaticidade  $a^*$  (-80 até zero =  
106 verde, e zero ao +100 = vermelho) e  $b^*$  (-100 até zero = azul, do zero ao + 70 = amarelo).  
107 Também foram calculados a croma (saturação da cor) e o ângulo Hue (tonalidade ou matriz)  
108 (Equações 1 e 2, respectivamente).

$$109 \quad C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{(Equação 1)}$$

$$110 \quad H^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{(Equação 2)}$$

### 111 **2.4 Composição centesimal, amilose e atividade de água**

112 A umidade foi determinada em estufa a 105 °C até peso constante; as cinzas por pesagem  
113 após incineração a 550 °C em forno mufla; o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl,  
114 que multiplicado pelo fator 6,25 resultou no teor de proteína bruta; e os lipídeos por extração  
115 com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet. Para obter a fibra alimentar total foi utilizada  
116 amostra desengordurada da extração por Soxhlet, seguindo método enzimico-gravimétrico. O  
117 conteúdo de carboidratos totais foi estimado por diferença. A atividade de água (Aa) foi  
118 determinada no AquaLab digital (AquaLab, Series 3TE, Pullman, USA), acoplado a um banho  
119 termostático a temperatura de 25 °C. Todas as análises foram realizadas em três repetições e em  
120 triplicata, conforme as recomendações da AOAC (2012). O teor de amilose foi determinado  
121 conforme metodologia descrita por Martinez e Cuevas-Perez (1989). A leitura foi realizada em

122 espectrofotômetro calibrado com comprimento de onda de 620 nm, e utilizou-se a equação da  
123 reta da curva padrão, obtida por soluções com concentrações de amilose pura de 8 a 60 g 100  
124 g<sup>-1</sup> (Sigma - amilose batata) e os valores da absorvância das amostras.

## 125 **2.5 Cristalinidade**

126 A análise de raios-X foi realizada em um difratômetro de raios-X (Shimadzu, XRD-  
127 6000) operando sob as seguintes condições: tubo de cobre de radiação K $\alpha$ , 40 kV e 100 mA,  
128 com varredura entre 10.000 - 80.000. Para evitar a interferência de umidade relativa, as  
129 amostras foram secas durante 24 h e colocadas em um dessecador, contendo sílica, até  
130 utilização. O grau de cristalinidade foi estimado quantitativamente, seguindo o método de Nara  
131 e Komiy (1983). O grau de cristalinidade foi definido como a razão entre a área da região  
132 cristalina e a área total coberta pela curva, conforme equação 3.

$$133 \quad Dc(\%) = \frac{Ac}{Ac+Aa} \quad \text{Equação (3)}$$

134 Na qual, Dc (%) é o grau de cristalinidade; Ac: área da região cristalina do difratograma de  
135 raio-X; Aa: área amorfa do difratograma de raio-X.

## 136 **2.6 Espectroscopia de ressonância magnética nuclear <sup>13</sup>C**

137 A amostra de amido foi analisada por espectroscopia de ressonância magnética nuclear  
138 (RMN) de <sup>13</sup>C, usando um espectrômetro Bruker Avance III -500. 200 mg de amido foram  
139 embalados em um rotor cilíndrico de óxido de zircônio de 4 mm de diâmetro. O rotor foi girado  
140 a 7kHz no ângulo mágico (54,7 °). A aquisição espectral e o processamento foram realizados  
141 com o software Bruker TopSpin 3.5 pl6 (Pascoal et al., 2013).

## 142 **2.7 Microscopia com luz polarizada**

143 A existência ou não de birrefringência foi verificada em microscópio óptico (Zeiss,  
144 Axioskop-MC80, Göttingen, Alemanha) sob luz polarizada conforme Huang et al. (2015).  
145 Pequenas quantidades do amido foram colocadas em lâminas de vidro e imersas em uma gota

146 de glicerol. As amostras foram cobertas com uma lamínula de vidro e levadas ao microscópio  
147 para observação. Cada amostra foi analisada em magnitude de ampliação de 100 a 400 X.

## 148 **2.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos grânulos de amido**

149 A amostra de amido em pó, previamente desidratada, foi fixada com fita dupla face, em  
150 suportes de alumínio e em seguida metalizada com uma camada de ouro de 350 Å de espessura.  
151 Para a análise das amostras utilizou-se microscópio eletrônico de varredura (JEOL, JSM –  
152 6610). Os grânulos de amido foram examinados sob microscópio, e as fotografias foram tiradas  
153 em triplicata, com aumento de 500 a 5000 X (Di-Medeiros et al., 2014).

## 154 **2.9 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)**

155 Para o preparo das pastilhas, aproximadamente 1 mg de cada amostra foi misturada com  
156 100 mg de KBr, sendo essa mistura, comprimida entre dois pastilhadores sob alta pressão (de  
157 aproximadamente oito ton) até a formação de uma pastilha translúcida. As condições de  
158 operação do equipamento (Bomem Hartmann & Braun, MB 102, Quebec, Canada) foram  
159 estabelecidas na região 400-5600  $\text{cm}^{-1}$ , com 12 varreduras e resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  (Di-Medeiros  
160 et al., 2014).

## 161 **2.10 Propriedades termogravimétricas**

162 Analisador térmico (Shimadzu, DTG 60/60H) foi utilizado, com a temperatura variando  
163 de 25 a 500 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C  $\text{min}^{-1}$ . O teste foi conduzido sob  
164 atmosfera de nitrogênio, utilizando um cadinho de alumina. O peso inicial da amostra foi de  
165 17.6 mg (Di-Medeiros et al., 2014).

## 166 **2.11 Propriedades térmicas**

167 Calorímetro diferencial de varredura - DSC (TA Instruments, Q20, New Castle, Reino  
168 Unido) foi utilizado, segundo Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009). A amostra de 2 mg (b.s.)  
169 foi acondicionada em porta amostra de alumínio com 6  $\mu\text{L}$  de água destilada, selados em prensa  
170 específica, e mantidos por 12 h a 25 °C, para uniformizar a distribuição da água. A amostra foi

171 aquecida no intervalo entre 40 e 120 °C, a uma taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. A partir da  
172 curva obtida, a entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ), o intervalo de temperatura de gelatinização ( $\Delta T$ ),  
173 a temperatura no início da gelatinização ( $T_o$ ), a temperatura no pico ( $T_p$ ) e a temperatura final  
174 ( $T_c$ ) foram calculadas usando o aplicativo TA Universal Analysis (TA Instruments, New Castle,  
175 UK) (Di-Medeiros et al., 2014).

## 176 **2.12 Solubilidade em água e poder de entumescimento**

177 O índice de absorção de água (IAA), ou poder de intumescimento, foi determinado  
178 segundo Anderson et al. (1969). As amostras de 2,5 g foram pesadas em tubos de centrifuga,  
179 previamente tarados, e adicionados de 30 mL de água destilada. Os tubos foram agitados em  
180 banho maria por 30 min em temperaturas de 28 °C, 55 °C, 65 °C, 80 °C e 90 °C, e centrifugados  
181 a 3000 rpm, por 15 min. O sobrenadante foi retirado cuidadosamente com auxílio de uma pipeta  
182 volumétrica de 10 mL. O valor de IAA foi calculado utilizando-se a equação 4, e o resultado  
183 expresso em g de precipitado por g de matéria seca. O índice de solubilidade em água (ISA) foi  
184 calculado pela relação entre o peso da massa do resíduo seco do sobrenadante (resíduo da  
185 evaporação) (PRE) e do peso da amostra (PA) (Equação 5).

$$186 \quad IAA = \frac{\text{Peso do precipitado}}{\text{Peso da amostra(bs)}} \quad \text{Equação (4)}$$

$$187 \quad ISA = \left\{ \left[ \frac{\text{PRE}}{\text{PA}} \right] 3 \right\} 100 \quad \text{Equação (5)}$$

## 188 **2.13 Propriedades de pasta**

189 O Rapid Visco Analyzer (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia) foi utilizado, e 2,5 g  
190 de amostra (b.s.) foi dispersa em 25 mL de água destilada. Esta dispersão foi mantida a 50 °C,  
191 durante 1 min, aquecida a 95 °C a uma velocidade de 9,5 °C min<sup>-1</sup>, mantida a 95 °C durante  
192 2,5 min, e resfriada para 50 °C a uma velocidade de 11,842 °C min<sup>-1</sup>. O pico de viscosidade  
193 (PV), a viscosidade final (VF), a quebra de viscosidade (QV) ou *breakdown* e a tendência à  
194 retrogradação (TR) ou *setback* foram determinados (Di-Medeiros et al., 2014).

### 195 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

196 O rendimento da extração do amido do lírio-do-brejo dos rizomas colhidos no mês de  
197 julho de 2016 foi satisfatório, de  $22.0 \pm 0.3 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  (b.s.). Rendimento similar ao reportado  
198 por Ascheri et al. (2010), de 21.97% de amido (b.s.), para rizomas do lírio-do-brejo foram, na  
199 fazenda Taquaral, localizada no município de Orizona, Goiás, Brasil (os autores não relatam a  
200 época de colheita dos rizomas). Já os rizomas que foram coletados no mês de janeiro de 2017  
201 apresentaram baixo rendimento na extração do amido, de  $6.9 \pm 0.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  (b.s.). O que indica  
202 que a melhor época para a colheita do lírio-do-brejo visando a extração do amido é durante a  
203 estação seca, quando ocorre a deposição do polissacarídeo de reserva nos rizomas. O rendimento  
204 da extração do amido de lírio-do-brejo, em ambas datas de colheita foi inferior ao da extração  
205 de amido da mandioca, a qual apresenta rendimento superior a  $30 \text{ g} / 100\text{g}$  (Fakir et al., 2012),  
206 podendo ser considerado um produto com baixo rendimento para extração de amido. No  
207 entanto, como se trata de uma matéria prima pouco utilizada e que apresenta ampla  
208 disponibilidade, sendo inclusive considerada uma planta invasora (Saulino & Trivinho-  
209 Strixino, 2017), a extração do amido pode ser considerado uma forma de aproveitamento desta  
210 cultivar.

211 O amido extraído dos rizomas de lírio-do-brejo apresentou atividade de água de  $0,49 \pm$   
212  $0,01$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , o que o garante sua estabilidade microbiológica (Tadapaneni et al., 2017). O  
213 produto se assemelhou a um pó branco, com luminosidade de  $94.93 \pm 0,69$ , ligeiramente  
214 amarelado, com coordenadas de cromaticidade  $a^*$  de  $-0.70 \pm 0.96$ ,  $b^*$  de  $6.42 \pm 0.58$  e ângulo  
215 Hue  $96.22^\circ \pm 0.48$  (amarelo com fraco tom esverdeado), e croma de  $6.46 \pm 0.24$  (cor pálida de  
216 baixa intensidade). Maiores valores de luminosidade do amido reflete a leveza e a pureza dos  
217 amidos, sendo que para o uso do amido em várias aplicações na indústria de alimentos e  
218 farmacêutica, a cor é recomendada é a mais branca (Reddy, Luan, & Xu, 2017).

219 O amido dos rizomas de lírio-do-brejo apresentou um teor de carboidratos de 97.67%,  
 220 apresentando baixos teores de cinzas, proteínas, lipídios e fibra alimentar total (Tabela 1). O  
 221 teor de lipídios foi de 0.84 g 100 g<sup>-1</sup>, provavelmente relacionado ao teor de óleo resina  
 222 remanescente após a purificação com etanol. Os resultados encontrados foram condizentes com  
 223 os de Aschieri et al. (2010), que reportaram valores de 0.5 g 100g<sup>-1</sup> para teor de cinzas, 0.03 g  
 224 100g<sup>-1</sup> para conteúdo de proteína e 0.24 g 100g<sup>-1</sup> para fibra alimentar total, sendo que o conteúdo  
 225 de matéria graxa 0.01 g 100 g<sup>-1</sup> foi bem inferior ao encontrado neste trabalho.

226 Tabela 1. Composição centesimal, amilose do amido extraído de rizomas de lírio-do-brejo  
 227 (*Hedychium coronarium* J. König), em base úmida

Componente <sup>1</sup>	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)
Umidade	10.13	0.0005	0.005
Cinzas	0.28	0.0001	0.036
Lipídios	0.84	0.0004	0.047
Proteína	0.97	0.0029	0.300
Carboidratos	87.78	0.0039	0.005
Fibra alimentar total	0.11	0.0051	4.730
Amilose	59.16	1.86	3.144

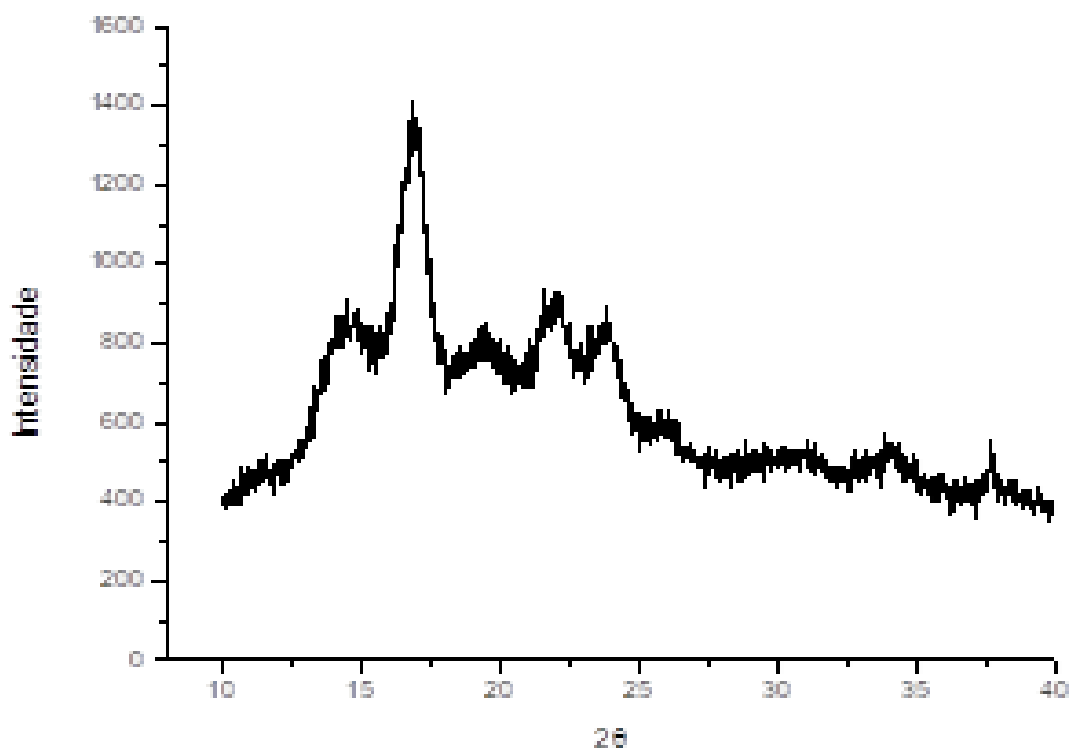
228 <sup>1</sup> g 100 g<sup>-1</sup>

229 O teor médio de amilose do amido dos rizomas de lírio-do-brejo foi de 59.16 g 100 g<sup>-1</sup>  
 230 (Tabela 1), valor bem superior ao relatado por Ascheri et al. (2010), de 37.2 g 100 g<sup>-1</sup>, os quais  
 231 utilizaram a mesma metodologia na análise. Essa diferença, possivelmente se deve ao fato de  
 232 serem produtos de matéria prima coletada em épocas diferentes. Dados das análises estruturais  
 233 confirmaram o teor de amilose, o que não foi relatado anteriormente em outras fontes  
 234 bibliográficas.

235 O conteúdo de amilose foi maior que o verificado por Jamir e Seshagirirao (2017) em  
236 plantas da família Zingiberaceae, de 27.7 g 100 g<sup>-1</sup> na *Curcuma caesia*, 25.4 g 100 g<sup>-1</sup> na  
237 *Curcuma aromatica*, 24.3 g 100 g<sup>-1</sup> na *Kaempferia parviflora*, 23.5 g 100 g<sup>-1</sup> na *Curcuma*  
238 *amada*, 22.9 g 100 g<sup>-1</sup> na *Zingiber montanum* e 22.3 g 100 g<sup>-1</sup> na *Curcuma aeruginosa*. Os  
239 amidos de *Curcuma longa* e *Curcuma zedoaria*, apresentaram teor de amilose de 22 e 21 g 100  
240 g<sup>-1</sup>, respectivamente (Magali et al., 2003).

241 O teor de amilose pode influenciar na capacidade de inchamento do grânulo,  
242 gelatinização, retrogradação e no comportamento durante a digestão. Além disso, o teor de  
243 amilose influencia diretamente as características funcionais do amido, pois contribui para o  
244 aumento do teor de amido resistente pela retrogradação, reduzindo picos glicêmicos  
245 (Policegoudra & Aradhya, 2008).

246 O grau de cristalinidade do amido dos rizomas de lírio-do-brejo foi baixo, de 19.30%,  
247 apresentando um difratograma de amido do tipo B. Pois, é caracterizado principalmente pela  
248 presença de um singleto em 16.9°, e um dubleto em 21.9° e 23.8° (Figura 1) (Huang et al.,  
249 2015). Outros picos observados foram em 14.6° e 19.4°. O grau de cristalinidade do amido está  
250 diretamente relacionado ao conteúdo de amilose que este apresenta (Kitahara et al., 2017;  
251 Ambigaipalan et al., 2011). Portanto, o baixo grau de cristalinidade do amido dos rizomas de  
252 lírio-do-brejo se deveu ao alto conteúdo de amilose (Tabela 1).



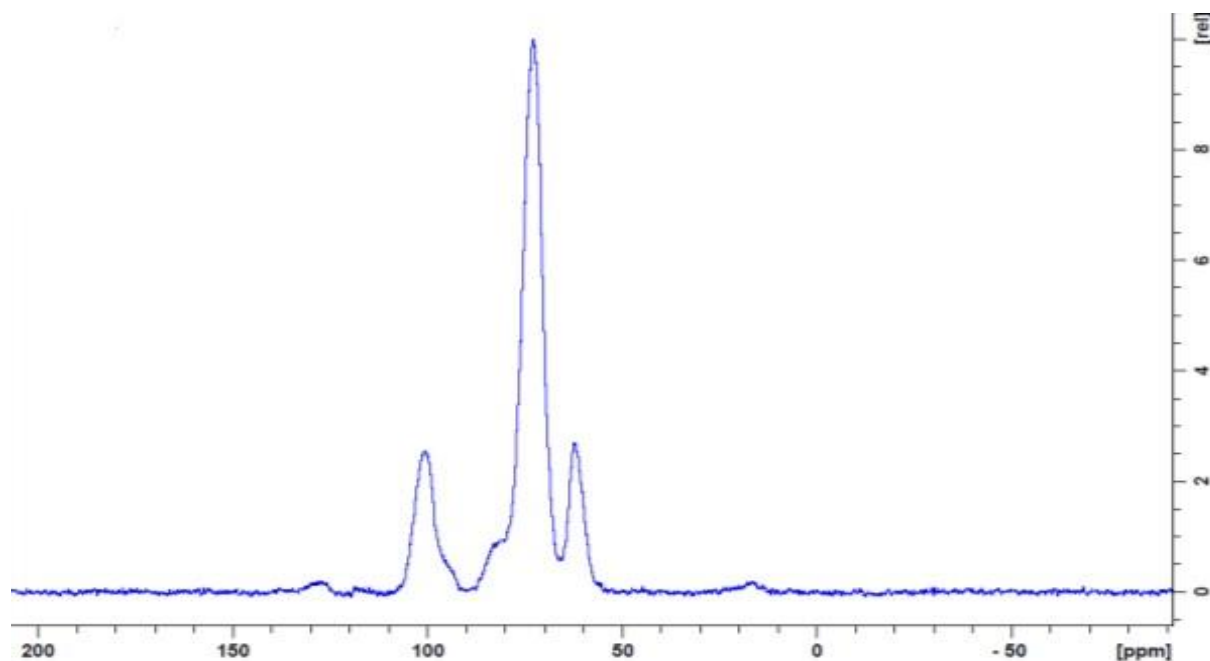
253

254 Figura 1. Difratoograma de raio-X do amido de rizomas de lírio-do-brejo (*Hedychium*  
 255 *coronarium* J. König)

256 O padrão cristalográfico do amido de lírio-do-brejo diferiu do reportado por Ascheri et  
 257 al. (2010), que concluíram que se tratava de um amido do tipo A, porém os picos encontrados  
 258 por estes autores (14.7°, 17.47°, 19.63°, 22.17°, 24.17° e 26.78°) foram similares aos  
 259 encontrados nesta pesquisa. Um estudo com plantas da família Zingiberaceae reportou  
 260 cristalinidade do tipo B para *Curcuma aeruginosa* Roxb. (KJ-2025), *Curcuma amada* Roxb.  
 261 (KJ-2022), *Curcuma aromatica* Salisb. (KJ-2020) (Jamir & Seshagirirao, 2017), reforçando o  
 262 padrão de cristalinidade verificado nesta pesquisa.

263 O espectro de <sup>13</sup>C CP/MAS (Figura 2) apresentou um padrão bastante amorfo para o  
 264 amido de lírio do brejo, compatível com o grau de cristalinidade apresentado pelo difratograma  
 265 de raio-X, e do teor de amilose presente nos grânulos de amido. Os dados cristalográficos são  
 266 característicos de amido tipo B, no entanto o conteúdo amorfo e o padrão de ressonância

267 magnética dão indicativo de uma transição para tipo V. Características estas, devidamente  
268 observadas pelos padrões de comportamento físico-químico (Zhu et al., 2017; Warren, Gidley,  
269 & Flanagan, 2016).

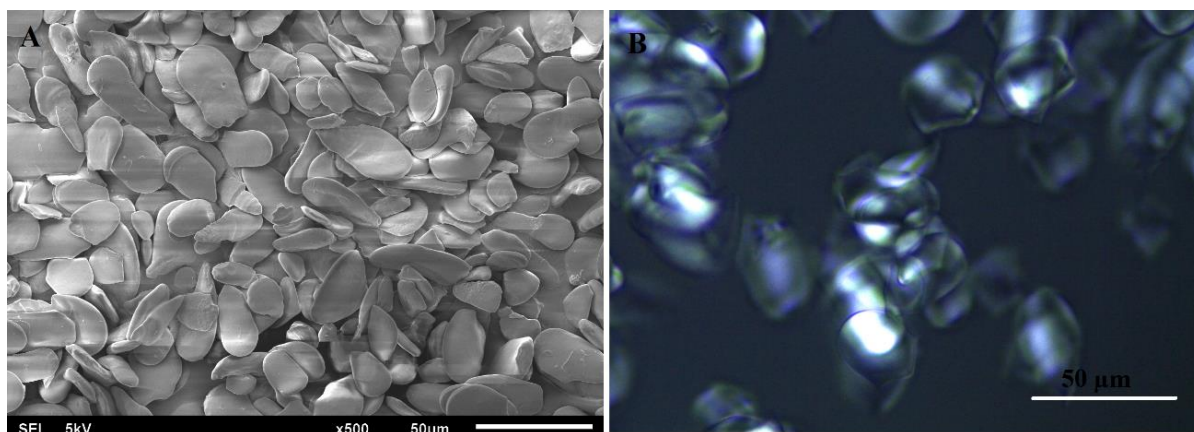


270 Figura 2. Espectro de RMN do amido de lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König)

271 O amido de lírio-do-brejo não apresentou birrefringência, quando observado em  
272 microscopia com luz polarizada (Figura 3). A ausência da cruz de malta se deveu ao baixo grau  
273 de cristalinidade do amido de lírio-do-brejo, confirmado na análise de raio-X (Figura 1). Quanto  
274 maior o conteúdo de amilose, maior o percentual de áreas amorfas, conseqüentemente menos  
275 cristalino o material, pois são as cadeias de amilopectina as responsáveis pela formação das  
276 regiões cristalinas do grânulo (Pérez & Bertoft, 2010; Li & Zhu, 2017). O que foi constatado  
277 neste estudo quando se confrontou a ausência da cruz de malta com o alto conteúdo de amilose  
278 e a baixa cristalinidade do amido dos rizomas de lírio-do-brejo.

279 A espessura do grânulo também pode dificultar a visualização da birrefringência do  
280 grânulo do amido, fato verificado por Huang et al. (2015) no amido de *Curcuma longa*. Os  
281 grânulos de amido dos rizomas de lírio-do-brejo são achatados, apresentando pequena

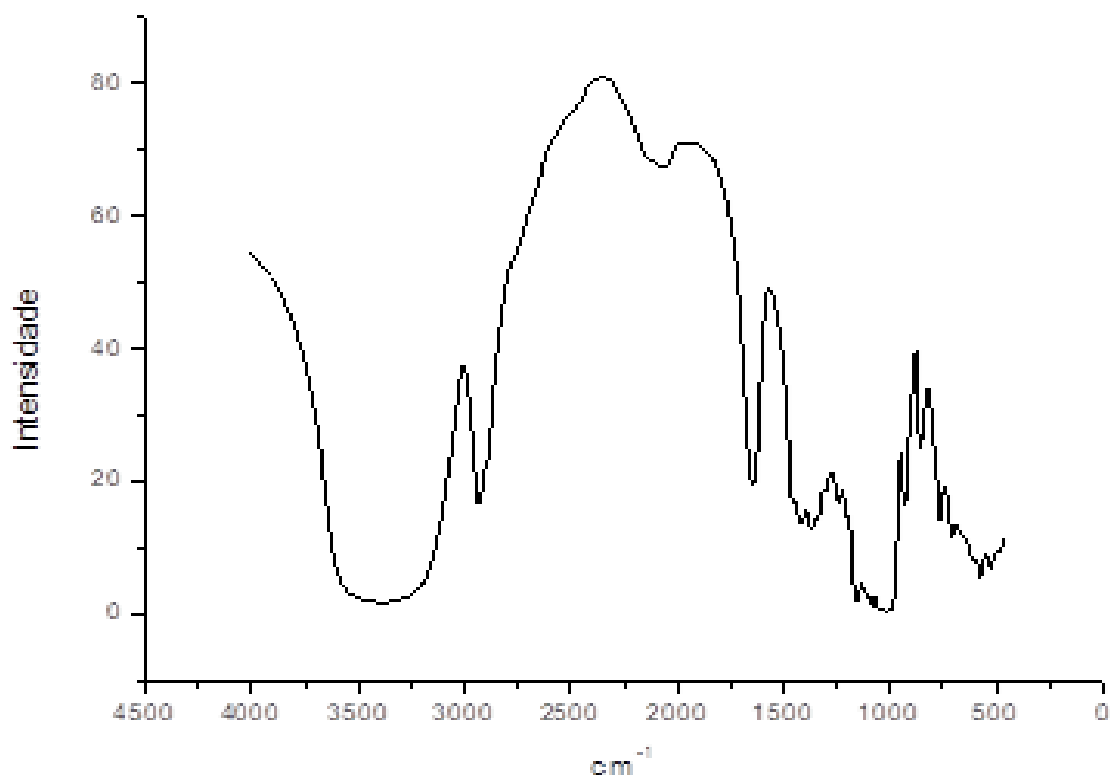
282 espessura (2 – 6  $\mu\text{m}$ ) em relação ao seu comprimento (12 – 38  $\mu\text{m}$ ), conforme pode ser  
283 visualizado nas imagens microscópicas e nas micrografias obtidas com o MEV (Figura 3A,  
284 3B).



285

286 Figura 3. Micrografias (A) e microscopia com luz polarizada (40x) (B) dos grânulos do amido  
287 de lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König)

288 O amido dos rizomas de lírio-do-brejo apresentou espectro de infravermelho com  
289 transformada de Fourier (Figura 4) típico de um homopolímero de glicose com ligações  $\alpha$  (Di-  
290 Medeiros Et Al., 2014; Capek, Drabik, Turjan, 2010). O pico largo em  $3392\text{ cm}^{-1}$  refere-se ao  
291 agrupamento OH; o pico menor na região de  $2936\text{ cm}^{-1}$  pode ser atribuído à vibração de  
292 estiramento da ligação  $\text{CH}_2$  da molécula de glicose, e o pico em  $1643\text{ cm}^{-1}$  às vibrações do  
293 agrupamento OH provenientes de água de hidratação presente na molécula. Enquanto, os picos  
294 a  $1157\text{ cm}^{-1}$ ,  $1080\text{ cm}^{-1}$  e  $1021\text{ cm}^{-1}$  se relacionam à vibração de alongamento de C–O–C e C–  
295 O–H das ligações glicosídicas, características de polissacarídeos. No espectro do amido do lírio-  
296 do-brejo houve um pico em  $1021\text{ cm}^{-1}$  (banda larga) que está relacionado com a região amorfa  
297 do grânulo do amido, característica acentuada em amidos com alto teor de amilose.



298

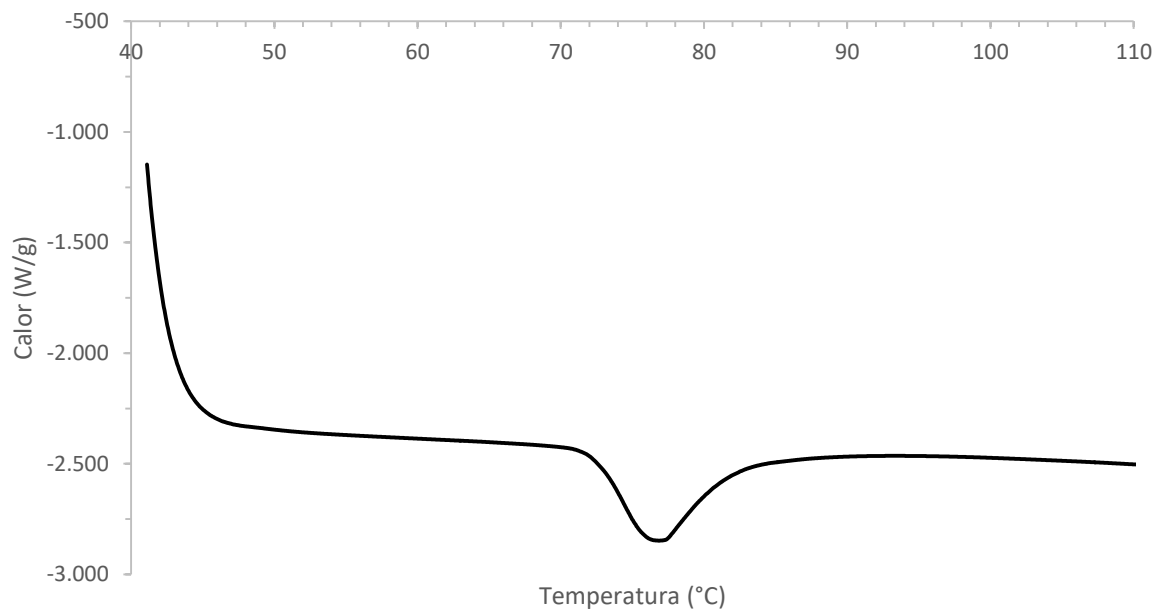
299 Figura 4. Espectro de infravermelho com Transformada de Fourier de amido dos rizomas de  
 300 lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König)

301 De acordo com Warren et al. (2016) e Huang et al. (2015), picos entre 1047 e 1000  $\text{cm}^{-1}$   
 302 <sup>1</sup> estão associados a regiões ordenadas (cristalinas) e picos em 1022  $\text{cm}^{-1}$  estão relacionados  
 303 com a região amorfa do grânulo. Portanto, o amido dos rizomas de lírio-do-brejo apresentou  
 304 característica de material amorfo. Por fim, as bandas entre 864 e 770  $\text{cm}^{-1}$  foram relacionadas  
 305 às vibrações C—O—H e C—O—C de glicídios, confirmando as ligações tipo  $\alpha$ , características  
 306 de amido, segundo Bernardino-Nicanor et al. (2017).

307 A curva termogravimétrica do amido de rizomas de lírio-do-brejo também foi típica de  
 308 homopolissacarídeos (Di-Medeiros et al., 2014). Pois, o primeiro pico ocorreu com temperatura  
 309 inicial de  $42.60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.25$  e final de  $82.27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.23$ , com perda de massa de  $0.627\text{ mg} \pm 0.001$   
 310 (13,79%), referente àquela da água de hidratação. A segunda perda de massa ocorreu entre  
 311  $293.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.22$  e  $316.94\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.24$ , e foi da ordem de  $2.468\text{ mg} \pm 0.002$  (54.30%). O alto

312 percentual de perda de massa nessa faixa foi resultado da decomposição de compostos de cadeia  
313 carbônica similar, característica de homopolissacarídeos como o amido.

314 A temperatura inicial de gelatinização ( $T_0$ ) do amido dos rizomas de lírio-do-brejo foi  
315 de  $72.30\text{ °C} \pm 0.03$ , enquanto a de pico ( $T_p$ ) foi de  $76.78\text{ °C} \pm 0.01$  e a final ( $T_c$ )  $91.21\text{ °C} \pm$   
316  $1.03$  (Figura 5.).



317  
318 Figura 5. Curva do Differential Scanner Calorimetric (DSC) de amido de rizomas de lírio-do-  
319 brejo (*Hedychium coronarium* J. König)

320 O intervalo de temperatura de gelatinização do amido de lírio-do-brejo foi de  $18.91\text{ °C}$ ,  
321 superior ao apresentado por amido de *Curcuma caesia* ( $13.7\text{ °C}$ ) e *Kaempferia parviflora* ( $12.7$   
322  $\text{°C}$ ) e inferior ao amido de *Curcuma amada* ( $20.82\text{ °C}$ ) *Curcuma longa* ( $27\text{ °C}$ ), e *Zingiber*  
323 *officinale* ( $30\text{ °C}$ ) (Jamir & Seshagirirao, 2017; Policegoudra & Aradhya, 2008; Mara et al.,  
324 2006).

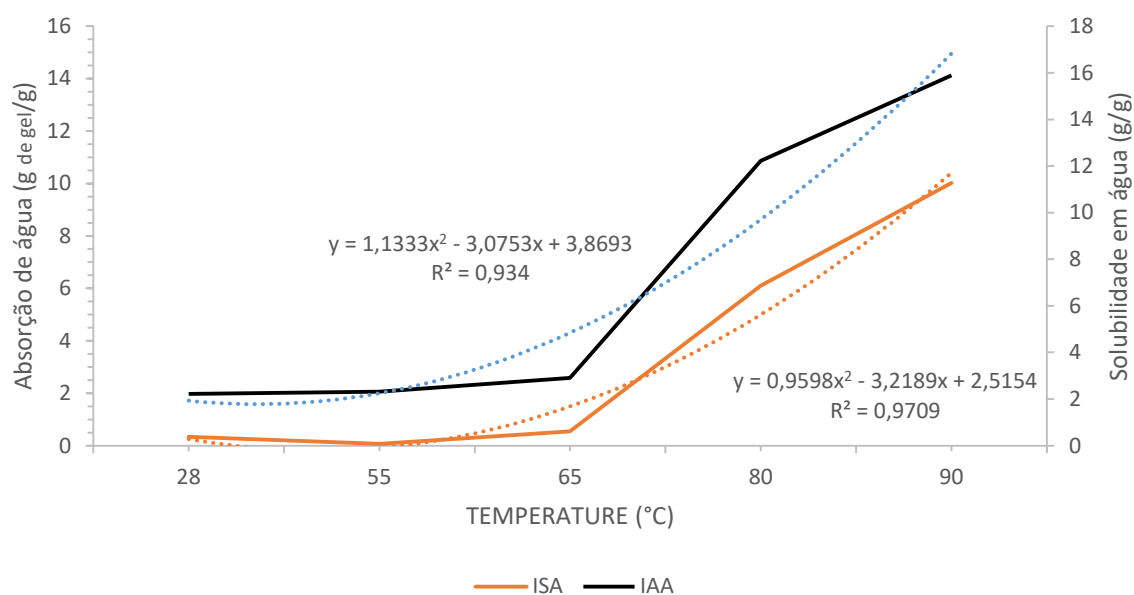
325 As temperaturas da endoterma de gelatinização ( $T_0$ ,  $T_p$  e  $T_c$ ) estão relacionadas com a  
326 arquitetura molecular da região cristalina do grânulo, sendo influenciada mais pela distribuição  
327 de cadeias curtas de amilopectina e não pelas proporções de região cristalina/amorfa

328 (amilopectina/amilose). Assim, pode-se inferir que os baixos valores de  $T_o$ ,  $T_p$  e  $T_c$  refletem a  
329 presença em abundância de cadeias de amilopectina curtas. Portanto, as altas temperaturas  
330 encontradas no pico de gelatinização do amido de lírio-do-brejo, sugerem que este apresenta  
331 uma elevada proporção de cadeias de amilopectina grandes (NODA et al., 1998).

332 A energia requerida para a gelatinização do amido de lírio-do-brejo foi de  $16.82 \text{ J g}^{-1} \pm$   
333  $0.89$ , resultado similar aos verificados por Jamir & Seshagirirao (2017) em amidos de plantas  
334 da família Zingiberaceae, os quais variaram entre  $16.2$  e  $18.1 \text{ J g}^{-1}$ . Uma única endoterma no  
335 gráfico apresentado pelo DSC do amido de lírio-do-brejo (Figura 4), indicou que não houve  
336 presença de amilose complexada com matéria graxa, já que esta, se existisse, poderia se fundir,  
337 proporcionando uma segunda endoterma na faixa de temperatura de  $91-100 \text{ }^\circ\text{C}$  (YOO & JANE,  
338 2002).

339 A solubilidade em água e o poder de entumescimento do amido de rizomas de lírio-do-  
340 brejo variou entre  $0.33$  a  $10.02 \text{ g/g}$ , e  $2.22$  a  $15.89 \text{ g de gel/g}$ , respectivamente. A temperatura  
341 influenciou ambas propriedades de forma quadrática, que aumentaram com a elevação da  
342 temperatura (Figura 6). Assim, o fornecimento de calor elevou a capacidade de absorver água e  
343 solubilizar o amido na água, verificando-se um aumento abrupto da solubilidade a partir de  $70^\circ$   
344 e  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , faixa na qual o amido atingiu a temperatura inicial de gelatinização (Figura 5).

345 O aumento da solubilidade está relacionado ao grau de desestruturação promovido pelo  
346 aquecimento do grânulo do amido, quando ocorre uma perda dos componentes de menor cadeia  
347 molecular para o sobrenadante, como as moléculas de amilose. Além disso, com o fornecimento  
348 de calor ao sistema, o grânulo absorve água de forma irreversível, perdendo sua estrutura  
349 cristalina (Wani et al., 2016; Cai et al., 2014).



350

351 Figura 6. Curvas de intumescimento e solubilidade em água do amido de rizomas de lírio-do-  
 352 brejo (*Hedychium coronarium* J. König)

353 Tendência semelhante foi reportada por Jamir & Seshagirirao (2017) para o poder de  
 354 intumescimento de amidos extraídos de plantas da família Zingiberaceae, relatando uma  
 355 variação de 11.2 a 16 g/g, e aumento linear entre 60 a 90 °C.

356 A solubilidade do amido em água e o poder de inchaço do grânulo fornecem parâmetros  
 357 da magnitude da interação entre as cadeias de amido nos domínios amorfo e cristalino, e  
 358 indicam a ligação não covalente entre moléculas dentro de uma molécula de amido, avaliando  
 359 a extensão da interação entre as cadeias de amido. Essa interação é influenciada pela proporção  
 360 amilose-amilopectina, pelas características da amilose e da amilopectina em termos de massa /  
 361 distribuição molecular, pelo grau de ramificação e comprimento da cadeia ramificada de  
 362 amilopectina, pela estrutura cristalina e conteúdos proteico e lipídico (Ratnayake, Otani, &  
 363 Jackson, 2009; Reddy, Luan, & Xu, 2017). Portanto, diferentes valores de solubilidade em água  
 364 e de intumescimento durante o aquecimento em amidos com o mesmo padrão de cristalinidade  
 365 podem ser resultado de diferentes estruturas moleculares, tamanhos de grânulos e fonte botânica  
 366 (Huang et al., 2015).

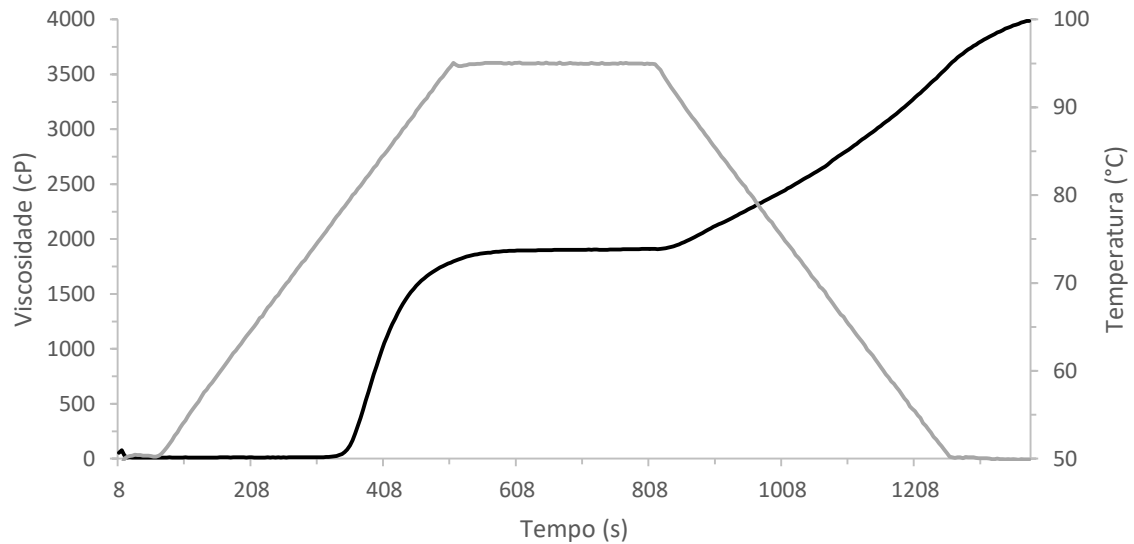
367 O poder de intumescimento está positivamente correlacionado com a cadeia de  
368 amilopectina com ramificações curtas e negativamente com a cadeia de amilopectina com  
369 ramificações longas. Além disso, a amilose restringe o inchaço e mantém a integridade dos  
370 grânulos inchados, enquanto as cadeias de amilose complexadas com lipídios restringem tanto  
371 a ventilação granular quanto a lixiviação da amilose durante a gelatinização (Salman et al.,  
372 2009). Os dados encontrados para o poder de intumescimento de amido dos rizomas de lírio-  
373 do-brejo corroboraram com o exposto e é condizente com a proposição encontrada na análise  
374 de DSC, a qual indica se tratar de um amido com cadeias de amilopectina com ramificações  
375 longas, que associada com o alto conteúdo de amilose resulta em um produto com poder de  
376 intumescimento moderado.

377 A temperatura de pasta de amido dos rizomas de lírio-do-brejo foi de  $73.92 \pm 0.40$  °C,  
378 próxima à temperatura de gelatinização inicial de  $72.30 \pm 0.03$  °C obtida na endotérmica obtida  
379 na análise de DSC (Figura 5). O pico de viscosidade foi de  $1917 \pm 63$  cP, a viscosidade final de  
380  $3987 \pm 236$  cP, e a viscosidade mínima de  $1907 \pm 56$  cP (Figura 7). O alto valor de viscosidade  
381 final significa maior capacidade de expansão dos grânulos de amido durante o processo de  
382 gelatinização e pode estar relacionado ao maior teor de amilose deste (Chávez-Murillo et al.,  
383 2011; Polesi et al., 2014).

384 Varios fatores afetam as propriedades de pasta do amido, como o teor de amilose, a  
385 capacidade de hidratação dos grânulos, a lixiviação de amilose, a estrutura molecular da  
386 amilopectina, o complexo de amilose-lipídios e a rigidez dos grânulos (Cai et al., 2014;  
387 Vamadevan & Bertoft, 2015).

388 Amidos com cadeias de amilopectina muito ramificadas e cadeias de ramificação curtas  
389 tendem a apresentar uma temperatura de pasta e picos de viscosidade mais baixo, devido ao  
390 fato de essas cadeias serem muito curtas para manter a rigidez dos grânulos (Zhu, 2017; He, &  
391 Wei, 2017). Como o amido de rizomas de lírio-do-brejo apresentou alta temperatura de pasta

392 e baixo pico de viscosidade, pode-se inferir que a presença de moléculas de amilopectina de  
393 cadeias ramificadas longas e o alto conteúdo de amilose.



394

395 Figura 7. Curva de empastamento típico de rizomas de amido de lírio-do-brejo (*Hedychium*  
396 *coronarium* J. König), obtido em Rapid Visco Analyser (RVA)

397 A tendência à retrogradação, calculada pela diferença entre a viscosidade final e a  
398 viscosidade mínima à temperatura constante, que está relacionada com reorganização das  
399 moléculas de amido (Sun et al., 2014c; Oro et al., 2013), foi de  $2079 \pm 181$  cP, resultado similar  
400 ao encontrado por Chandanasree, Gul & Riar (2016) para o amido de mandioca (2802 cP) e  
401 superior ao apresentado pelo amido de batata (277 cP) (Przetaczek-Roznowska, 2017). A alta  
402 tendência à retrogradação já era esperada, pois se trata de um amido com alto conteúdo de  
403 amilose, o que também lhe confere baixa viscosidade máxima (Weber, Collares-Queiroz, &  
404 Chang, 2009). A quebra de viscosidade foi de  $9 \pm 18$  cP, e está associada à estabilidade dos  
405 grânulos de amido em relação a agitação sob aquecimento (Oro et al., 2013).

## 406 4 CONCLUSÃO

407 Conclui-se que a extração do amido de lírio-do-brejo é viável e este possui  
408 características químico-estruturais, térmicas e tecnológicas peculiares, das quais o alto teor de  
409 amilose, ausência de cruz de malta, e a alta tendência à retrogradação são características  
410 marcantes, que restringem o seu uso em produtos como o iogurte, devido a sua alta tendência à  
411 retrogradação, o que favorece o processo de sinerese, resultando na liberação de água no  
412 produto final. No entanto, o amido do lírio-do-brejo pode ser aplicado como excipiente em  
413 formulação de fármacos.

## 414 REFERÊNCIAS

- 415 Ambigaipalan, P., Hoover, H., Donner, E., Liu, Q., Jaiswal, S., Chibbar, R., et al. (2011).  
416 Structure of fava bean, black bean and pinto bean at different levels of granule organization  
417 and their physicochemical properties. *Food Research International*, 44, 2962–2974.
- 418 Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin Junior, L. (1969). Gelatinization of  
419 Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4-12.
- 420 AOAC - Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official methods of analysis of*  
421 *Association of Official Analytical Chemists*. Gaithersburg: AOAC International.
- 422 Ascheri, D. P. R., Moura, W. De S., Ascheri, J. L. R., & Carvalho, C. W. P. (2010).  
423 Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*hedychium*  
424 *coronarium*). *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 40, 159-166.
- 425 Ascheri, D. P. R., Moura, W. De S., Ascheri, J. L. R., & Freitas Junior, E. A. (2009).  
426 Propriedades termodinâmicas de adsorção de água do amido de rizomas do lírio-do-brejo  
427 (*Hedychium coronarium*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29, 454-462.
- 428 Bello-Pérez, L. A., Sánchez-Rivera, M. M., Núñez-Santiago, C., Rodríguez-Ambriz, S. L., &  
429 Román-Gutierrez, A. D. (2010). Effect of the pearled in the isolation and the morphological,  
430 physicochemical and rheological characteristics of barley starch. *Carbohydrate Polymers*, 81,  
431 63-69.
- 432 Bernardino-Nicanor, A., Acosta-Garcia, G., Guemes-Vera, N., Montanez-Soto, J. L., Vivar-  
433 vera, M. de Los A., & Gonzalez-Cruz, L. (2017). Fourier transform infrared and Raman  
434 spectroscopic study of the effect of the thermal treatment and extraction methods on the  
435 characteristics of ayocote bean starches. *Journal Food Science Technology*, 54, 933-943.

- 436 Blazek, J., & Gilbert, E. P. (2011). Application of small-angle X-ray and neutron scattering  
437 techniques to the characterisation of starch structure: A review. *Carbohydrate Polymers*, 85,  
438 281-293.
- 439 Cai, C., Cai, J., Man, J., Yang, Y., Wang, Z., & Wei, C. (2014). Allomorph distribution and  
440 granule structure of lotus rhizome C-type starch during gelatinization. *Food Chemistry*,  
441 142(Supplement C), 408-415.
- 442 Capek, P., Drȧbik, M., & Turjan, J. (2010). Characterization of starch and its mono and  
443 hybrid derivatives by thermal analysis and FT-IR spectroscopy. *Journal Thermal Analytic  
444 Calorimetry*, 99, 667–673.
- 445 Castro, W.A.C., Almeida, R.V., Leite, M.B., Marrs, R.H., & Matos, D.M.S. (2016). Invasion  
446 strategies of white ginger lily (*Hedychium coronarium*) J. König (*Zingiberaceae*) under  
447 different competitive and environmental conditions. *Environmental Experimental Botanical*,  
448 127, 55–62.
- 449 Chandanasree, D., Gul, K., & Riar, C. S. (2016). Effect of hydrocolloids and dry heat  
450 modification on physicochemical, thermal, pasting and morphological characteristics of  
451 cassava (*Manihot esculenta*) starch. *Food Hydrocolloids*, 52(Supplement C), 175-182.
- 452 Chávez-Murillo, C. E., Wang, Y. J., Quintero-Gutierrez, A. G., & Bello-Perez, L. A. (2011).  
453 Physicochemical, Textural, and Nutritional Characterization of Mexican Rice Cultivars.  
454 *Cereal Chemistry*, 88, 245-252.
- 455 Di-Medeiros, M. C. B., Pascoal, A. M., Batista, K. A., Bassinello, P. Z., Lião, L. M., Leles,  
456 M. I. G., & Fernandes, K. F. (2014). Rheological and biochemical properties of *Solanum  
457 lycocarpum* starch. *Carbohydrate Polymers*, 104, 66–72.
- 458 Fakir, M. S. A., Jannat, M., Mostafa, M.G., & Seal, H. (2012). Starch and flour extraction and  
459 nutrient composition of tuber in seven cassava accesions. *Journal of the Bangladesh  
460 Agricultural University*, 10, 217–222.
- 461 He, W., & Wei, C. (2017). Progress in C-type starches from different plant sources. *Food  
462 Hydrocolloids*, 73 (Supplement C), 162-175.
- 463 Huang, J., Zhao, L., Man, J., Wang, J., Zhou, W., Huai, H., & Wei, C. (2015). Comparison of  
464 physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources.  
465 *International Journal of Biological Macromolecules*, 78(Supplement C), 165-172.
- 466 Instituto Hórus. *Base de dados nacional de espécies exóticas invasoras I3N Brasil*, Instituto  
467 Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis – SC.  
468 <http://i3n.institutohorus.org.br/www>. Accessed at 17.07.2016.
- 469 Jamir, K., & Seshagirirao, K. (2017). Isolation, characterization and comparative study of  
470 starches from selected *Zingiberaceae* species, a non-conventional source. *Food  
471 Hydrocolloids*, 72(Supplement C), 247-253.

- 472 Joy, B., Rajan, A. & Abraham, E. (2007). Antimicrobial Activity and Chemical Composition  
473 of Essential Oil from *Hedychium coronarium*. *Phytotherapy Research*, 21, 439–443.
- 474 Kitahara, K., Nakamura, Y., Otani, M., Hamada, T., Nakayachi, O., & Takahata, Y. (2017).  
475 Carbohydrate components in sweet potato storage roots: their diversities and genetic  
476 improvement. *Breeding Science*, 67, 62–72.
- 477 Li, G., & Zhu, F. (2017). Amylopectin molecular structure in relation to physicochemical  
478 properties of quinoa starch. *Carbohydrate Polymers*, 164(Supplement C), 396-402.
- 479 Magali, L., Silene, B. S. S., & Marney, P. C. (2003). New starches for the food industry:  
480 *Curcuma longa* and *Curcuma zedoaria*. *Carbohydrate Polymers*, 54, 385-388.
- 481 Mara, E. M. B., Sylvania, R. M. M., & Angela, A. M. (2006). Effects of supercritical fluid  
482 extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. starches. *Carbohydrate Polymers*,  
483 63, 340–346.
- 484 Martinez, C.; Cuevas-Perez, F. (1989). *Evaluación de la calidad culinária y molinera del*  
485 *arroz*. (3 th ed). Cali: CIAT, p.75.
- 486 Nara, S. & Komiy, T. (1983). Studied on the relationship between water saturated state and  
487 crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. *Starch*, 35, 407-410.
- 488 Noda, T., Takahata, Y., Sato, T., Suda, I., Morishita, T., Ishiguro, K., & Yamakawa, O.  
489 (1998). Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization  
490 properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat. *Carbohydrate*  
491 *Polymers*, 37, 153-158.
- 492 Oro, T., Limberger, V. M., Miranda, M. Z. De, Richards, N. S. P. Dos S., Gutkoski, L. C., &  
493 Francisco, A. De. (2013). Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha  
494 refinada usadas na produção de pães. *Ciência Rural*, 43, 754-760.
- 495 Pascoal, A. M., Di-Medeiros, M. C. B., Batista, K. A., Leles, M. I. G., Lião, L. M., Fernandes,  
496 K. F. (2013). Extraction and chemical characterization of starch from *S. lycocarpum* fruits.  
497 *Carbohydrate Polymers*. 98, 1304-1310.
- 498 Pérez, S., & Bertoft, E. (2010). The molecular structures of starch components and their  
499 contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. *Starch/Stärke*,  
500 62, 389–420.
- 501 Polesi, L. F., Lima, D. C., Morais, P. G., Romo, I. C. F., Sarmiento, S. B. S., & Canniatti-  
502 Brazaca, S. G. (2014). Caracterização físico-química, funcional e nutricional de duas  
503 cultivares brasileiras de arroz. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 8.
- 504 Policegoudra, R. S., & Aradhya, S. M. (2008). Structure and biochemical properties of starch  
505 from an unconventional source—Mango ginger (*Curcuma amada* Roxb.) rhizome. *Food*  
506 *Hydrocolloids*, 22, 513-519.

- 507 Przetaczek-Roznowska, I. (2017). Physicochemical properties of starches isolated from  
508 pumpkin compared with potato and corn starches. *International Journal of Biological*  
509 *Macromolecules*, 101, 536-542.
- 510 Ratnayake, W., Otani, C., & Jackson, D. S. (2009). DSC enthalpic transitions during starch  
511 gelatinization in excess water, dilute sodium chloride, and dilute sucrose solutions. *Journal of*  
512 *Science Food and Agriculture*, 89, 2156-2164.
- 513 Reddy, C. K., Luan, F., & Xu, B. (2017). Morphology, crystallinity, pasting, thermal and  
514 quality characteristics of starches from adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and edible kudzu  
515 (*Pueraria thomsonii* Benth). *International Journal of Biological Macromolecules*, 105(Part 1),  
516 354-362.
- 517 Salman, H., Blazek, J., Lopez-Rubio, A., Gilbert, E. P., Hanley, T., & Copeland, L. (2009).  
518 Structure–function relationships in A and B granules from wheat starches of similar amylose  
519 content. *Carbohydrate Polymers*, 75(3), 420-427.
- 520 Saulino, H. H. L., & Trivinho-Strixino, S. (2017). The invasive white ginger lily (*Hedichium*  
521 *coronarium*) simplifies the trait composition of an insect assemblage in the littoral zone of a  
522 Savanna reservoir. *Revista Brasileira de Entomologia*, 61, 60–68.
- 523 Sun, Q.J., Gong, M., Li, Y., & Xiong, L. (2014). Effect of dry heat treatment on the  
524 physicochemical properties and structure of proso millet flour and starch. *Carbohydrate*  
525 *Polymers*, 110, 128–134.
- 526 Tadapaneni, R. K., Yang, R., Carter, B., & Tang, J. (2017). A new method to determine the  
527 water activity and the net isosteric heats of sorption for low moisture foods at elevated  
528 temperatures. *Food Research International*, 102(Supplement C), 203-212.
- 529 Vamadevan, V., Bertoft, E., & Seetharaman, K. (2013). On the importance of organization of  
530 glucan chains on thermal properties of starch. *Carbohydrate Polymers*, 92, 1653-1659.
- 531 Verma, M. & Bansal, Y. K. (2010). Butterfly Lilly (*Hedychium Coronarium* Koenig): An  
532 Endangered Medicinal Plant. *Plant Archives*, 10, 841-843.
- 533 Wani, I. A., Sogi, D. S., Hamdani, A. M., Gani, A., Bhat, N. A., & Shah, A. (2016). Isolation,  
534 composition, and physicochemical properties of starch from legumes: A review. *Starch*, 68,  
535 834-845.
- 536 Warren, F. J., Gidley, M. J., & Flanagan, B. M. (2016). Infrared spectroscopy as a tool to  
537 characterise starch ordered structure—a joint FTIR–ATR, NMR, XRD and DSC study.  
538 *Carbohydrate Polymers*, 139, 35-42.
- 539 Warren, F. J., Gidley, M. J., & Flanagan, B. M. (2016). Infrared spectroscopy as a tool to  
540 characterise starch ordered structure—a joint FTIR–ATR, NMR, XRD and DSC study.  
541 *Carbohydrate Polymers*, 139, 35-42.

- 542 Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P. & Chang, Y. K. (2009). Physicochemical, rheological,  
543 morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn  
544 starches. *Ciência Tecnologia Alimentos*, 29, 748-753.
- 545 Yoo, S. H., & Jane, J. I. (2002). Structural and physical characteristics of waxy and other  
546 wheat starches. *Carbohydrate Polymers*, 49, 297-305.
- 547 Zhu, F. (2017). NMR spectroscopy of starch systems. *Food Hydrocolloids*, 63, 611-624.
- 548 Zhu, F. (2017). Structures, properties, and applications of lotus starches. *Food Hydrocolloids*,  
549 63, 332-348.

## CAPÍTULO 5

### PROPRIEDADES TÉRMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDO DE RIZOMAS DE LÍRIO-DO-BREJO (*Hedychium coronarium* J. König) MODIFICADO POR ULTRASSOM

**Resumo:** O ultrassom tem sido investigado tanto para aperfeiçoar processos de modificações químicas e físicas de amidos, quanto para promover modificações físicas em amidos, por meio de efeitos térmicos, mecânicos ou pela cavitação. O *Hedychium coronarium* J. König popularmente conhecido como lírio-do-brejo, apresenta propriedades medicinais, sendo que os seus rizomas são uma fonte em potencial para a extração de amido, sendo este pouco estudado. O amido do lírio-do-brejo apresenta temperatura de pasta elevada e alta tendência à retrogradação, o que pode ser indesejado na indústria alimentícia. Como ainda não existem dados na literatura científica sobre os efeitos do ultrassom sobre o amido dos rizomas de lírio-do-brejo, o objetivo desta pesquisa foi analisar os efeitos da concentração da solução do amido, da intensidade e do tempo de aplicação do ultrassom sobre as propriedades térmicas e físico-químicas do mesmo. O amido dos rizomas de lírio-do-brejo modificado em concentração de 12.5 g 100 g<sup>-1</sup>, 15 min de exposição e intensidade de 62% apresentou aumento médio na solubilidade (de 0.33 para 3.61 g 100 g<sup>-1</sup> a 55 °C), na capacidade de absorção de água (de 2.22 para 7.39 g g<sup>-1</sup> a 55 °C), redução da temperatura de pasta (de 73.92 para 66.18 °C), aumento do pico de viscosidade (de 1917 para 2257 cP), redução da tendência à retrogradação (de 2079 para 1295 cP), não apresentou pico de gelatinização na curva de DSC, e em as suas micrografias puderam ser visualizadas fissuras na superfície dos grânulos. Concluiu-se que o ultrassom por sonda (20 kHz, 500 W) é eficiente na modificação do amido de rizomas de lírio-do-brejo, conferindo características térmicas e tecnológicas diferenciadas em função da combinação de variáveis utilizadas durante o processo de modificação.

25 **Palavras chave:** Solubilidade do amido, absorção de água, microscopia eletrônica de  
26 varredura, propriedades de pasta.

## 27 **1 INTRODUÇÃO**

28 O ultrassom é uma onda mecânica acústica que necessita de um meio para se propagar.  
29 Ultrassons com baixa frequência (20 a 100kHz) e maiores níveis de intensidade (10 a  
30 1000Wcm<sup>-2</sup>), possuem energia suficiente para romper ligações intermoleculares, pois dão  
31 origem ao fenômeno da cavitação. A cavitação consiste no crescimento aparente e colapso de  
32 bolhas dentro do líquido. Essas bolhas são desenvolvidas quando a onda ultrassônica atravessa  
33 o meio líquido, provocando alternância de ondas de compressão (pressão positiva) e rarefação  
34 (pressão negativa). As implosões violentas destas bolhas promovem ondas com energia de  
35 cisalhamento muito elevadas e turbulência (Cárcel et al., 2012; Bernardo, Ascheri & Carvalho,  
36 2016).

37 A cavitação é capaz de modificar algumas propriedades físicas e favorecer reações  
38 químicas (Alves et al., 2013), como por exemplo as do amido. Este possui propriedades físico-  
39 químicas, que ditam sua funcionalidade em várias aplicações na indústria. Os amidos nativos  
40 geralmente têm uso limitado devido às suas propriedades físico-químicas, que os tornam  
41 instáveis ao processamento e estocagem (Almeida, Bora, & Zárate, 2013).

42 Por outro lado, o *Hedychium coronarium* J. König, popularmente conhecido no Brasil  
43 como lírio-do-brejo, lírio-borboleta, napoleão, narciso, olímpia ou gengibre-branco, possui  
44 rizomas que podem ser tornar uma fonte alternativa em potencial para a extração de amido. Por  
45 ser considerado uma planta invasora, pois apresenta influência negativa para a comunidade  
46 vegetal, devido ao seu rápido crescimento e competitividade com as demais espécies (Castro et  
47 al., 2016; Saulino & Trivinho-Strixino, 2017), uma forma de diminuir o impacto desta planta  
48 no meio ambiente é a sua utilização industrial. Uma vez que a principal forma de

49 aproveitamento pelo homem desta planta é caseira, através do uso de seus rizomas no  
50 tratamento de cefaleia, câncer e inflamação, e apresentar a capacidade de apoptose (Verma &  
51 Bansal, 2010), além de possuir atividade antifúngica e antimicrobiana (Joy, Rajan, & Abraham,  
52 2007).

53 Existem poucos estudos sobre o amido nativo de rizomas de lírio-do-brejo (Aschieri et  
54 al., 2010), que reportaram características físico-químicas, que poderiam ainda ser modificadas  
55 por ultrassom, para reduzir, por exemplo, a alta tendência à retrogradação apresentada por este  
56 amido (Capítulo 4). Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi analisar as propriedades  
57 térmicas e físico-químicas de amidos de rizomas de lírio-do-brejo modificados por ultrassom  
58 em função da intensidade, do tempo de aplicação e da concentração de amido, visando fornecer  
59 dados inéditos sobre este novo produto, e assim fomentar sua exploração comercial e utilização  
60 na indústria de alimentos.

## 61 **2 MATERIAL E METÓDOS**

### 62 **2.1 Material**

63 O amido de rizomas de lírio-do-brejo utilizado para a modificação foi obtido conforme  
64 o capítulo 4.

### 65 **2.2 Modificação por ultrassom**

66 Delineamento rotacional central composto foi utilizado, com três variáveis ( $X_1$ =  
67 intensidade, que variou de 25 a 99%,  $X_2$ = tempo de aplicação de 5 a 25 min, e  $X_3$ = concentração  
68 do amido de 5 a 20%) (Tabela 1). Ultrassom de baixa frequência (Eco-sonics, QR500,  
69 Indaiatuba, Brasil) foi utilizado, com 20 KHz, 500W de potência, ponteira de titânio macro (13  
70 mm de diâmetro). As soluções aquosas de amido a 25 °C foram submetidas a sonicação  
71 conforme o delineamento, aferindo-se a temperatura ao final do tratamento.

72 Tabela 1. Delineamento experimental utilizado para modificação do amido de rizomas do lírio-  
 73 do-brejo, variáveis codificadas e seus valores reais ( $X_1$ : intensidade do ultrassom (%),  $X_2$ :  
 74 tempo de exposição (min), e  $X_3$ : concentração da solução aquosa de amido ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )), e  
 75 temperatura ao final do processo ( $^{\circ}\text{C}$ )

Experimento	Variável codificada			Valor real			Temperatura final
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	
1	-1	-1	-1	40.0	9.0	8.0	49.0
2	1	-1	-1	83.9	9.0	8.0	62.0
3	-1	1	-1	40.0	20.9	8.0	66.5
4	1	1	-1	83.9	20.9	8.0	79.5
5	-1	-1	1	40.0	9.0	16.9	55.0
6	1	-1	1	83.9	9.0	16.9	62.0
7	-1	1	1	40.0	20.9	16.9	68.0
8	1	1	1	83.9	20.9	16.9	79.0
9	-1.682	0	0	25.0	15.0	12.5	49.0
10	1.682	0	0	99.0	15.0	12.5	78.0
11	0	-1.682	0	62.0	5.0	12.5	47.0
12	0	1.682	0	62.0	25.0	12.5	79.0
13	0	0	-1.682	62.0	15.0	5.0	73.0
14	0	0	1.682	62.0	15.0	20.0	77.0
15	0	0	0	62.0	15.0	12.5	75.0
16	0	0	0	62.0	15.0	12.5	73.0
17	0	0	0	62.0	15.0	12.5	75.0
18	0	0	0	62.0	15.0	12.5	77.0
19	0	0	0	62.0	15.0	12.5	75.0

76

### 77 **2.3 Solubilidade em água e absorção de água**

78 Os índices de solubilidade em água (ISA) em diferentes temperaturas (55  $^{\circ}\text{C}$ , 65  $^{\circ}\text{C}$ , 80  
 79  $^{\circ}\text{C}$  e 90  $^{\circ}\text{C}$ ) foram determinados segundo Anderson et al. (1969), com adaptações. Soluções de  
 80 amido modificado (1% p/v) foram preparadas em tubos de centrifuga, previamente tarados. Em  
 81 seguida, os tubos foram agitados em banho maria por 30 min nas temperaturas citadas, e

82 centrifugados a 3000 rpm, por 15 min em centrífuga (Best Etetronics, TG- WS, Xangai, China).  
83 O sobrenadante foi vertido cuidadosamente em placas de Petri, previamente taradas,  
84 permanecendo apenas o precipitado no tubo.

85 O valor de IAA foi calculado de acordo com a Equação 1, e os resultados foram  
86 expressos em g de gel (g de matéria seca)<sup>-1</sup>, enquanto o de ISA pela Equação 2, e os resultados  
87 expressos em g 100 g<sup>-1</sup>.

88 
$$IAA = \frac{\text{Peso do gel}}{\text{Peso da amostra(bs)}} \quad \text{Equação (1)}$$

89 
$$ISA = \left( \frac{\text{Peso resíduo evaporado}}{\text{Peso da amostra (bs)}} 100 \right) \quad \text{Equação (2)}$$

#### 90 **2.4 Propriedades de pasta (RVA)**

91 Rapid Visco Analyzer (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia) foi utilizado. A amostra  
92 de 2.5 g foi dispersa em 25 mL de água destilada. Na marcha analítica a amostra foi mantida a  
93 50 °C, durante 1 min, aquecida a 95 °C a uma velocidade de 9.5 °C min<sup>-1</sup>, a 95 °C foi mantida  
94 durante 2.5 min, e resfriada a 50 °C a uma taxa de 11.84 °C min<sup>-1</sup>. As propriedades de pasta  
95 avaliadas foram: pico de viscosidade, viscosidade final, quebra de viscosidade ou *breakdown* e  
96 tendência à retrogradação ou *setback*, expressos na unidade do aparelho (cP), e temperatura de  
97 empastamento (°C) (Di-Medeiros et al., 2014).

#### 98 **2.5 Propriedades térmicas (DSC)**

99 As propriedades térmicas dos amidos modificados foram determinadas em calorímetro  
100 diferencial de varredura (TA Instruments, Q20, New Castle, UK), segundo Weber, Collares-  
101 Queiroz, Chang (2009). A amostra foi aquecida no intervalo entre 40 e 120 °C, a uma taxa de  
102 10 °C min<sup>-1</sup>. A partir do termograma e com auxílio do aplicativo TA Universal Analysis (TA  
103 Instruments, New Castle, UK) foram determinados a entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ), os  
104 intervalos de temperatura de gelatinização ( $\Delta T$ ), a temperatura no início da gelatinização ( $T_o$ ),  
105 no pico ( $T_p$ ) e a no final ( $T_c$ ).

## 106 **2.6 Microscopia eletrônica de varedura (MEV)**

107 A amostra previamente desidratada foi fixada com fita dupla face em suportes de  
108 alumínio, e metalizada com uma camada de ouro de 350 Å de espessura. Microscópio eletrônico  
109 de varredura (Jeol, JSM – 6610, Tokyo, Japão) foi utilizado, com aumento de 500 a 2200 X, e  
110 as micrografias foram realizadas em triplicata (Di-Medeiros et al., 2014).

## 111 **2.7 Análise dos resultados**

112 Os dados foram avaliados por análise de variância múltipla, e os modelos ajustados e  
113 visualizados por meio de gráficos de superfície de resposta, com o auxílio do software  
114 STATISTICA® 7.0. Os modelos foram validados em ensaio com três repetições, usando o ponto  
115 central.

## 116 **3 RESULTADOS**

117 Aumentos de temperatura da suspensão amilácea ao final dos experimentos foram  
118 verificados (Tabela 1). Pois, o ultrassom promove a geração de energia calórica, a partir da  
119 energia mecânica de cavitação (Delgado, 2011). Tratamentos com intensidade superior a 62%  
120 combinado com tempo superior a 15 min promoveram os maiores aumentos na temperatura  
121 final da solução amilácea, entre 73 e 79 °C, provocando a gelatinização do amido. Fenômeno  
122 atribuído a maior elevação da temperatura somado ao dano físico que o ultrassom produz na  
123 estrutura de grânulos, facilitando a penetração e a difusão da água e, portanto, sua maior e mais  
124 rápida hidratação. Uma alternativa para o controle da temperatura durante o processo, seria  
125 utilizar banho de gelo (Monroy, Rivero, & García, 2018), que não foi realizado para explorar  
126 modificações mais intensas.

### 127 **3.1 Absorção de água (IAA) e solubilidade em água (ISA)**

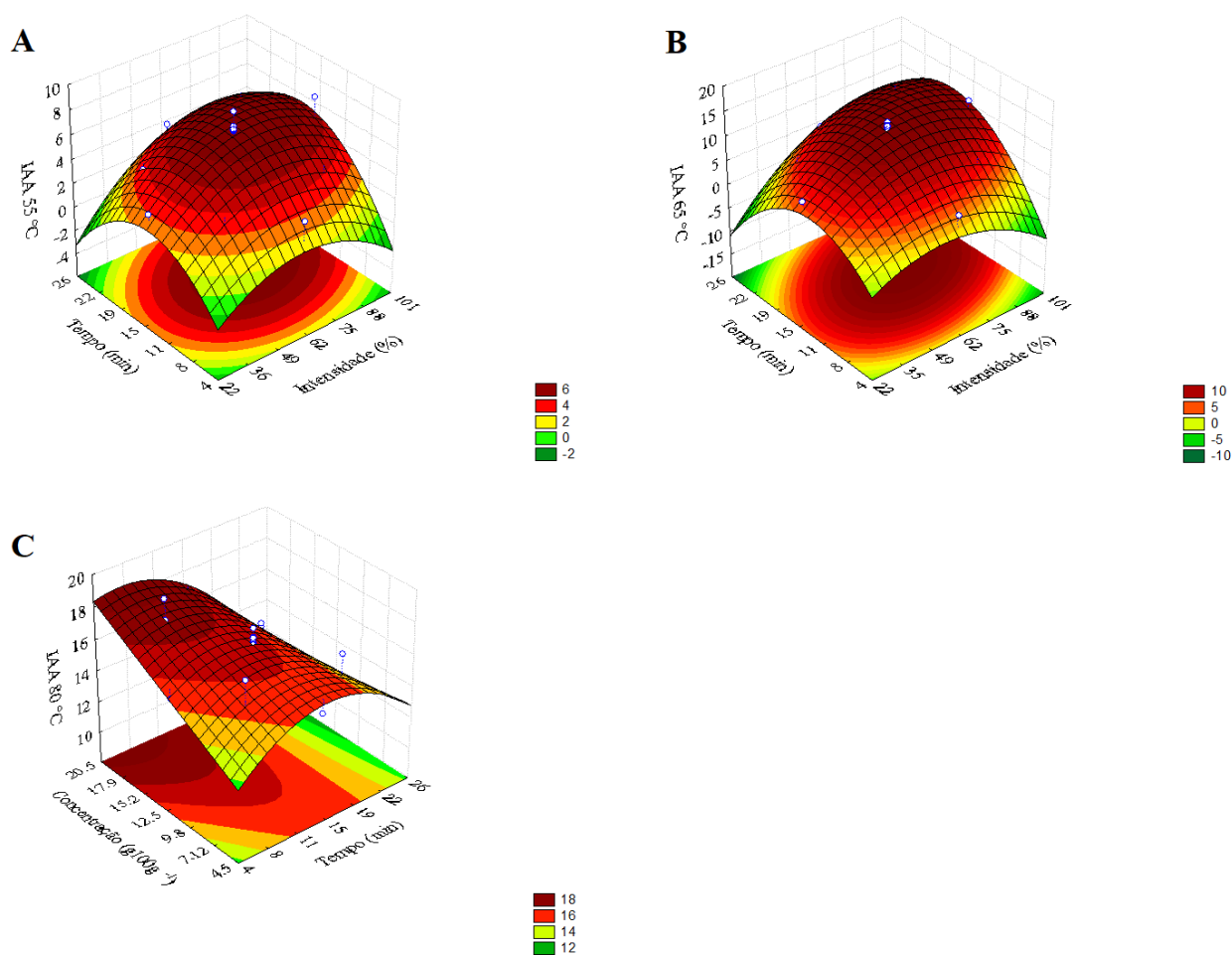
128 Os dados experimentais de IAA e ISA obtidos nas temperaturas de 55, 65, 80 e 90 °C  
129 estão apresentados nos Apêndices A e B. Todos os modelos de regressão múltipla ajustados

130 foram significativos ( $p < 0,05$ ), exceto para a temperatura de 90 °C, explicando de 76 a 94% das  
131 respostas, e com falta de ajuste não significativa, exceto para IAA 65 °C, ISA a 55 °C e 80 °C  
132 (Tabela 2). Entretanto, quando o quadrado médio do erro experimental é muito maior que o  
133 quadrado médio do resíduo, a falta de ajuste pode ser considerada irrelevante (Waszczyński  
134 et al., 1981), e a princípio os modelos considerados preditivos. O modelo ajustado para o IAA  
135 a 55 °C apresentou efeito linear positivo e quadrático negativo significativos para as variáveis  
136 intensidade e tempo, além do efeito quadrático, para a concentração da solução de amido,  
137 negativo e positivo da interação tempo e intensidade. Desta forma, quando a concentração da  
138 solução de amido foi de 12.5 g 100 g<sup>-1</sup>, o máximo valor de IAA a 55 °C (cerca de 6.0 g g<sup>-1</sup>) na  
139 área do gráfico foi encontrada entre os tempos de 12 a 24 min e intensidade de 62 a 84 % (Figura  
140 1 A).

141 Para o modelo de IAA 65 °C, além dos efeitos significativos apresentados por IAA 55  
142 °C, o efeito linear da variável concentração da solução de amido de rizomas de lírio-do-brejo  
143 também influenciou a resposta. Houve um incremento positivo de todas as variáveis lineares,  
144 promovendo uma elevação dos valores de absorção de água. A interação intensidade e tempo  
145 de exposição ao ultrassom contribuíram para a redução do IAA 65 °C (Tabela 2), sendo que a  
146 região de máximo IAA 65 °C (cerca de 10.0 g g<sup>-1</sup>) se encontrou entre os tempos de 14 a 22 min  
147 e intensidade de 55 e 77 %, com concentração fixada em 12.5 g 100 g<sup>-1</sup> (Figura 1 B).

148 O modelo ajustado para o IAA a 80 °C diferiu dos obtidos a 55 e 65 °C, pois tanto os  
149 efeitos lineares e quadráticos da variável tempo, o linear da concentração e o termo da interação  
150 do tempo e da concentração contribuíram para a redução da absorção de água, enquanto a  
151 intensidade não afetou a resposta (Tabela 2). Quando esta foi fixada em 62%, a área do gráfico  
152 que apresentou máxima absorção de água foi entre 5 e 10 min, e em concentrações de solução  
153 de amido de rizomas de lírio-do-brejo acima de 16 g 100 g<sup>-1</sup> (Figura 1C). O menor tempo de  
154 exposição resultou na menor temperatura ao final da aplicação de ultrassom entre os

155 experimentos (Tabela 1) e nos maiores valores de IAA 80 °C, que também foram verificados  
156 nas concentrações mais elevadas.



157  
158 Figura 1. A: Índice de absorção de água (g de gel (g de matéria seca)<sup>-1</sup>) a 55 °C, B: IAA a 65  
159 °C; e C: IAA a 80 °C. Todos de amido de rizomas de lírio-do-brejo modificado por ultrassom  
160 em função da intensidade de aplicação, do tempo de exposição e concentração da solução de  
161 amido, com concentração fixada em 12.5 g 100 g<sup>-1</sup> (A e B) ou intensidade fixada em 62% (C)

162 Tabela 2. Modelos ajustados para índice de absorção de água (IAA), solubilidade em água (ISA), propriedades de pasta e entalpia de gelatinização  
 163 do amido de lírio-do-brejo modificado por ultrassom. X<sub>1</sub>= intensidade (%); X<sub>2</sub>= tempo (min); X<sub>3</sub>= concentração da solução (%)

Característica	Modelo	R <sup>2</sup>	Lack of fit
IAA 55 °C (g g <sup>-1</sup> )	$y = 7.43 + 0.77x_1 - 1.08x_1^2 + 0.51x_2 - 1.58x_2^2 - 0.55x_3^2 + 0.51x_1x_2$	0.88	0.26
IAA 65 °C (g g <sup>-1</sup> )	$y = 16.61 + 1.64x_1 - 2.02x_1^2 + 0.86x_2 - 3.44x_2^2 + 0.75x_3 - 1.31x_3^2 - 1.76x_1x_2$	0.94	0.03*
IAA 80 °C (g g <sup>-1</sup> )	$y = 16.37 - 1.06x_2 - 0.86x_2^2 - 0.49x_3 - 0.61x_2x_3$	0.76	0.07
ISA 55 °C (g 100 g <sup>-1</sup> )	$y = 3.63 + 1.09x_1 - 0.48x_1^2 + 0.81x_2 - 0.88x_2^2 - 0.58x_3^2 + 1.09x_1x_2 + 0.75x_1x_3 + 0.59x_2x_3$	0.90	0.02*
ISA 65 °C (g 100 g <sup>-1</sup> )	$y = 8.42 + 3.14x_1 + 2.41x_2 - 1.02x_2^2 - 2.06x_3^2 + 2.93x_1x_2$	0.94	0.79
ISA 80 °C (g 100 g <sup>-1</sup> )	$y = 20.23 + 3.11x_1 + 4.14x_1^2 + 2.69x_2 + 2.75x_3 + 4.41x_1x_2 - 3.32x_1x_3 - 3.04x_2x_3$	0.79	0.01**
Temperatura de pasta (°C)	$y = 66.11 - 1.97x_1 + 1.43x_1^2 + 2.52x_2^2 + 1.07x_3^2 - 2.22x_1x_2$	0.85	0.04 <sup>s</sup>
Pico viscosidade à quente (cP)	$y = 2183.13 - 490.62x_1 - 247.90x_1^2 - 537.39x_2 - 187.19x_2^2 + 138.79x_3 - 298.0x_1x_2$	0.93	0.18
Pico viscosidade a frio (cP)	$y = 77.55 + 1.78x_1 - 0.58x_1^2 + 0.44x_2 - 1.73x_2^2 - 0.44x_3 + 1.56x_1x_2 - 0.56x_1x_3$	0.91	0.99
Viscosidade final (cP)	$y = 3424.21 - 932.78x_1 - 1216.61x_2 - 595.56x_1x_2$	0.82	0.01**
Setback (cP)	$y = 1304.09 - 887.13x_1 - 1337.69x_2 + 751.3x_3^2$	0.71	0.01**
ΔH (KJ)	$y = 0.818 - 3.90x_1 + 3.30x_1^2 - 1.85x_2 + 5.13x_2^2 - 4.2x_1x_2$	0.92	0.00**

165 O maior ou menor valor de IAA e ISA é determinado pela intensidade de ocorrência da  
166 gelatinização e fragmentação dos grânulos de amido. Amido gelatinizado absorve mais água  
167 que o amido nativo, em virtude das mudanças conformacionais em sua estrutura, como  
168 alteração no seu balanço hidrofílico-hidrofóbico, além da severidade ou não severidade nos  
169 grânulos de amido ocasionada no tratamento que podem contribuir em elevar ou reduzir o IAA  
170 (Carvalho et al., 2010). Concentrações maiores que  $12.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  dificultaram a propagação  
171 das ondas após a gelatinização, o que ocasionou a queima do material em contato com a sonda,  
172 ou seja, uma maior degradação dos grânulos do amido próximos à sonda. Depois dos grânulos  
173 de amido alcançarem um máximo de absorção, o IAA decresce com o começo da dextrinização,  
174 o que não ocorre com o ISA, que continua a aumentar (Linko et al., 1980), o que possivelmente  
175 ocorreu nesta pesquisa para o IAA  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  nos maiores tempos de exposição ao ultrassom e  
176 concentrações superiores a  $12.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ .

177 O IAA do amido de rizomas de lírio-do-brejo nativo, variou entre 2.22 a 15.89 g de  
178 gel/g em  $55^\circ\text{C}$  e  $90^\circ\text{C}$ , respectivamente (Capítulo 4). Nota-se que a modificação por ultrassom  
179 aumentou a capacidade de absorção de água do amido, com valores máximos médios de  $7.39 \pm$   
180  $0.64 \text{ g de gel (g de matéria seca)}^{-1}$  a  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ , e  $18.05 \pm 0.17 \text{ g de gel (g de matéria seca)}^{-1}$  a  $90 \text{ }^\circ\text{C}$   
181 no ponto central do delineamento (intensidade 62%, 15 min,  $12.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) (Apêndice A).

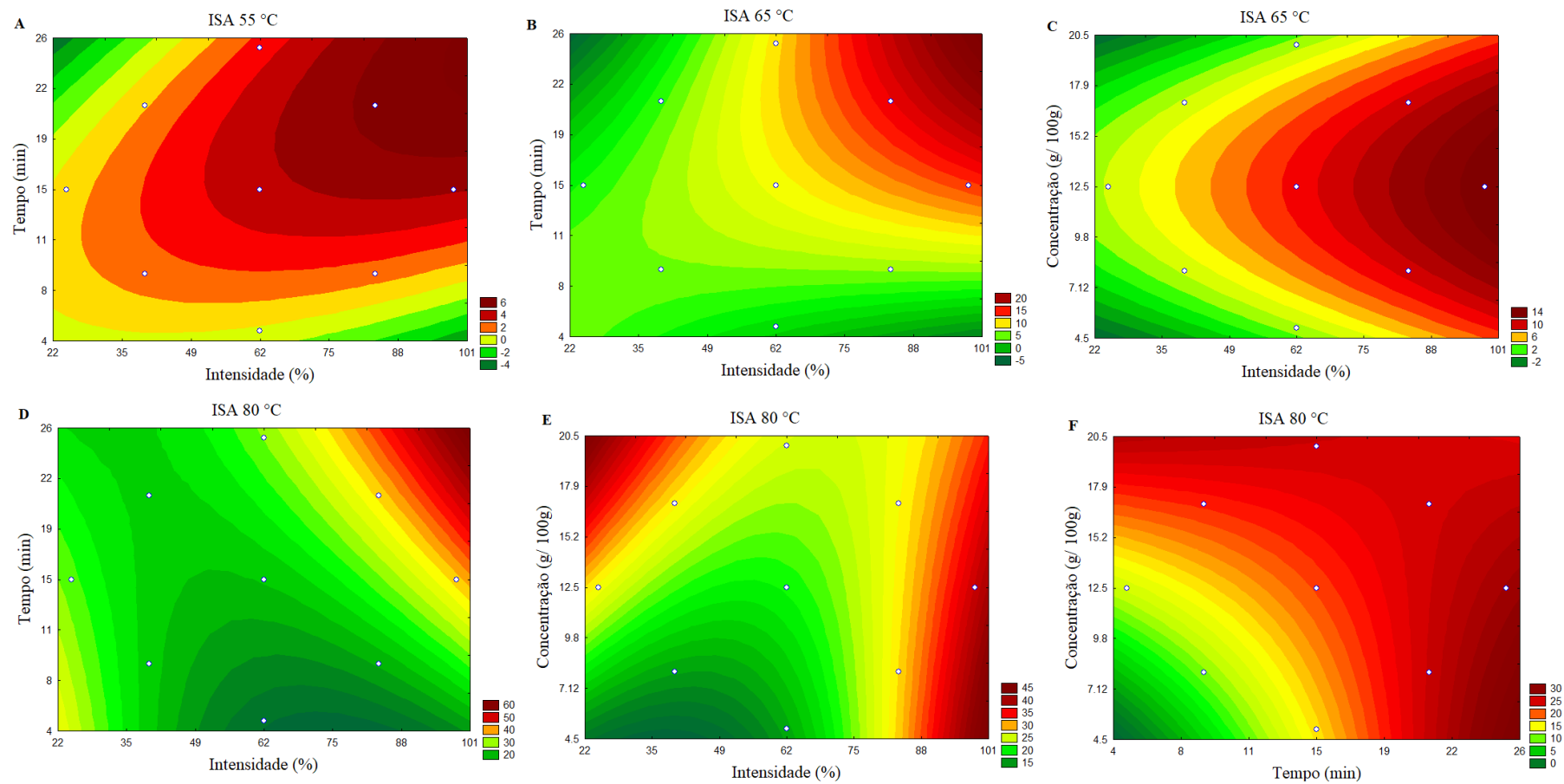
182 O aumento do IAA pelo grânulo do amido pode ser atribuído às modificações causadas  
183 em nível estrutural, tais como a ruptura das ligações intermoleculares, alterações morfológicas  
184 e de permeabilidade nos grânulos de amido. Vários autores propuseram que essas mudanças  
185 podem aumentar a acessibilidade das moléculas de água aos grupos hidroxílicos livres da  
186 amilose e da amilopectina, o que promove o aumento da capacidade de absorção de água  
187 (Amini, Razavi, & Mortazave, 2015; Sujka & Jamroz, 2013; Manchum et al., 2012).

188 No modelo de ISA  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ , todas as interações contribuíram para o aumento do ISA,  
189 onde, todos os efeitos quadráticos favoreceram a redução, assim como as variáveis intensidade

190 e tempo linear (Tabela 2). Com a concentração da solução amilácea de  $12.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ , o ISA 55  
191 °C apresentou máxima solubilidade em tempos de exposição maiores que 15 min e intensidades  
192 superiores a 65% (Figura 2 A). Quando a concentração foi de  $8.04 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  ocorreu redução  
193 do ISA 55 °C, e em  $16.95 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  observou-se aumento em tempos superiores a 15 min e  
194 intensidades de 75%.

195 O modelo para a ISA 65°C apresentou variáveis com efeitos lineares positivos para a  
196 intensidade e tempo, e quadráticos negativos para tempo e concentração, além da interação  
197 positiva entre as variáveis intensidade e tempo (Tabela 2). A área do gráfico de máximo valor  
198 de ISA 65 °C também ocorreu com maiores intensidades e tempos de exposição ao ultrassom  
199 (Figura 2 B), pois durante o processo de modificação, a elevação da temperatura do sistema  
200 promoveu a gelatinização do amido, que apresenta temperatura de pasta de cerca de  $73.4 \text{ °C}$   
201 (Capítulo 4). No modelo para ISA, o termo quadrático da concentração foi significativo, de  
202 forma que os maiores valores de ISA 65°C ocorreram em concentrações entre  $8.04$  e  $16.96 \text{ g}$   
203  $100 \text{ g}^{-1}$  (Figura 2 C), sendo que quando fixada em  $12.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  o máximo valor ( $20 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ )  
204 encontrou-se em intensidades de 80% e 20 min (Figura 2 B).

205 O modelo de regressão ajustado para o ISA 80 °C apresentou efeitos positivos para  
206 intensidade, tempo e concentração lineares, e intensidade quadrático. Todas as interações foram  
207 significativas, contribuindo para a redução do ISA, exceto a interação entre intensidade e tempo,  
208 que incrementaram o ISA 80 °C (Tabela 2). O gráfico de curvas de nível da intensidade versus  
209 tempo, com concentração fixada em  $12.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ , apontou que os maiores valores de ISA 80  
210 °C foram obtidos próximo as maiores intensidades de ultrassom e tempos de exposição (Figura  
211 2 D).



212

213 Figura 2. A: Índice de solubilidade em água (ISA) a 55 °C, com concentração fixada em 12.5 g 100 g<sup>-1</sup>; B e C: ISA 65 °C, com concentração fixada  
 214 em 12.5 g 100 g<sup>-1</sup> e tempo em 15 min, respectivamente; D, E e F: ISA 80 °C, com concentração fixada em 12.5 g 100 g<sup>-1</sup>, tempo em 15 min, e  
 215 intensidade em 62%, respectivamente

216           Devido a interação negativa entre intensidade e concentração da solução de amido de  
217 rizomas de lírio-do-brejo, com tempo fixado em 15 min, verificaram-se duas áreas com  
218 máximos valores de ISA 80 °C (Figura 2 E), com altas concentrações e baixas intensidades e  
219 altas intensidades em toda a faixa de variação de concentração. A área com as menores  
220 concentrações e até 45% de intensidade de ultrassom apresentou os menores valores de ISA  
221 80 °C. A variação da concentração interferiu pouco no ISA a 80 °C, visto que foram observados  
222 pontos de máximo em toda a faixa de concentração, mas este foi forte e positivamente  
223 influenciado pela intensidade de aplicação do ultrassom (Figura 2 F).

224           O ISA aumenta com a severidade do tratamento (Mercier & Feillet, 1975; Carvalho et  
225 al., 2010). Mas é importante destacar que as alterações observadas podem ter sido ocasionadas  
226 não só pelo tratamento ao qual o amido foi submetido, mas também à temperatura (80 °C)  
227 utilizada na análise, visto que a temperatura de pasta do amido nativo de rizomas de lírio-do-  
228 brejo é  $73.92 \pm 0.40$  °C (Capítulo 4), o que poderia justificar a falta de influência da  
229 concentração da solução de amido neste estudo.

230           O amido de rizomas de lírio-do-brejo nativo apresentou valores máximos de ISA de  
231 0.33 e 10.02 g g<sup>-1</sup> nas temperaturas de 55 °C e 90 °C, respectivamente (Capítulo 4). Enquanto,  
232 este amido modificado por ultrassom apresentou valores de ISA de 3.61 e 20.64 g g<sup>-1</sup>,  
233 respectivamente para as temperaturas já citadas (Apendice B). De maneira geral, a maior  
234 capacidade de hidratação e solubilização do amido modificado por ultrassom depende do grau  
235 de ruptura que o processo de sonicação promoveu no grânulo (Carmona-García et al., 2016;  
236 Manchun et al., 2012). O colapso repentino de bolhas de cavitação induz gradientes de alta  
237 pressão e altas velocidades locais de camadas líquidas em sua vizinhança, o que provoca forças  
238 de cisalhamento que são capazes de picar o grânulo de amido e quebrar as cadeias de polímeros  
239 ao interromper as ligações covalentes. Vários estudos já mostraram que após o tratamento com  
240 ultrassom, o IAA e o ISA de diferentes amidos aumentam (Monroy, Rivero, & García, 2018;

241 Sujka & Jamroz, 2013; Jambrak et al., 2010; Luo et al., 2008), causado por danos da estrutura  
242 molecular cristalina do amido, sendo que o maior tempo de exposição ao tratamento promove  
243 maior desestruturação dos grânulos de amido, o que favorece a interação de moléculas de água  
244 aos grupos hidroxilo livres de amilose e amilopectina por ligações de hidrogênio (Manchun et  
245 al., 2012).

### 246 **3.2 Propriedades de pasta**

247 Os dados referentes às propriedades de pasta do amido modificado estão apresentados  
248 no Apêndice C. As curvas de empastamento de todos os experimentos do amido modificado  
249 são apresentados na Figura 3. Todos os modelos ajustados foram significativos ( $p < 0.05$ ), exceto  
250 o da quebra de viscosidade (*breakdown*), e apresentaram coeficientes de determinação variando  
251 de 0.71 a 0.93, com falta de ajuste não significativa para pico de viscosidade a frio e a quente e  
252 significativa para os demais modelos (Tabela 2). No entanto, como o quadrado médio do erro  
253 experimental foi pequeno em relação ao do resíduo, a significância da falta de ajuste pode ser  
254 considerada irrelevante (Waszczyński et al., 1981).

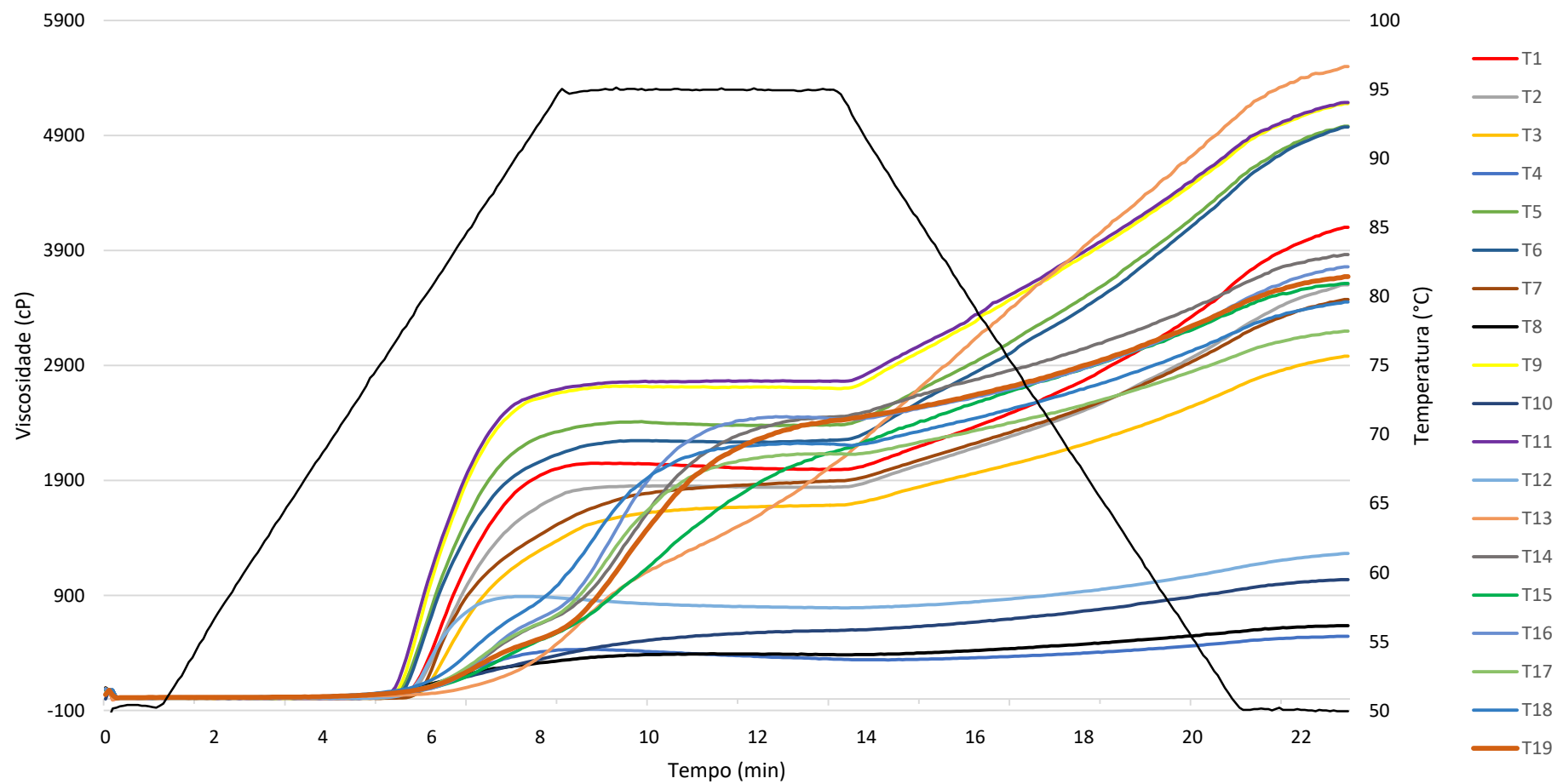
255 Para temperatura de pasta foram significativos os efeitos quadráticos positivos para a  
256 intensidade, tempo e concentração, e os efeitos negativos da intensidade linear e da interação  
257 intensidade e tempo (Tabela 2). A temperatura de pasta apresentou duas áreas de máximo, com  
258 maiores tempos e menores intensidades, e menores tempos e maiores intensidades) (Figura 4  
259 A), ou seja, nos amidos não gelatinizados durante o tratamento com ultrassom. O efeito  
260 quadrático da concentração conferiu valores máximos de temperatura de pasta de 88 °C, quando  
261 esta foi fixada em 12.5 g 100 g<sup>-1</sup> e de 95 °C quando a concentração foi de 8.04 e 16.96 g 100 g<sup>-1</sup>  
262 <sup>1</sup>, ou seja, concentrações medianas apresentaram melhores resultados, as menores temperaturas  
263 de pasta.

264 Estes resultados são condizentes com os de IAA, uma vez que na região próxima ao  
265 ponto central foram observados os maiores valores (Figuras 1 A e 1 B), e os menores valores

266 para a temperatura de pasta (Figura 4 A). Pois, quanto menor a temperatura de pasta do amido  
267 mais baixa é a resistência do grânulo de amido à absorção de água, conseqüentemente maior  
268 será o IAA do amido (Przetaczek-Roznowska, 2017).

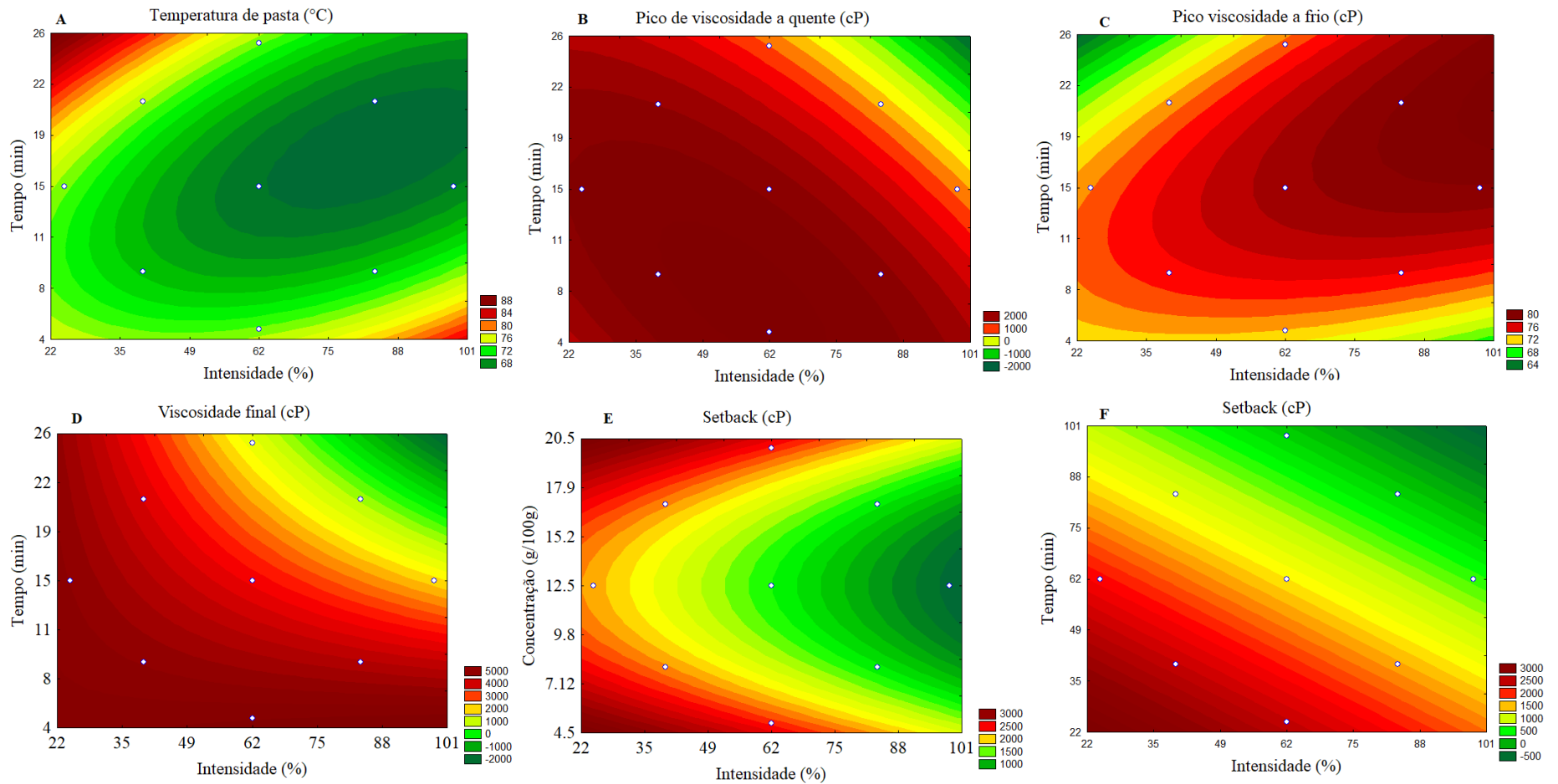
269 No modelo ajustado para o pico de viscosidade a quente, apenas o efeito linear da  
270 concentração contribuiu positivamente para o aumento da viscosidade a quente. Todas as  
271 demais efeitos foram negativos, contribuindo para a redução do pico de viscosidade a quente  
272 (Tabela 2). O pico viscosidade a quente foi maior quando o amido foi submetido a um  
273 tratamento mais brando, ou seja, amidos gelatinizados apresentaram menores picos de  
274 viscosidade (Figura 4 B).

275 Quando comparado com o pico de viscosidade do amido de lírio-do-brejo nativo (1917  
276  $\pm$  63 cP) (Capítulo 4), amidos submetidos a tratamentos com intensidade superior a 84%  
277 combinados com elevado tempo de exposição apresentaram uma drástica redução do pico de  
278 viscosidade (Figura 4B, Apêndice C). Outros estudos, empregando diferentes tipos de amido  
279 (milho, batata doce, arroz), também mostraram que a sonicação reduz a viscosidade a quente  
280 (Zheng et al., 2013; Herceg et al., 2010; Zuo et al., 2009). No entanto, intensidades baixas e  
281 médias aumentaram o pico de viscosidade do amido, resultados condizentes com o aumento da  
282 capacidade de absorção de água do amido (Figura 1). Zhu (2015) discorre que as propriedades  
283 de pasta do amido modificado por ultrassom dependem de uma série de fatores, dentre eles as  
284 condições do tratamento como temperatura durante o tratamento, frequência e potência do  
285 equipamento utilizado.



286

287 Figura 3. Viscoamilogramas dos amidos de rizomas de lírio-do-brejo modificados por ultrassom sob diferentes intensidades, tempos de exposição  
 288 e concentrações da solução de amido, de acordo com o delineamento experimental (Tabela 1)



289

290 Figura 4. A: Temperatura de pasta (°C); B: Pico de viscosidade a quente (cP); C: Pico de viscosidade a frio (Cp); D: Viscosidade final (Cp); E e  
 291 F: Setback (Cp), todos com concentração da solução de amido fixada em 12.5 g 100 g<sup>-1</sup>, exceto E, com tempo de exposição fixado em 15 min

292 Luo et al. (2008) sugeriram que a diferença entre as propriedades de pasta de amidos  
293 nativos e sonicados é devida a degradação do amido, causada tanto pelo ataque de radicais OH  
294 quanto pelos efeitos mecânicos durante o tratamento com ultrassom. Amidos com maior  
295 conteúdo de amilose, como os das rizomas de lírio-do-brejo (Capítulo 4), apresentam maior  
296 diminuição da viscosidade, porque a amilose é susceptível às reações induzidas por radicais OH  
297 e mais facilmente atacada pelas ondas do ultrassom do que a amilopectina altamente ramificada.

298 No modelo ajustado para pico de viscosidade a frio os efeitos lineares da intensidade,  
299 do tempo e da interação intensidade e tempo foram positivos, o que mostra que os maiores picos  
300 de viscosidade a frio foram obtidos quando o tratamento imprimia maior tempo e intensidade,  
301 ou seja, e o amido gelatinizava (Tabela 2 e Figura 4 C). Os amidos pré-gelatinizados apresentam  
302 maior solubilidade em água sem precisar de aquecimento, o que confere maior viscosidade à  
303 solução formada, propriedade típica dos produtos alimentícios instantâneos (Kaur & Singh,  
304 2016).

305 O modelo ajustado para a viscosidade final somente foi afetado pela intensidade e tempo  
306 lineares e pela interação intensidade e tempo, negativamente (Tabela 2). Os tratamentos mais  
307 brandos apresentaram maior viscosidade final, enquanto que os amidos modificados que pré-  
308 gelatinizaram apresentaram menores valores de viscosidade final (Figura 4 D). A elevada  
309 redução da viscosidade final pode estar relacionada ao fato do amido de rizomas de lírio-do-  
310 brejo possuir elevada tendência à retrogradação, devido ao alto teor de amilose (Capítulo 4,  
311 Ascheri et al., 2010). E como a modificação promoveu uma desestruturação destes grânulos,  
312 sua capacidade de formação de gel com alta viscosidade foi reduzida (Zhu, 2015).

313 O modelo para a tendência à retrogradação (setback) também foi influenciado  
314 negativamente pelos efeitos lineares do tempo e da intensidade, e a concentração apresentou  
315 efeito quadrático positivo (Tabela 2). O amido pré-gelatinizado apresentou menor tendência à  
316 retrogradação (Figura 4 E). Também se observou que tratamentos mais agressivos (alta

317 concentração e intensidade) não contribuíram efetivamente para a redução da tendência à  
318 retrogradação. No entanto, quando se fixou a concentração, se confirmou que maiores tempos  
319 e intensidades reduzem a tendência à retrogradação de forma linear (Figura 4 F), resultado da  
320 maior degradação das macromoléculas, que reduziu o pico de viscosidade, viscosidade máxima  
321 e a tendência à retrogradação. Em geral, a tendência à retrogradação dos tratamentos com  
322 intensidade superior a 62% e tempos acima de 15 min e concentração inferior ou igual a 12.5  
323 g 100 g<sup>-1</sup> apresentaram redução da tendência à retrogradação quando comparados com o amido  
324 nativo (2079 ± 181cP) (Capítulo 4).

### 325 **3.3 DSC**

326 Não foi possível obter modelos matemáticos para as temperaturas de início, pico e final  
327 da gelatinização dos amidos modificados de rizomas de lírio-do-brejo, uma vez que muitos  
328 experimentos não apresentaram o pico endotérmico de gelatinização, pois estes foram  
329 completamente gelatinizados durante o tratamento (Figura 5, Apêndice D), mas foi possível  
330 modelar a entalpia de gelatinização.

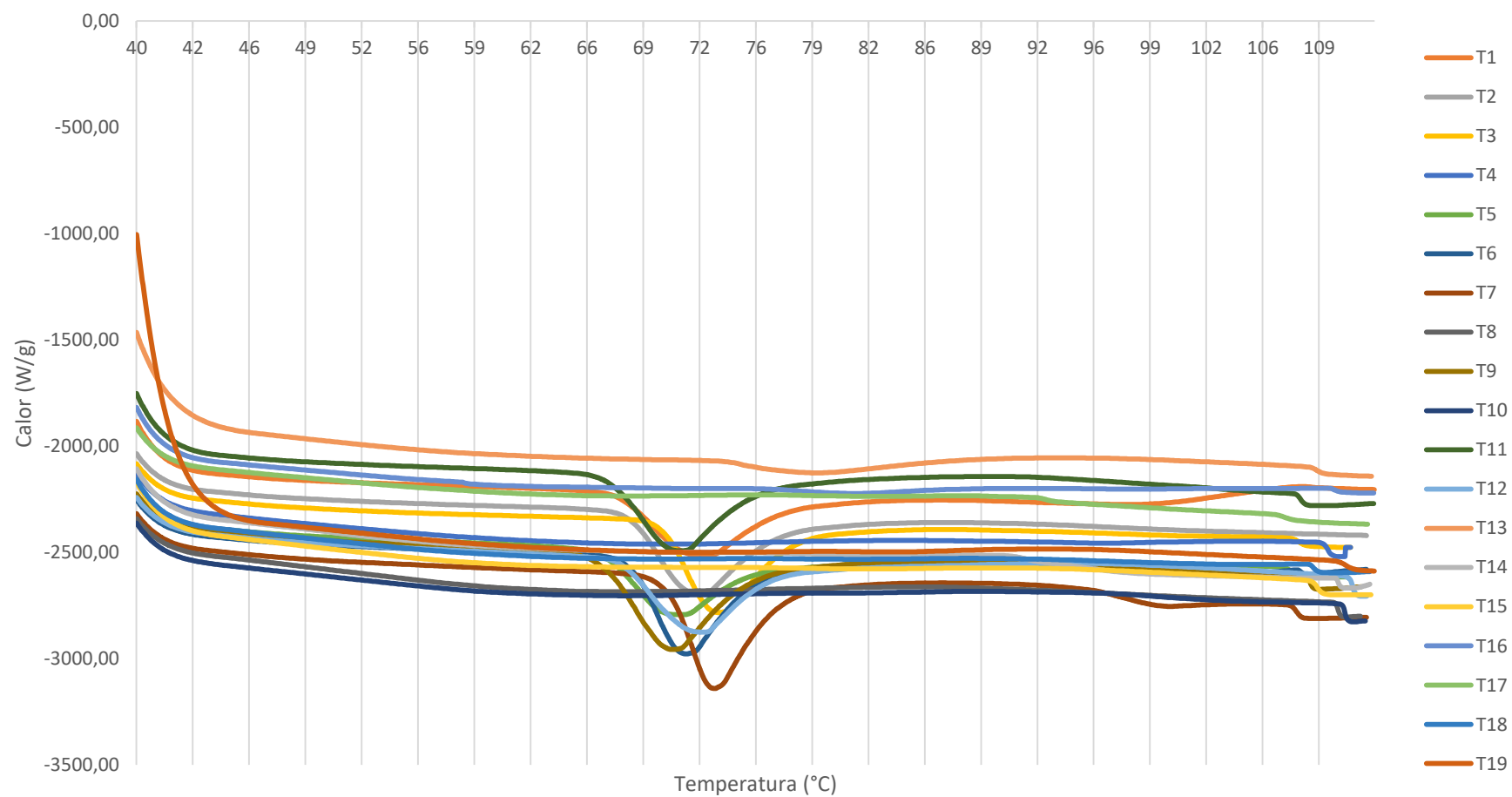
331 No modelo ajustado para a entalpia de gelatinização do amido, os componentes lineares  
332 da intensidade, do tempo e da interação tempo e intensidade da equação contribuíram para a  
333 redução da entalpia de gelatinização do amido modificado. No entanto, os componentes  
334 quadráticos das variáveis de intensidade e tempo aumentaram a energia necessária para a  
335 gelatinização do amido. A concentração da solução de amido não apresentou efeito significativo  
336 no modelo ajustado para a entalpia de gelatinização (Tabela 1).

337 A energia necessária para a gelatinização foi reduzida nos intervalos de tempo de  
338 exposição de 15 a 21 min e intensidade do ultrassom entre 65 e 99%, formando uma área de  
339 mínimo elipsoidal (Figura 6). Os amidos submetidos a condições com maiores intensidades e  
340 tempo de exposição pré-gelatinizaram durante a aplicação do ultrassom. A variação da energia  
341 de gelatinização do amido pode ser explicada pela diferença entre as forças de ligação da dupla

342 hélice, o que resulta em diferentes alinhamentos das ligações de hidrogênio dentro das  
343 moléculas de amido. Quando ocorre a quebra da dupla hélice, a energia de gelatinização é  
344 reduzida, sendo que a estrutura cristalina é pouco afetada (Luo et al., 2008).

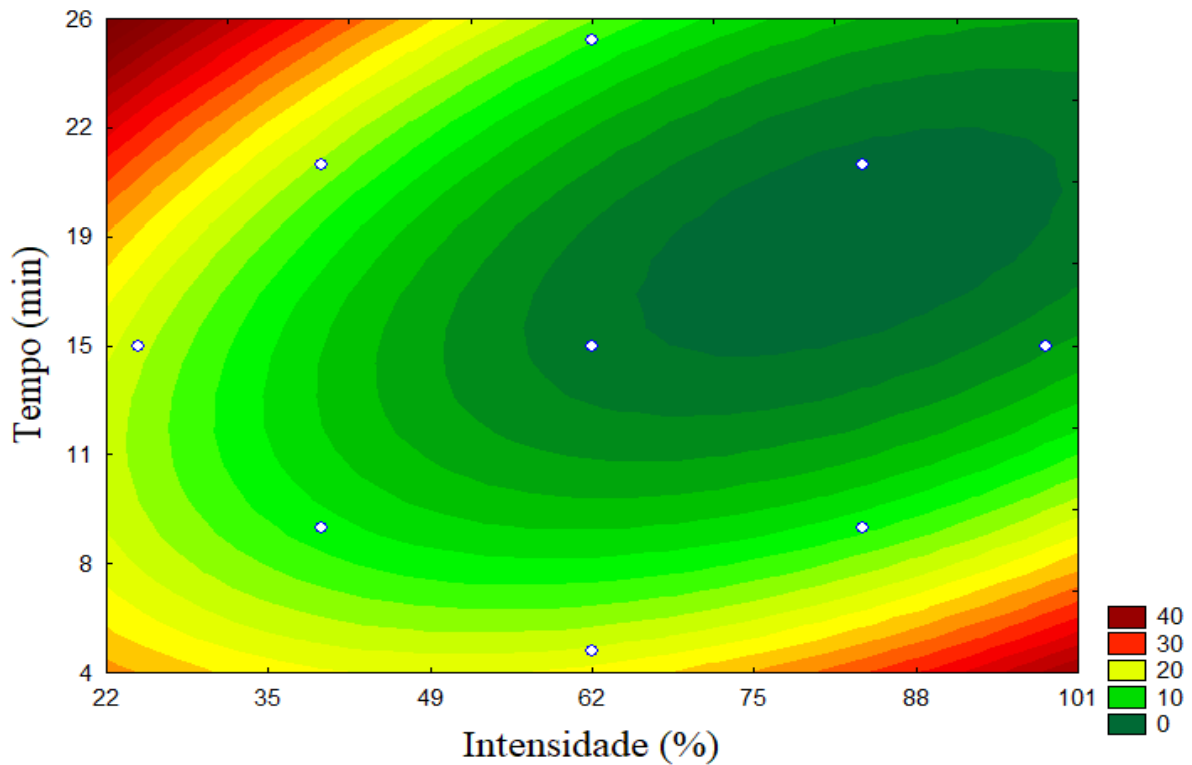
345 Amidos que apresentam cristalinidade do tipo B, apresentam maior flexibilidade nas  
346 dupla hélices, conseqüentemente, no tratamento ultrassônico, estas cadeias que formam os  
347 cristalitos de amidos de tipo B seriam mais móveis e, portanto, mais propensas a rupturas do  
348 que as dos amidos de tipo A (Luo et al., 2006).

349 Como foi verificado no Capítulo 4, o amido de rizomas de lírio-do-brejo apresentaram  
350 difratograma característico do tipo B, e a energia requerida para a gelatinização do grânulo de  
351 amido nativo foi de  $16.82 \text{ J g}^{-1} \pm 0.89$ . Assim, no tratamento com o ultrassom houve redução da  
352 energia de gelatinização do amido (variação de 0 a  $17.62 \text{ J g}^{-1}$ ) (Figura 6, Apêndice D), sendo  
353 que essa drástica redução pode também ser atribuída ao tipo de cristalinidade do amido.



354

355 Figura 5. Termogramas dos amidos de rizomas de lírio-do-brejo modificados por ultrassom em função de diferentes intensidades, tempos de  
 356 exposição e concentrações de solução de amido, segundo o delineamento experimental (Tabela 1)



357

358 Figura 6. Curva de nível para a entalpia de gelatinização ( $\text{J g}^{-1}$ ) de amidos de rizomas de lírio-  
 359 do-brejo modificado por ultrassom em função da intensidade e do tempo de exposição, com  
 360 concentração da solução de amido fixada em  $12.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$

361 Quando o amido é submetido ao processo de sonicação, tanto o fenômeno da cavitação  
 362 quanto o aumento da temperatura favorecem a perda das estruturas do grânulo, o que reduz a  
 363 temperatura de gelatinização, bem como a energia necessária para a gelatinização do amido  
 364 (Jambrak et al., 2010). Quando o tempo e a intensidade foram maiores que 15 min e 62%  
 365 (Apêndice D), o efeito do aumento da temperatura favoreceu a degradação dos grânulos,  
 366 chegando a  $75.4 \pm 1.50 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatura próxima à do pico de gelatinização encontrada para o  
 367 amido de rizomas de lírio-do-brejo nativo ( $76.78 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.01$ ) (Capítulo 4), pré-gelatinizando o  
 368 amido.

### 369 3.4 Validação dos modelos

370 No ensaio de validação dos modelos, verificou-se que aqueles para IAA apresentaram  
 371 88.96%, 95.37% e 97.44% de compatibilidade para as temperaturas de 55, 65 e  $80^\circ\text{C}$ ,

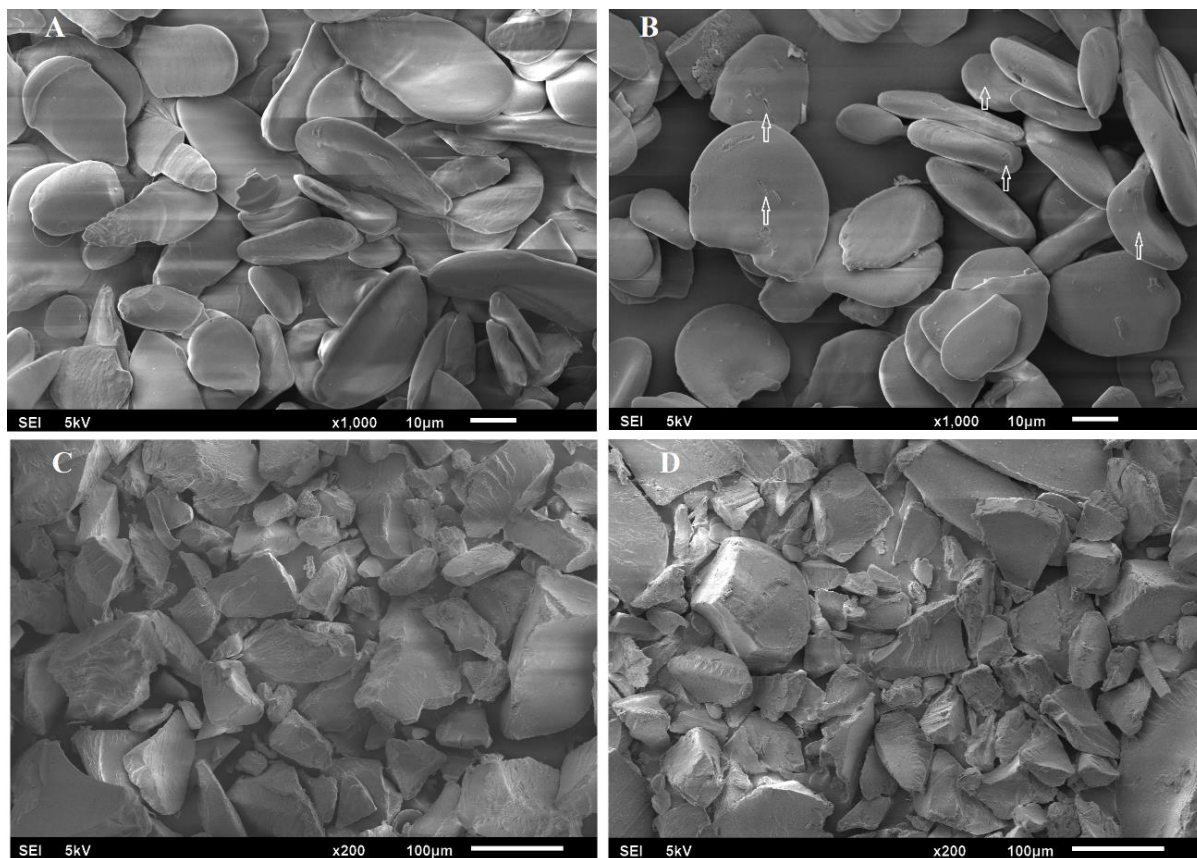
372 respectivamente (Tabela 3). Portanto, exceto o modelo para IAA 55°C, os modelos foram  
 373 considerados preditivos, pois apresentaram erro menor que 5%. Já os modelos que descreveram  
 374 o comportamento da solubilidade do amido modificado, apresentaram resultados com precisão  
 375 de 91.43%, 98.82% e 92.04% para as temperaturas de 55, 65 e 80°C, respectivamente. Assim,  
 376 apenas o modelo para ISA 65 °C pode ser considerado preditivo. Os modelos para a temperatura  
 377 de pasta, pico de viscosidade a quente e entalpia de gelatinização apresentam um nível de acerto  
 378 maior que 95%.

379 Tabela 3. Valores mensurados, valores esperados e erro percentual obtidos no ensaio de  
 380 validação dos modelos de índice de absorção, índice de solubilidade de água, propriedades de  
 381 pasta e entalpia de gelatinização

Propriedade	Valor mensurado	Valor esperados	% de erro
IAA 55 °C (g g <sup>-1</sup> )	8.25	7.43	11.04
IAA 65 °C (g g <sup>-1</sup> )	17.38	16.61	4.63
IAA 80 °C (g g <sup>-1</sup> )	15.95	16.37	2.56
ISA 55 °C (g 100 g <sup>-1</sup> )	3.97	3.63	8.57
ISA 65 °C (g 100 g <sup>-1</sup> )	8.52	8.42	1.18
ISA 80 °C (g 100 g <sup>-1</sup> )	21.98	20.23	7.96
Temperatura de pasta (°C)	66.52	66.11	0.62
Pico viscosidade a quente (cP)	2081.5	2183.13	4.65
Pico viscosidade a frio (cP)	83	77.55	7.03
Viscosidade final (cP)	3095.5	3424.21	9.60
Setback (cP)	1181	1304.09	9.44
ΔH (J g <sup>-1</sup> )	0.792	0.818	3.18

382 **3.5 MEV**

383 O grânulo do amido de rizomas de lírio-do-brejo é achatado, comprido, com formato  
384 elipsoidal irregular (Figura 7 A). O processo de sonicação promoveu o aparecimento de  
385 arranhões, fissuras e depressões no grânulo do amido (Figura 7 B). Sujka (2017) também  
386 verificou o aparecimento de fissuras e depressões no grânulo de amido de batata sonicados a  
387 20 kHz (equipamento 170W) por 30 min.



388  
389 Figura 7. Micografias (MEV) do amido de rizomas de lírio-do-brejo nativo (A), modificado por  
390 ultrassom com intensidade de 25% (B) (T9), 62% (C) (Ponto central) e 99% (D) (T10) com  
391 tempo de exposição de 15 min e concentração de 12.5 g 100 g<sup>-1</sup>

392 A presença de poros ou furos, fissuras e arranhões nas superfícies de grânulos de amido  
393 é resultado dos efeitos de cavitação gerados por ultrassom, onde o colapso assimétrico da bolha  
394 perto de uma superfície cria micro-jatos que invadem o grânulo a uma velocidade até 100 m s<sup>-1</sup>  
395 <sup>1</sup> (Bai et al., 2017; Zheng et al., 2013; Zuo et al., 2012).

396 A susceptibilidade do amido à ultrassonografia tem sido relacionada ao tipo e a estrutura  
397 do amido, bem como à concentração da solução sonicada. Por exemplo, nas mesmas condições  
398 de sonicação, rachaduras e depressões na superfície do grânulo foram mais profundas para o  
399 amido de batata e de trigo, do que para o amido de milho e o de arroz (Sujka & Jamroz, 2013),  
400 enquanto que os amidos de milho normais e ceroso tornaram-se porosos, o amido com alto teor  
401 de amilose apresentaram fissuras na superfície do grânulo do amido (teor de 50 g 100 g<sup>-1</sup> de  
402 amilose) (Luo et al., 2008). Com isso, a presença de fissuras na superfície do amido de rizomas  
403 de lírio-do-brejo sugere se tratar de um amido com alto teor de amilose (59.16 g 100 g<sup>-1</sup>),  
404 verificado no Capítulo 4. Logo, pode-se constatar que o ultrassom, mesmo em baixa intensidade  
405 (25% de intensidade) promoveu alterações na superfície do grânulo do amido de lírio-do-brejo.  
406 Quando a intensidade do tratamento foi elevada, os grânulos foram pré-gelatinizados, tornando-  
407 se impossível a visualização dos grânulos (Figura 7 C e D).

#### 408 **4 CONCLUSÃO**

409 O ultrassom é eficiente na modificação do amido dos rizomas de lírio-do-brejo,  
410 atribuindo-lhe um aumento na solubilidade, na capacidade de absorção de água, redução da  
411 temperatura de pasta, aumento do pico de viscosidade, redução da tendência à retrogradação, e  
412 ausência de pico de gelatinização na curva de DSC, quando a intensidade é de 62%,  
413 concentração de 12.5 g 100 g<sup>-1</sup> e 15 min de exposição. O amido de lírio-do-brejo apresentou  
414 propriedades tecnológicas adequadas para a aplicação em alimentos instantâneos, como por  
415 exemplo em mingau. As micrografias do amido modificado em intensidade inferior a 62%  
416 apresentaram fissuras na superfície do grânulo, sendo que em intensidades superiores ou igual  
417 a 62% com 15 min de exposição o amido pré-gelatinizou, não sendo possível a visualização dos  
418 grânulos.

419 **REFERÊNCIAS**

- 420 Almeida, E. C., Bora, P. S., & Zárata, N. A. H. (2013). Amido nativo e modificado de taro  
421 (*Colocasia esculenta* L. Schott): caracterização química, morfológica e propriedades de pasta.  
422 *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 31, 67-82.
- 423 Alves, L. De L., Cichoski, A. J., Barin, J. S., Rampelotto, C. & Durante, E. C. (2013). O  
424 ultrassom no amaciamento de carnes. *Ciencia Rural*, 43, 1522-1528.
- 425 Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin Junior, L. (1969). Gelatinization of  
426 Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4-12.
- 427 Ascheri, D. P. R., Moura, W. De S., Ascheri, J. L. R., & Carvalho, C. W. P. (2010).  
428 Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*hedychium*  
429 *coronarum*). *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 40, 159-166.
- 430 Bai, W., Hébraud, P., Ashokkumar, M., & Hemar, Y. (2017). Investigation on the pitting of  
431 potato starch granules during high frequency ultrasound treatment. *Ultrasonics*  
432 *Sonochemistry*, 35, 547-555.
- 433 Bernardo, C. O., Ascheri, J. L. R. & Carvalho, C. W. P. de. Efeito do ultrassom na extração e  
434 modificação de amidos. *Ciencia Rural*, 46, 739-746, 2016.
- 435 Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V.; Benedito, J., Mulet, A. Food process innovation through  
436 new technologies: use of ultrasound. *Journal of Food Engineering*, 110, 200-207, 2012.
- 437 Carmona-García, R., Bello-Pérez, L. A., Aguirre-Cruz, A., Aparicio-Saguilán, A., Hernández-  
438 Torres, J., & Alvarez-Ramirez, J. (2016). Effect of ultrasonic treatment on the morphological,  
439 physicochemical, functional, and rheological properties of starches with different granule size.  
440 *Starch - Stärke*, 68, 972-979.
- 441 Carvalho, Ana Vânia, Vasconcelos, Marcus Arthur Marçal de, Silva, Priscilla Andrade, Assis,  
442 Glaucy Takeda, & Ascheri, José Luis Ramirez. (2010). Caracterização tecnológica de  
443 extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. *Ciência e*  
444 *Agrotecnologia*, 34(4), 995-1003.
- 445 Castro, W. A. C., Almeida, R. V., Leite, M. B., Marrs, R. H., & Matos, D. M. S. (2016).  
446 Invasion strategies of white ginger lily (*Hedychium coronarium*) J. König (Zingiberacea)  
447 under different competitive and environmental conditions. *Environmental Experimental*  
448 *Botanical*, 127, 55–62.
- 449 Delgado, D. J. (2011). Aplicación del ultrasonido en la industria de los alimentos. *Revista*  
450 *especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales*, 6, 141–152.
- 451 Di-Medeiros, M .C. B., Pascoal, A. M., Batista, K. A., Bassinello, P. Z., Lião, L. M., Leles,  
452 M. I. G., & Fernandes, K. F. (2014). Rheological and biochemical properties of *Solanum*  
453 *lycopurum* starch. *Carbohydrate Polymers*, 104, 66–72.

- 454 Herceg, I. L., Jambrak, A. R., Subaric, D., Brncic, M., Brncic, S. R., & Badanjak, M. (2010).  
 455 Texture and pasting properties of ultrasonically treated corn starch. *Czech Journal of Food*  
 456 *Science*, 28, 83-93.
- 457 Jambrak, A. R., Herceg, Z., Šubarić, D., Babić, J., Brnčić, M., Brnčić, S. R., & Gelo, J.  
 458 (2010). Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 79,  
 459 91-100.
- 460 Joy, B., Rajan, A. & Abraham, E. (2007). Antimicrobial Activity and Chemical Composition  
 461 of Essential Oil from *Hedychium coronarium*. *Phytotherapy Research*, 21, 439–443.
- 462 Kaur, L., & Singh, J. (2016). *Starch: Modified Starches*. Encyclopedia of Food and Health  
 463 (pp. 152-159). Oxford: Academic Press.
- 464 Linko, Y. Y., Vuorinen, H., Olkku, J., & Linko, P. The effect of HTST on retention of cereal  
 465 alpha-amylase activity and enzymatic hydrolysis of barley starch. In: LINKO, P.; Larinkari, J.  
 466 (Eds.). (1980). *Food processing engineering*. London: Elsevier Applied Science, 210-223.
- 467 Luo, Z., Fu, X., He, X., Luo, F., Gao, Q., & Yu, S. (2008). Effect of Ultrasonic Treatment on  
 468 the Physicochemical Properties of Maize Starches Differing in Amylose Content. *Starch -*  
 469 *Stärke*, 60, 646-653.
- 470 Luo, Z., He, X., Fu, X., Luo, F., & Gao, Q. (2006). Effect of Microwave Radiation on the  
 471 Physicochemical Properties of Normal Maize, Waxy Maize and Amylomaize V. *Starches*, 58.
- 472 Manchun, S., Nunthanid, J., Limmatvapirat, S., & Sriamornsak, P. (2012). Effect of  
 473 Ultrasonic Treatment on Physical Properties of Tapioca Starch. *Advanced Materials*  
 474 *Research*, 506, 294-297.
- 475 Mercier, C., & Feillet, P. (1975). Modification of carbohydrate components by extrusion-  
 476 cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*, 52, 283-297.
- 477 Mohammad Amini, A., Razavi, S. M. A., & Mortazavi, S. A. (2015). Morphological,  
 478 physicochemical, and viscoelastic properties of sonicated corn starch. *Carbohydrate*  
 479 *Polymers*, 122, 282-292.
- 480 Monroy, Y., Rivero, S., & García, M. A. (2018). Microstructural and techno-functional  
 481 properties of cassava starch modified by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 42, 795-804.
- 482 Przetaczek-Roznowska, I. (2017). Physicochemical properties of starches isolated from  
 483 pumpkin compared with potato and corn starches. *International Journal Biological*  
 484 *Macromolecules*, 101, 536-542.
- 485 Saulino, H. H. L., & Trivinho-Strixino, S. (2017). The invasive white ginger lily (*Hedichium*  
 486 *coronarium*) simplifies the trait composition of an insect assemblage in the littoral zone of a  
 487 Savanna reservoir. *Revista Brasileira de Entomologia*, 61, 60–68.
- 488 Sujka, M. (2017). Ultrasonic modification of starch – Impact on granules porosity.  
 489 *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 424-429.

- 490 Sujka, M., & Jamroz, J. (2013). Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and  
491 functional behaviour. *Food Hydrocolloids*, 31, 413-419.
- 492 Verma, M. & Bansal, Y. K. (2010). Butterfly Lilly (*Hedychium Coronarium* Koenig): An  
493 Endangered Medicinal Plant. *Plant Archives*, 10, 841-843.
- 494 Waszczynskyj, N., Rao, C. S., & Silva, R. S. F. (1981). Extraction of proteins from wheat  
495 bran: application of carbohydrases. *Cereal Chemistry*, 58, 264-266.
- 496 Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P. & Chang, Y. K. (2009). Physicochemical, rheological,  
497 morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn  
498 starches. *Ciência Tecnologia Alimentos*, 29, 748-753.
- 499 Zheng, J., Li, Q., Hu, A., Yang, L., Lu, J., Zhang, X., & Lin, Q. (2013). Dual-frequency  
500 ultrasound effect on structure and properties of sweet potato starch. *Starch - Stärke*, 65(7-8),  
501 621-627.
- 502 Zhu, F. (2015). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of  
503 cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 122, 456-480.
- 504 Zuo, J. Y., Knoerzer, K., Mawson, R., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2009). The pasting  
505 properties of sonicated waxy rice starch suspensions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16, 462-  
506 468.
- 507 Zuo, Y. Y. J., Hébraud, P., Hemar, Y., & Ashokkumar, M. (2012). Quantification of high-  
508 power ultrasound induced damage on potato starch granules using light microscopy.  
509 *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(3), 421-426.

510 **Apêndice A** - Dados de absorção de água do amido de rizomas de lírio-do-brejo modificado por ultrassom, onde X1= intensidade (%); X2=

511 tempo (min); X3= concentração (g 100 g<sup>-1</sup>)

Tratamento	Variáveis codificadas			Variáveis reais			IAA			
	x1	x2	x3	x1	x2	x3	55°C	65°C	80°C	90°C
1	-1	-1	-1	40.010	9.055	8.041	2.984	4.254	16.912	17.573
2	1	-1	-1	83.990	9.055	8.041	3.159	4.284	14.810	15.521
3	-1	1	-1	40.010	20.945	8.041	3.315	4.061	13.704	16.158
4	1	1	-1	83.990	20.945	8.041	5.776	11.011	15.870	14.446
5	-1	-1	1	40.010	9.055	16.959	3.096	5.969	17.435	16.953
6	1	-1	1	83.990	9.055	16.959	3.024	5.039	18.730	17.261
7	-1	1	1	40.010	20.945	16.959	3.473	4.510	14.492	18.027
8	1	1	1	83.990	20.945	16.959	5.229	10.727	14.651	15.585
9	-1.682	0	0	25.000	15.000	12.500	3.198	5.772	16.662	17.169
10	1.682	0	0	99.000	15.000	12.500	6.876	11.784	15.673	17.462
11	0	-1.682	0	62.000	5.000	12.500	3.221	4.448	15.064	18.764
12	0	1.682	0	62.000	25.000	12.500	4.050	5.055	11.938	16.814
13	0	0	-1.682	62.000	15.000	5.000	6.119	8.496	14.630	16.171
14	0	0	1.682	62.000	15.000	20.000	6.951	12.891	15.236	20.030
15	0	0	0	62.000	15.000	12.500	7.041	14.255	16.334	18.156
16	0	0	0	62.000	15.000	12.500	7.012	13.704	17.212	18.203
17	0	0	0	62.000	15.000	12.500	7.336	13.408	16.182	17.839
18	0	0	0	62.000	15.000	12.500	7.051	13.622	16.603	18.158
19	0	0	0	62.000	15.000	12.500	8.508	12.763	16.141	17.884

512

513 **Apêndice B** - Dados de solubilidade em água do amido de rizomas de lírio-do-brejo modificado por ultrassom, onde X1= intensidade (%); X2=  
 514 tempo (min); X3= concentração (g 100 g<sup>-1</sup>)

Tratamento	Variáveis codificadas			Variáveis reais			ISA			
	x1	x2	x3	x1	x2	x3	55°C	65°C	80°C	90°C
<b>1</b>	-1	-1	-1	40.010	9.055	8.041	0.903	2.454	16.374	17.495
<b>2</b>	1	-1	-1	83.990	9.055	8.041	0.175	1.584	12.951	13.869
<b>3</b>	-1	1	-1	40.010	20.945	8.041	0.651	3.327	11.999	11.722
<b>4</b>	1	1	-1	83.990	20.945	8.041	2.406	14.051	41.818	33.318
<b>5</b>	-1	-1	1	40.010	9.055	16.959	0.192	3.241	30.796	13.736
<b>6</b>	1	-1	1	83.990	9.055	16.959	0.559	2.960	29.679	15.582
<b>7</b>	-1	1	1	40.010	20.945	16.959	0.405	1.536	29.850	19.590
<b>8</b>	1	1	1	83.990	20.945	16.959	7.050	13.098	30.765	18.715
<b>9</b>	-1.682	0	0	25.000	15.000	12.500	0.429	2.543	25.481	28.549
<b>10</b>	1.682	0	0	99.000	15.000	12.500	4.542	15.476	35.137	17.440
<b>11</b>	0	-1.682	0	62.000	5.000	12.500	0.646	2.274	9.569	17.440
<b>12</b>	0	1.682	0	62.000	25.000	12.500	2.028	8.967	33.010	16.182
<b>13</b>	0	0	-1.682	62.000	15.000	5.000	2.472	2.022	21.080	16.182
<b>14</b>	0	0	1.682	62.000	15.000	20.000	1.888	3.346	20.884	16.263
<b>15</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500	3.810	5.978	18.000	19.377
<b>16</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500	3.312	7.187	16.113	21.660
<b>17</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500	3.264	9.363	18.071	21.714
<b>18</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500	3.963	9.209	20.823	19.208
<b>19</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500	3.728	9.297	18.541	21.263

515

516 **Apêndice C** - Dados RVA do amido de rizomas de lírio-do-brejo modificado por ultrassom, onde X1= intensidade (%); X2= tempo (min); X3=  
 517 concentração (g 100 g<sup>-1</sup>)

Tratamento	x1	x2	x3	x1	x2	x3	T. pasta (°C)	Pico de viscosidade(cP)	Trough (cP)	Breakdow (cP)	Viscosida de final (cP)	Setback (cP)
1	-1	-1	-1	40.010	9.055	8.041	73.13	2051.50	1995.50	56.00	4103.00	2107.50
2	1	-1	-1	83.990	9.055	8.041	73.60	1857.00	1841.50	15.50	3603.00	1761.50
3	-1	1	-1	40.010	20.945	8.041	74.75	1683.00	1680.00	3.00	2981.50	1301.50
4	1	1	-1	83.990	20.945	8.041	66.70	433.00	340.00	93.00	546.00	206.00
5	-1	-1	1	40.010	9.055	16.959	72.30	2413.50	2381.00	32.50	4982.00	2601.00
6	1	-1	1	83.990	9.055	16.959	72.90	2250.50	2243.00	7.50	4975.50	2732.50
7	-1	1	1	40.010	20.945	16.959	75.13	1886.00	1886.50	-0.50	3474.50	1588.00
8	1	1	1	83.990	20.945	16.959	66.53	394.50	384.00	10.50	639.00	255.00
9	-1.682	0	0	25.000	15.000	12.500	72.33	2732.00	2699.00	33.00	5179.00	2480.00
10	1.682	0	0	99.000	15.000	12.500	65.90	590.50	590.00	0.50	1039.50	449.50
11	0	-1.682	0	62.000	5.000	12.500	71.68	2773.50	2760.00	13.50	5187.00	2427.00
12	0	1.682	0	62.000	25.000	12.500	72.73	892.50	791.50	101.00	1266.50	475.00
13	0	0	-1.682	62.000	15.000	5.000	70.28	1856.50	1883.00	-26.50	5500.00	3617.00
14	0	0	1.682	62.000	15.000	20.000	65.90	2436.50	2437.00	-0.50	3866.50	1429.50
15	0	0	0	62.000	15.000	12.500	66.78	2070.00	2077.00	-7.00	3615.00	1538.00
16	0	0	0	62.000	15.000	12.500	66.53	2460.50	2428.00	32.50	3758.00	1330.00
17	0	0	0	62.000	15.000	12.500	65.75	2131.50	2126.00	5.50	3200.00	1074.00
18	0	0	0	62.000	15.000	12.500	65.13	2243.50	2203.00	40.50	3452.50	1249.50
19	0	0	0	62.000	15.000	12.500	66.75	2381.00	2386.50	-5.50	3672.50	1286.00

518

519 **Apêndice D** – Dados DSC do amido de rizoma de lírio-do-brejo modificado por ultrassom, onde X1= intensidade (%); X2= tempo (min); X3=  
 520 concentração (g 100 g<sup>-1</sup>)

Tratamento	Variáveis codificadas			Variáveis reais			DSC			
	x1	x2	x3	x1	x2	x3	T inicial (°C)	T pico (°C)	T final (°C)	ΔH (J g <sup>-1</sup> )
<b>1</b>	-1	-1	-1	40.010	9.055	8.041	72.16	77.10	90.91	12.93
<b>2</b>	1	-1	-1	83.990	9.055	8.041	73.25	77.15	91.56	14.41
<b>3</b>	-1	1	-1	40.010	20.945	8.041	75.16	78.38	91.74	13.68
<b>4</b>	1	1	-1	83.990	20.945	8.041				0
<b>5</b>	-1	-1	1	40.010	9.055	16.959	71.81	75.93	88.43	11.13
<b>6</b>	1	-1	1	83.990	9.055	16.959	73.25	76.42	90.13	14.63
<b>7</b>	-1	1	1	40.010	20.945	16.959	75.39	78.07	89.60	14.99
<b>8</b>	1	1	1	83.990	20.945	16.959				0
<b>9</b>	-1.682	0	0	25.000	15.000	12.500	71.62	75.76	90.47	17.62
<b>10</b>	1.682	0	0	99.000	15.000	12.500				0
<b>11</b>	0	-1.682	0	62.000	5.000	12.500	71.54	75.77	89.81	14.23
<b>12</b>	0	1.682	0	62.000	25.000	12.500	72.58	77.31	89.91	13.75
<b>13</b>	0	0	-1.682	62.000	15.000	5.000	78.48	84.12	95.32	3.47
<b>14</b>	0	0	1.682	62.000	15.000	20.000				0
<b>15</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500				0
<b>16</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500				0
<b>17</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500				0
<b>18</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500				0
<b>19</b>	0	0	0	62.000	15.000	12.500				0

521

## CAPÍTULO 6

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DA FARINHA DE ALGODÃOZINHO-DO-CAMPO (*Cochlospermum regium*)

**Resumo:** *Cochlospermum regium*, uma planta nativa do cerrado brasileiro, popularmente conhecido como algodãozinho-do-campo, é muito utilizada na medicina popular para o tratamento de infecções e inflamações, mas também pode ser uma fonte potencial para a produção de farinha. Como não há relatos sobre a produção de farinha das raízes desta planta na literatura científica, o presente trabalho teve por objetivo contribuir com novos dados sobre o rendimento e propriedades físicas, químicas, tecnológicas e fatores anti-nutricionais da farinha, bem como a farinha foi testada na fermentação semi-sólida com *Streptomyces thermocerradoencis* I3 para a produção do extrato enzimático, bem como na hidrólise enzimática destas, para avaliar a capacidade das enzimas produzidas durante o processo de fermentação semissólida de farelo de trigo. O rendimento da produção da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo foi cerca de 29 g 100 g<sup>-1</sup>, e esta apresentou-se como um pó amarelo alaranjado, com elevado teor de carboidratos (83 g 100 g<sup>-1</sup>), e baixos teores de cinzas, proteínas e fibra alimentar total, solúvel e insolúvel. O índice de solubilidade em água foi de 12.82 g g<sup>-1</sup>, o índice de absorção de água de 4.74 g 100 g<sup>-1</sup>, e índice de absorção de óleo de 2.37 g g<sup>-1</sup>, todos a 28 °C. O termograma da farinha apresentou três picos endotérmicos. A temperatura inicial de gelatinização do amido da farinha foi de 76.85 °C, a de pico de 81.03 °C e a final de 85.21 °C. O segundo pico foi característico de transição vitrea, com temperatura de 110 °C, sendo o último pico relacionado com complexos lipídio-amilose, com temperatura inicial de 134.55 °C, pico de 135.12 °C e final de 141.93 °C. A farinha apresentou potencial antioxidante, maior concentração de compostos fenólicos em extratos metanólicos, presença de nitratos, taninos e inibidores de tripsina, e não foi adequada para a produção de extratos enzimáticos. Conclui-se

25 que a farinha de raízes do algodãozinho-do-campo possui características físicas, químicas,  
26 tecnológicas e nutricionais peculiares, com potencial para ser utilizada pela indústria de  
27 alimentos, não sendo substrato ideal para a produção de extratos enzimáticos a partir do cultivo  
28 semissólido com a bactéria *Streptomyces thermocerradoensis* I3, e nem indicada para a  
29 produção de fermentados alcoólicos.

30 **Palavras chave:** Termograma, nitratos, inibidor de tripsina, *Streptomyces thermocerradoensis*  
31 I3, hidrólise enzimática.

## 32 1 INTRODUÇÃO

33 *Cochlospermum regium* é uma planta nativa do cerrado brasileiro, pertencente à família  
34 Cochlospermaceae, popularmente conhecido como algodãozinho-do-campo, e é muito utilizada  
35 na medicina popular para o tratamento de infecções e inflamações (Carvalho et al., 2018; Nunes  
36 et al., 2003). Estudos que caracterizam e quantificam compostos de extratos obtidos a partir da  
37 raiz desta planta mostraram que se trata de um produto com potencial antimicrobiano (Nader et  
38 al., 2010), e que apresenta compostos fenólicos responsáveis pela capacidade anti-inflamatória  
39 (Solon et al., 2012).

40 O algodãozinho-do-campo é uma planta com potencial para a extração de fécula (dados  
41 não publicados) e produção de farinha, no entanto, faltam estudos que visem sua aplicação na  
42 alimentação humana. Farinhas geralmente são materiais ricos em carboidratos, dentre os quais  
43 amido, celulose e hemicelulose se destacam. O amido e a celulose são homopolímeros de  
44 glicose, unidas por ligações do tipo  $\alpha$ -1,4 e 1,6, e  $\beta$ -1,4, respectivamente. Enquanto, a  
45 hemicelulose é composta por um grupo de hetero-polissacarídeos não cristalinos, com  
46 diferentes resíduos de monossacarídeos (D-xilose, D-manose, D-glicose, ácido D-  
47 galacturônico, ácido D-glicorônico, D-galactose, L-arabinofuronose e L-ramnose), e

48 geralmente é formada por 2 a 6 açúcares diferentes, unidos por ligações do tipo  $\beta$ -1,4 (Van &  
49 Pletschke, 2012).

50 A aplicação de extratos enzimáticos celulósídicos e xilanolítico em farinhas pode ser  
51 uma opção para a elevação do valor nutricional, pelo aumento do conteúdo de açúcares solúveis,  
52 os quais são resultado da degradação da hemicelulose, parte amorfa da parede celular vegetal  
53 (Knob et al., 2014; Polizeli, 2005). As xilanases produzidas por bactérias tem despertado grande  
54 interesse devido sua alta capacidade em transformar lignocelulose em açúcar, álcool e outras  
55 substâncias úteis para a aplicação industrial (Gendy & Bondkly, 2014). O cultivo destes  
56 organismos em fermentação semissólida é uma opção rápida e barata para a produção de  
57 extratos enzimáticos.

58 Por não existirem estudos disponíveis sobre a farinha das raízes do algodãozinho-do-  
59 campo, a presente pesquisa teve por objetivo contribuir com novos dados, como o rendimento  
60 e propriedades físicas, químicas, tecnológicas e fatores anti-nutricionais da farinha, bem como  
61 a farinha foi testada na fermentação semissólida com *Streptomyces thermocerradoencis* I3 para  
62 a produção do extrato enzimático, bem como na hidrólise enzimática destas, para avaliar a  
63 capacidade das enzimas produzidas durante o processo de fermentação semi-sólida de farelo de  
64 trigo.

## 65 **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 66 **2.1 Material**

67 As raízes de *Cochlospermum regium* foram coletadas no município de Uruaçu-GO (-  
68 14.264977, -48.973811), em uma região de mata nativa de Cerrado, no mês de julho de 2016.  
69 As raízes foram armazenadas em embalagens de polietileno de baixa densidade e mantidas  
70 sobre refrigeração ( $6 \pm 1$  °C), durante o transporte e armazenamento, até o processamento.

### 71 **2.2 Processamento da farinha**

72 As raízes foram lavadas e sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm  
73 por 15 min, descascadas e cortadas em rodela manualmente, e deixadas secar em estufa de  
74 circulação de ar a 35 °C por 48 h. O material desidratado foi submetido à moagem, em moinho  
75 de facas tipo “Croton” (Marconi, MA580, Piracicaba, Brasil), com peneira de malha de 2,0 mm  
76 de diâmetro. A produção das farinhas foi realizada em bateladas (repetições).

### 77 **2.3 Composição proximal**

78 A umidade foi quantificada em estufa a 105 °C até peso constante, e as cinzas por  
79 pesagem após incineração a 550 °C em forno mufla. O teor de nitrogênio foi determinado pelo  
80 método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 6,25 resultou no teor de proteína bruta. Os  
81 lipídeos foram extraídos com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet. Para obter a fibra  
82 alimentar total, solúvel e insolúvel foi utilizada a amostra desengordurada da extração por  
83 Soxlet, seguindo o método enzimico-gravimétrico. Os carboidratos totais foram estimados pelo  
84 método de diferença. O valor energético total ( $\text{kJ g}^{-1}$ ) foi calculado multiplicando o peso (g) de  
85 carboidratos digeríveis (carboidratos totais menos fibra alimentar insolúvel) e proteínas por 4 e  
86 o peso dos lipídeos por 9. Todas as análises foram realizadas conforme as recomendações da  
87 AOAC (2012), em triplicata.

### 88 **2.4 Cor, atividade de água, pH e acidez total**

89 Os parâmetros instrumentais de cor luminosidade ( $L^*$ ) e coordenadas de cromaticidade  
90  $a^*$  e  $b^*$  foram capturados através de colorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey,  
91 USA), calibrado com placa porcelana branca. A partir destas coordenadas calcularam-se a  
92 croma ( $C^*$ ) e o ângulo Hue ( $H^\circ$ ). A atividade de água foi determinada no AquaLab digital  
93 (AquaLab, Series 3TE, Pullman, USA), acoplado a um banho termostático controlado, na  
94 temperatura de 25°C. A medida de pH foi realizada utilizando potenciômetro (Tecnal, TEC-51,  
95 Piracicaba, Brasil), com inserção do eletrodo diretamente em 5 g de farinha diluída em 100 mL

96 de água. A acidez titulável total foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N. Todas as  
97 análises físico-químicas foram realizadas conforme recomendações da AOAC (2012).

## 98 **2.5 Açúcares totais redutores e não redutores**

99 Os teores de açúcares totais redutores e não redutores foram determinados segundo  
100 metodologia de Miller (1959), que se baseia na redução do ácido 3,5 – di-nitro salicílico a ácido  
101 3-amino–5–nitro salicílico. A leitura foi realizada em espectrofotômetro (Bel Photonic,  
102 SP2000UV, Piracicaba, Brasil), usando solução de glicose como padrão.

## 103 **2.6 Propriedades térmicas**

104 As propriedades térmicas foram determinadas em calorímetro diferencial de varredura  
105 (TA Instruments, Q20, New Castle, UK), segundo Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009).  
106 Amostras de 2 mg (b.s.) foram pesadas em recipientes de alumínio, próprios para o  
107 equipamento. Água destilada (6 µL) foi adicionada, e os porta amostras selados em prensa  
108 específica. Estes foram mantidos por 12 h a temperatura ambiente, e aquecidos no intervalo  
109 entre 30 e 160 °C, a uma taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. A partir da curva obtida, a entalpia  
110 de gelatinização ( $\Delta H$ ), os intervalos de temperatura de gelatinização ( $\Delta T$ ), a temperatura no  
111 início da gelatinização ( $T_0$ ), a temperatura no pico ( $T_p$ ) e a temperatura final ( $T_c$ ) foram  
112 calculadas, usando o aplicativo TA Universal Analysis (TA Instruments, New Castle, UK).

## 113 **2.7 Absorção e solubilidade em água e absorção de óleo**

114 O índice de solubilidade em água (ISA) e o índice de absorção de água (IAA) foram  
115 determinados de acordo com o método de Anderson et al. (1969). Para a determinação do índice  
116 de absorção de óleo (IAO) também foi utilizado a mesma metodologia com adaptações, uma  
117 vez que a água foi substituída pelo óleo de soja.

## 118 **2.8 Compostos fenólicos**

119 O teor de compostos fenólicos totais foi determinado utilizando o reagente Folin-  
120 Ciocalteau. Este é uma solução de íons poliméricos formados a partir dos ácidos fosfomolibdico

121 e fosfotungstico, que oxidam os fenolatos, reduzindo-os a ácidos, formando um complexo de  
122 cor azul (Mo-W), que pode ser lido em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 740  
123 nm. Os dados foram expressos em mEq ácido gálico 100 g<sup>-1</sup> (Singleton, Orthofer & Lamuela,  
124 1999).

## 125 **2.9 Capacidade antioxidante**

126 A determinação do potencial antioxidante foi realizada pelo método DPPH (Brand-  
127 Williams et al., 1995), baseado na captura do radical DPPH (2,2-difenil-1picril-hidrazil) por  
128 antioxidantes, produzindo um decréscimo da absorbância a 515 nm, modificado por Sánchez-  
129 Moreno et al. (1998).

## 130 **2.10 Ensaio de toxicidade com *Artêmia salina***

131 O ensaio de toxicidade sobre *Artêmia salina* foi realizado segundo metodologia de  
132 Meyer et al. (1982), com adaptações. Preparou-se uma solução com sal marinho na  
133 concentração de 30 g L<sup>-1</sup>, e ajustou-se o pH entre 8.0 e 9.0 com solução 0.1 mol L<sup>-1</sup> de NaOH.  
134 Esta solução foi utilizada para eclosão dos ovos de *Artêmia salina*, ocorrida após 48 h, sob  
135 iluminação e aeração constante a 25 °C, e no preparo das demais diluições. Dez larvas de  
136 *Artemia salina* foram transferidas para cada tubo, contendo a solução salina nas diferentes  
137 concentrações testadas e a amostra. O ensaio foi realizado em três repetições, sendo a contagem  
138 dos animais mortos e vivos realizada após 24 h.

## 139 **2.11 Fatores anti-nutricionais**

140 A atividade do inibidor de tripsina foi determinada por método espectrofotométrico  
141 descrito por Kunitz (1947) e Kakade et al. (1974). Adicionaram-se 50 mL de solução de NaOH  
142 0.01N a 1g de amostra seca e desengordurada. O tubo foi colocado em agitador magnético por  
143 1 h e adicionaram-se as soluções Benzoyl-DL-arginine para nitroanilide (BAPA) e de ácido  
144 acético, deixando-as reagir por 10 min. A solução foi filtrada e realizada leitura a 410 nm em  
145 espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em função das UTI – unidades de tripsina

146 inibidas ( $UTI \text{ mg amostra}^{-1}$ ), onde uma unidade de tripsina é definida como um aumento de  
147 0.01 unidade de absorvância a 410 nm por 10 mL da mistura de reações. A determinação do  
148 teor de nitratos foi realizada por método colorimétrico, conforme Cataldo et al. (1975),  
149 enquanto o teor de taninos conforme método colorimétrico de Folin-Denis, de acordo com a  
150 AOAC (2012). A intensidade de cor azul produzida na redução do reagente de Folin-Denis por  
151 taninos foi medida em espectrofotômetro a 760 nm, e os resultados foram expressos em  
152 porcentagem.

### 153 **2.12 Aplicação da farinha em extrato enzimático e na hidrólise enzimática**

154 A farinha foi testada na fermentação semissólida com *Streptomyces thermocerradoensis*  
155 I3 para a produção do extrato enzimático, bem como na hidrólise enzimática destas, para avaliar  
156 a capacidade das enzimas produzidas durante o processo de fermentação semi-sólida de farelo  
157 de trigo. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

158 Os ensaios para a obtenção dos extratos enzimáticos foram realizados conforme Gama  
159 (2016). Esporos de *Streptomyces thermocerradoensis* I3 foram inoculados em 5 g de farinha  
160 com 15 mL de meio mínimo ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 - 7.0 \text{ g L}^{-1}$ ;  $\text{K}_2\text{HPO}_4 - 3.0 \text{ g L}^{-1}$   $\text{NaCl} - 0.5 \text{ g L}^{-1}$ ;  $\text{NH}_4\text{Cl}$   
161  $- 1.0 \text{ g L}^{-1}$ ), previamente autoclavado. Ao final do período de incubação de 5 dias a 37 °C, os  
162 cultivos foram adicionados de 50 mL de água com 50  $\mu\text{L}$  de Tween-80 ( $0.1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ),  
163 centrifugados a 7500G por 15 min a 4 °C. O sobrenadante foi avaliado quanto à atividade  
164 enzimática para a xilanase e CMCase. A dosagem da atividade de endoglucanase testada em  
165 carboximetilcelulose em micro-ensaio foi realizada de acordo com Ramada et al. (2010). A  
166 atividade enzimática de xilanase foi determinada utilizando-se como substrato soluções de  
167 xilana *bechwood* (Sigma®) 1% (p/v). A atividade foi determinada em micro-ensaio,  
168 adicionando-se 10  $\mu\text{L}$  de amostra e 90  $\mu\text{L}$  da solução dexilana 1%. A solução foi incubada a 50  
169 °C por 5 min, seguido da quantificação de açúcares redutores pelo método de ADNS (Miller,  
170 1959). A curva padrão de xilose foi determinada com concentrações de 0.3 a 4.2  $\text{mg mL}^{-1}$ .

171           Nos ensaios para a hidrólise enzimática, soluções de 100 mL a 1% (p/v) da farinha com  
172 pH corrigido para 6.0 (tampão fosfato pH 6,0) foram acrescidas de 0.1 mL de extrato enzimático  
173 (3 U mL<sup>-1</sup> para CMCase e 9 U mL<sup>-1</sup> para xilanase) produzidos a partir da fermentação  
174 semissólida do farelo de trigo com a bactéria *Streptomyces thermocerradoencis* I3 (GAMA,  
175 2016). As amostras foram incubados sob agitação a 50 °C por períodos de 4, 24 e 48 h. Como  
176 controle, utilizaram-se soluções de farinha sem a adição do extrato enzimático. As soluções  
177 foram avaliadas quanto ao teor de açúcares redutores e totais por método proposto por Miller  
178 (1959), compostos fenólicos segundo Singleton, Orthofer & Lamuela (1999) e o teor proteico.  
179 As dosagens proteicas foram realizadas segundo método proposto por Bradford (1976), no qual,  
180 100 µL das amostras foram adicionadas de 1 mL do reagente de Bradford e após incubação por  
181 15 min em temperatura ambiente. A quantidade de proteína foi determinada por leitura de  
182 absorvância em espectrofotometro a 595 nm. A curva de calibração foi determinada utilizando  
183 Albumina Sérica Bovina (BSASigma®).

### 184   **3       RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### 185   **3.1     Rendimento, composição centesimal, teor de açúcares e cor**

186           O processo para a obtenção da farinha a partir da secagem e moagem das raízes do  
187 algodãozinho-do-campo apresentou rendimento de cerca de 29%, com umidade final de 9.23 g  
188 100 g<sup>-1</sup> (Tabela 1), sendo que a raiz do algodãozinho-do-campo *in natura* apresentou teor de  
189 umidade de 80.51 ± 1.43 g 100 g<sup>-1</sup>.

190           A farinha de raízes de algodãozinho-do-campo apresentou umidade superior a  
191 encontrada em farinhas de batata-doce (2.41 a 5.71 g 100 g<sup>-1</sup>) (Ju, Mu & Sun, 2017). Porém,  
192 apresentou uma atividade de água de 0.349 ± 0.006, valor que lhe confere estabilidade  
193 microbiológica e enzimática. Esta propriedade termodinâmica dos alimentos está relacionada à

194 fugacidade da água do produto e influenciam a velocidade de várias reações bioquímicas e o  
 195 crescimento microbiano (Tadapaneni et al., 2017).

196 Tabela 1. Características físico-químicas da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo  
 197 (*Cochlospermum regium*), em base umida

Componente	Média	Desvio-padrão	C.V. <sup>4</sup>
Umidade <sup>1</sup>	9.23	0.002	0.022
Cinzas <sup>1</sup>	2.76	0.001	0.036
Lipídios <sup>1</sup>	1.44	0.001	0.069
Proteína <sup>1</sup>	2.581	0.084	3.254
Carboidratos totais <sup>1</sup>	83.99	0.088	0.104
Fibra alimentar total <sup>1</sup>	1.817	0.020	1.10
Fibra alimentar insolúvel <sup>1</sup>	1.178	0.017	1.44
Fibra alimentar solúvel <sup>1</sup>	0.639	0.009	1.41
Açúcares solúveis totais <sup>1</sup>	12.32	0.59	4.789
Açúcares solúveis redutores <sup>1</sup>	2.02	0.02	0.990
Valor energético total <sup>2</sup>	14.83	0.80	5.401
Acidez aquo-titulável <sup>3</sup>	12.29	0.19	1.546
pH	6.06	0.04	0.660

198 g 100 g<sup>-1</sup>; <sup>2</sup>J g<sup>-1</sup>; <sup>3</sup>g de ácido gálico 100 g<sup>-1</sup>; <sup>4</sup>Coefficiente de variação

199 Também o conteúdo de cinzas e lipídios da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo  
 200 (Tabela 1) foi superior ao da farinha de batata-doce (1.48-2.19 g 100 g<sup>-1</sup> e 0.18-0.47 g 100 g<sup>-1</sup>,  
 201 respectivamente). Enquanto, o conteúdo de fibra alimentar total, insolúvel e solúvel da farinha  
 202 de algodãozinho-do-campo foi bem inferior ao apresentado pela farinha de batata-doce (20.6-  
 203 28.4 g 100 g<sup>-1</sup>; 14.69-20.8 e 5.8-9.0 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente) (Ju, Mu & Sun, 2017). Quanto  
 204 ao conteúdo proteico, a farinha de algodãozinho do campo apresentou baixo teor (Tabela 1)

205 quando comparada com a farinha de arroz ( $8.4 \pm 0.1 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ) (Ye et al., 2018), farinha de trigo  
206 ( $11.3 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ), e a farinha de batata ( $7.8 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ) (Pu et al., 2017).

207 O teor médio de açúcares solúveis totais da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo  
208 foi de  $12.32 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  (Tabela 1), sendo que destes, 2.02 g foram açúcares com unidades  
209 redutoras. Descontando-se dos carboidratos totais os açúcares solúveis, e o teor de fibra  
210 alimentar total, tem-se uma estimativa do teor de amido de aproximadamente  $69.85 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$   
211 em base úmida, ou  $76.95 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  em base seca. Farinhas de batata-doce apresentam um teor  
212 de amido mais baixo ( $46.3 \text{ a } 55.5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) (Ju, Mu & Sun, 2017). A composição centesimal  
213 da farinha, bem como o conteúdo de compostos antioxidantes, fenólicos e/ou anti-nutricionais  
214 dependem de vários fatores, sendo que a origem botânica, a época de colheita a composição e  
215 a umidade do solo (Hacke et al., 2016).

216 O valor energético de uma porção de farinha de raízes de algodãozinho-do-campo de  
217 100 g da farinha foi de 1.483 kJ (354.53 Cal) (Tabela 1), decorrente principalmente do teor de  
218 carboidratos, componentes com maiores concentrações na farinha. O extrato aquoso desta  
219 farinha apresentou pH levemente ácido, com uma acidez aquo-titulável de 12.29 g ácido gálico  
220 por 100 gramas de amostra. A acidez da farinha do algodãozinho-do-campo pode ser referente  
221 à presença de ácidos orgânicos, principalmente o ácido gálico (Carvalho et al., 2018).

222 A farinha de raízes de algodãozinho-do-campo apresentou valor médio de luminosidade  
223 ( $L^*$ ) de 80.12 (aspecto claro), enquanto o da coordenada de cromaticidade  $a^*$  foi de 4.91 e o  
224 de  $b^*$  de 20.17, apontando uma forte tendencia à coloração amarelo alaranjada. O valor de  
225 croma ( $C^*$ ) foi de 20.75, indicando cor intensa, e o ângulo Hue de  $76.31^\circ$  confirmou o tom  
226 amarelo alaranjado (uma vez que o amarelo puro é de  $90^\circ$  e o vermelho puro  $0^\circ$ ). As  
227 características de cor da farinha podem ser atribuídas às diferenças de pigmentos coloridos que  
228 compõem a farinha, o que, por sua vez, depende da origem biológica e vias metabólicas da

229 planta. Os parâmetros de cor também podem ser atribuídas ao tipo de solo, à temperatura  
230 durante a estação de crescimento e à umidade do solo (Singh et al., 2003).

### 231 **3.2 Solubilidade em água e absorção de água e óleo**

232 O índice de solubilidade em água (ISA) da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo  
233 a temperatura de 28 °C foi de  $12.82 \pm 0.56 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  e o índice de absorção de água (IAA) foi  
234 de  $4.74 \pm 0.14 \text{ g de gel g}^{-1}$ , valores superiores aos apresentados pela farinha de batata doce,  $9.37$   
235  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  e  $3.40 \text{ g de gel g}^{-1}$ , respectivamente (Kusumayanti, Handayani & Santosa, 2015).  
236 Enquanto, Kraithong, Lee e Rawdkuen (2018) reportaram que o ISA da farinha de arroz variou  
237 de 2.97 a 7.05  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ , e o IAA entre 5.44 e 7.14  $\text{g de gel g}^{-1}$ , valores respectivamente inferiores  
238 e superiores ao da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo.

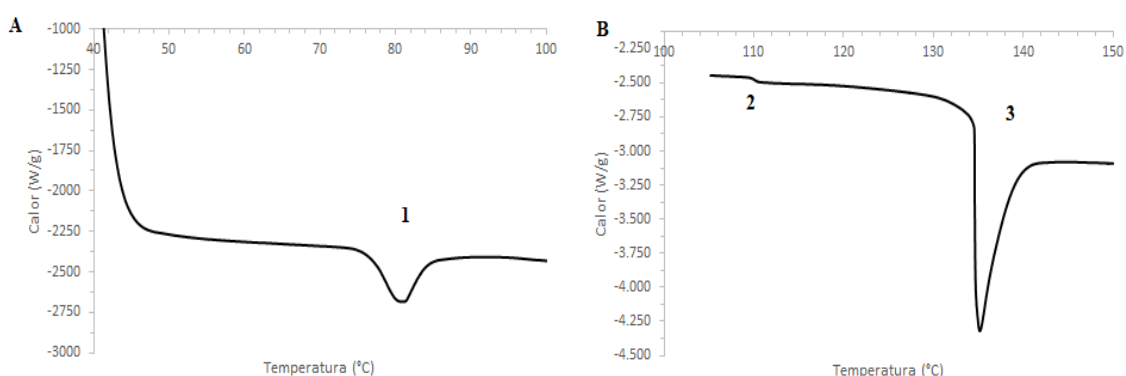
239 O ISA de farinhas é influenciado por fatores, como o conteúdo de lipídios, proteína e  
240 proporção de amilose e amilopectina. A complexação do amido com proteínas ou lipídios pode  
241 reduzir o valor da solubilidade da farinha, devido a diminuição das partes solúveis dentro das  
242 moléculas de amido (Chung et al., 2011; Keawpeng & Meenune, 2012). A baixa capacidade de  
243 solubilização em água da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo pode ser resultado da  
244 presença de complexos proteína-lipídios e amilose-lipídios. A farinha com menor solubilidade  
245 em água favorece o desenvolvimento de produtos, como as massas alimentícias, pois poderia  
246 diminuir as perdas na água durante o cozimento.

247 A maior capacidade de absorção de água de farinha está associada com o maior conteúdo  
248 de amilopectina e o baixo grau de associação intermolecular. Estudos associam a baixa  
249 capacidade de absorção da farinha de batata doce ao alto grau de organização intermolecular e  
250 ao alto conteúdo de amilose (Kumoro et al., 2012), o que sugere que a farinha de algodãozinho-  
251 do-campo contenha uma maior proporção amilopectina/amilose e/ou um baixo grau de  
252 organização intermolecular visto que apresentou uma alta solubilidade em água.

253 O índice de absorção de óleo da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo foi de 2.37  
254  $\pm 0.7 \text{ g g}^{-1}$ , valor similar ao da farinha de trigo ( $2.02 \text{ g g}^{-1}$ ) (Julianti et al., 2017), e maior que os  
255 verificados para a farinha de arroz ( $1.11\text{-}1.37 \text{ g g}^{-1}$ ) (Kraithong, Lee, & Rawdkuen, 2018). O  
256 índice de absorção de óleo é de grande importância, pois o óleo atua como retentor do sabor,  
257 aumenta a sensação bucal dos alimentos, melhora a palatabilidade e o tempo da vida útil,  
258 principalmente em produtos panificados e produtos carneos, onde a absorção de gordura é  
259 desejada (Julianti et al., 2017).

### 260 3.3 Propriedades térmicas

261 O termograma da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo apresentou três picos  
262 endotérmicos. O primeiro (pico 1) apresentou temperatura inicial de gelatinização de  $76.85 \pm$   
263  $0.16 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatura de pico de  $81.03 \pm 0.20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e temperatura final de gelatinização de  $85.21$   
264  $\pm 0.08 \text{ }^\circ\text{C}$  (Figura 1 A).



265  
266 Figura 1. Termograma da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo (*Cochlospermum*  
267 *regium*). A: endoterma de 40 a 100 °C. B: endoterma de 100 a 150 °C

268 A energia necessária para a gelatinização ( $\Delta H$ ) do amido da farinha de raízes de  
269 algodãozinho-do-campo foi de  $9.31 \pm 0.5 \text{ J g}^{-1}$ . O  $\Delta H$  requerido para a gelatinização do amido  
270 indica a presença de regiões cristalinas, atribuídas às frações lineares da amilopectina e frações  
271 de amilose, e zonas amorfas (alta concentração de amilose). Estudos indicam que a presença de  
272 zonas cristalinas aumenta a quantidade de energia necessária para o início da gelatinização do

273 amido, enquanto que zonas amorfas reduzem a quantidade de energia (Jiménez-Hernández et  
274 al., 2007).

275 Embora as propriedades de gelatinização estejam associadas à estrutura cristalina dos  
276 grânulos de amido, a presença de componentes não amiláceos na farinha também pode afetar a  
277 temperatura da gelatinização de amido (Hasjim, Li & Dhital, 2013). Com isso, tem-se que a  
278 alta temperatura do início de gelatinização e a entalpia de gelatinização da farinha de raízes de  
279 algodãozinho-do-campo se deveu à presença de componentes não amiláceos (proteína, açúcares  
280 solúveis e lipídios) e à provável presença de complexos lipídios-amilose.

281 O segundo pico (Figura 1B) é referente à transição vítrea do material ( $T_g$ ), e ocorreu  
282 entre  $109.70 \pm 0.05$  °C e  $110.50 \pm 0.07$  °C, com temperatura média de 110 °C. A  $T_g$  do alimento  
283 desempenha um papel importante no processamento e na estabilidade durante o  
284 armazenamento, pois quando este é submetido a uma temperatura superior à da  $T_g$  o alimento  
285 tem as suas propriedades físico-químicas alteradas. Portanto, o uso de temperaturas abaixo da  
286  $T_g$  favorece a manutenção da qualidade e reduz a degradação térmica do produto (Xin, Zhang  
287 & Adhikari, 2013). O menor teor de umidade dos alimentos favorece o aumento da  $T_g$ , sendo  
288 um bom método para melhorar a preservação dos alimentos (Xu, Li, & Yu, 2014; Zhao et al.,  
289 2017). Com isso, pode-se inferir que a  $T_g$  da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo está  
290 relacionada com o conteúdo de umidade da farinha ( $9.23 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) e a baixa atividade de água  
291 desta, sendo recomendado tratamentos térmicos inferiores a 110 °C no processamento de  
292 possíveis produtos à base deste produto.

293 O terceiro pico (Figura 1B) pode ser resultado da fusão de complexos amilose-lipídios,  
294 com temperatura inicial de  $134.55 \pm 0.07$  °C, de pico de  $135.12 \pm 0.02$  °C e final de  $141.93 \pm$   
295  $0.2$  °C. O pico endotérmico apresentou uma energia de  $25.06 \pm 0.08 \text{ J g}^{-1}$ . Complexos lipídios-  
296 amilose apresentam alta temperatura de fusão, pois apresentam alta estabilidade térmica, sendo

297 que quanto maior o comprimento das cadeias do complexo maior a estabilidade física (Garcia  
298 et al., 2016; Kawai et al., 2012).

### 299 **3.4 Capacidade antioxidante e compostos fenólicos**

300 A farinha de raízes de algodãozinho-do-campo apresentou alta capacidade de  
301 descoloração do DPPH, indicando alto conteúdo de compostos antioxidantes, e compostos  
302 fenólicos foram verificados nos extratos aquoso, alcoólico e metanólico (Tabela 2). Solon et al.  
303 (2012) já haviam reportado a presença de compostos fénolicos nos extratos etanólicos obtidos  
304 da raíz do algodãozinho-do-campo, com a presença de ácido gálico, DKH-glicoside e ácido  
305 elagico, sendo que o ácido gálico apresentou maior concentração (Carvalho et al., 2018).

306 Tabela 2. Capacidade antioxidante e compostos fenólicos na farinha de raízes algodãozinho-  
307 do-campo (*Cochlospermum regium*)

Compostos	Média	Desvio padrão
Capacidade antioxidante <sup>1</sup>	93.36	1.04
Compostos fenólicos <sup>2</sup>		
Extrato aquoso	4.75	0.08
Extrato etanólico	4.13	0.29
Extrato metanólico	7.95	0.89

308 <sup>1</sup>% de descoloração do DPPH; <sup>2</sup>mg eq ácido gálico g matéria seca<sup>-1</sup>

309 A maior concentração de compostos fenólicos verificada nos extratos metanólicos  
310 sugere uma maior afinidade destes compostos com este solvente, provavelmente devido a  
311 polaridade dos compostos fenólicos presentes na farinha (Caldas et al., 2018), sendo pertinente  
312 um aprofundamento no estudo para verificar quais outros compostos são extraídos com o  
313 metanol. Outros estudos também concluíram que extratos metanólicos são mais eficazes na  
314 extração de alguns compostos fenólicos (Pintać et al., 2018; Caldas et al., 2018; Razali et al.,  
315 2012).

### 316 3.5 Fatores antinutricionais e toxicidade

317 A farinha de raízes de algodãozinho-do-campo apresentou em sua composição 3.29 g  
318 Kg<sup>-1</sup> de nitratos e 2.69 g 100 g<sup>-1</sup> de ácido tânico, e alto teor de inibidor de tripsina (Tabela 3).  
319 Compostos tânicos foram reportados em extratos etanólicos obtidos da raiz do algodãozinho-  
320 do-campo, que concluiu que os compostos tânicos da fração eluída com o acetato de etila  
321 mostrou potencial terapêutico considerável contra infecções, o que justifica o uso popular da  
322 raiz desta planta no tratamento de infecções (Carvalho et al., 2018; Solon et al., 2012).

323 Tabela 3. Fatores antinutricioanis na farinha de raízes de algodãozinho-do-campo  
324 (*Cochlospermum regium*), em base seca

Fatores	Média	Desvio-padrão
Nitratos <sup>1</sup>	32.909	1.154
Taninos <sup>2</sup>	2.688	0.011
Inibidor de tripsina <sup>3</sup>	6.545	0.737

325 <sup>1</sup>g Kg<sup>-1</sup>; <sup>2</sup> g ácido tânico 100 g<sup>-1</sup>; <sup>3</sup>unidades de tripsina inibida mg<sup>-1</sup>

326 Alimentos com alto teor de inibidores de tripsina interferem no processo de digestão  
327 de proteínas, dificultando a absorção proteica pelo organismo, pois, a ingestão destes pode  
328 resultar na formação de um complexo tripsina-inibidor de tripsina irreversível (Cabrera-Orozco,  
329 Jiménez-Martínez, & Dávila-Ortiz, 2013). No entanto, inibidores de tripsina podem ser  
330 facilmente inativados com tratamento térmico, pois são proteínas (grupo de enzimas serina  
331 endopeptidases) que perdem sua atividade com a desnaturação, sendo que este depende do  
332 tempo do tratamento, temperatura empregada e o conteúdo de água da amostra. Secagem  
333 convencional com ar forçado e o forneamento são alguns dos métodos comumente usados na  
334 eliminação do inibidor de tripsina (Vagadia, Vanga, & Raghavan, 2017).

335 O teor de nitrato apresentado pela farinha de raízes de algodãozinho-do-campo é bem  
336 inferior (Tabela 3) ao encontrado em hortaliças (1875 ± 302 mg Kg<sup>-1</sup> no espinafre; 2056 ± 234

337 mg Kg<sup>-1</sup> na beterraba; 1066.05 ± 128 mg Kg<sup>-1</sup> na cenoura) (Kreutz et al., 2012). O nível de  
338 nitrato dentro de um determinado vegetal pode variar consideravelmente, e depende da estação  
339 e ano de cultivo, método de crescimento (orgânico versus convencional, protegido vs. ar  
340 aberto), incidência de luz solar, composição e pH do solo, tipo de fertilizantes utilizados, horário  
341 da coleta, método de cocção e preservação, além do procedimento analítico usado para avaliar  
342 a concentração de nitrato (Blekkenhorst et al., 2017; Bondonno et al., 2017).

343 O acúmulo excessivo de nitrato em vegetais torna-se um fator antinutricional, uma vez  
344 que o nitrato apresenta efeitos tóxicos em decorrência formação de metahemoglobina, que se  
345 constitui em um complexo estável da hemoglobina das hemácias do sangue com o nitrito  
346 (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), originado a partir da redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> absorvido dos alimentos pelo organismo, e que  
347 é incapaz de transportar oxigênio para as células. Além disso, o nitrato favorece o aparecimento  
348 de nitrosaminas – complexos de amins secundárias com o nitrito, que são cancerígenos  
349 (Steiner et al., 2017). No entanto, há estudos que relatam que os nitratos em quantidades  
350 pequenas podem apresentar benefícios à saúde (Bedale, Sindelar & Milkowski, 2016;  
351 Bondonno et al., 2017; Ghasemi & Jeddi, 2017), como no caso da farinha de raízes de  
352 algodãozinho-do-campo.

353 O ensaio de toxicidade com o crustáceo *Artemia salina* (Brachiopoda, Artemiidae) é um  
354 método eficiente e rápido para avaliar a contaminação ambiental, a qualidade da água e a  
355 toxicidade de biocidas (Rocha-Filho et al., 2015). O teste consiste na exposição do crustáceo à  
356 substância e ou extrato desejado, seguida da avaliação do número de animais mortos. Os  
357 extratos aquosos da farinha de raízes de algodãozinho-do-campo apresentaram uma taxa de  
358 mortalidade para a *Artemia salina* de 3.33 e 6.66% para as concentrações de 5 e 10%,  
359 respectivamente.

360 Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), são consideradas tóxicas as  
361 substâncias que em concentrações menores que 1000 ppm (0.1%) atingem uma taxa de

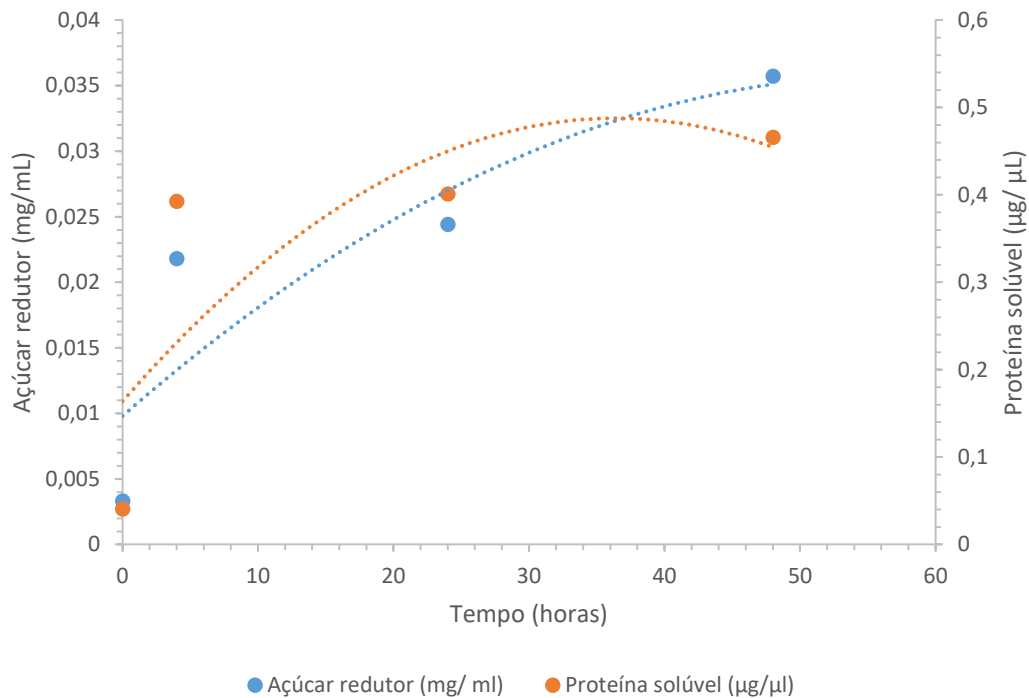
362 mortalidade de 50% da população de *Artemia salina* (Meyer et al., 1982). Portanto, a farinha  
363 estudada apresentou baixa toxicidade, uma vez que é necessária concentração superior a 0.1 %  
364 para matar a metade dos animais testados. A presença de taninos, compostos fenólicos,  
365 inibidores de tripsina e nitratos na farinha de algodãozinho-do-campo podem ser os  
366 responsáveis pela atividade citotóxica e antibacteriana, o que explica sua toxicidade (Batista et  
367 al., 2016; Libralato et al., 2016).

### 368 **3.6 Aplicações**

369 A aplicação da farinha para a produção dos extratos enzimáticos em fermentação semi-  
370 solida não foi eficaz, uma vez que os extratos produzidos apresentaram baixa atividade  
371 enzimática para a xilanase ( $2.11 \pm 0.28 \text{ U mL}^{-1}$ ), e nenhuma atividade enzimática para a enzima  
372 CMCcase. A presença de compostos fenólicos e antioxidantes, bem como fatores  
373 antinutricionais como os taninos, e inibidores de tripsina pode ter influenciado no  
374 desenvolvimento da bactéria *Streptomyces thermocerradoensis* I3, retraindo a produção  
375 enzimática.

376 Além disso, a alta disponibilidade de carboidratos presente na farinha de algodãozinho-  
377 do-campo facilitou o acesso a tais compostos, necessários ao crescimento e desenvolvimento  
378 do microrganismo, fazendo com que não houvesse a necessidade de produção das enzimas  
379 xilanase e CMCcase pelo microrganismo. Portanto, o substrato reduziu a produção enzimática  
380 (Kuusk & Våljamäe, 2017). E a baixa atividade enzimática verificada nos extratos obtidos a  
381 partir da fermentação semissólida pode ter sido resultado da inibição da atividade da xilanase e  
382 CMCcase pela presença dos compostos fenólicos. Pois, os compostos fenólicos têm a capacidade  
383 de se ligar com as proteínas, podendo desativar as enzimas celulolíticas durante a hidrólise da  
384 celulose (González-Bautista et al., 2017; Kim et al., 2015; Ximenes et al., 2010).

385 As soluções contendo a farinha e o extrato enzimático produzido a partir da bactéria  
386 *Streptomyces thermocerradoensis* I3 em cultivo semissólido de farelo de trigo, apresentaram  
387 aumento tanto no teor de açúcares redutores, quanto no teor proteico (Figura 2).



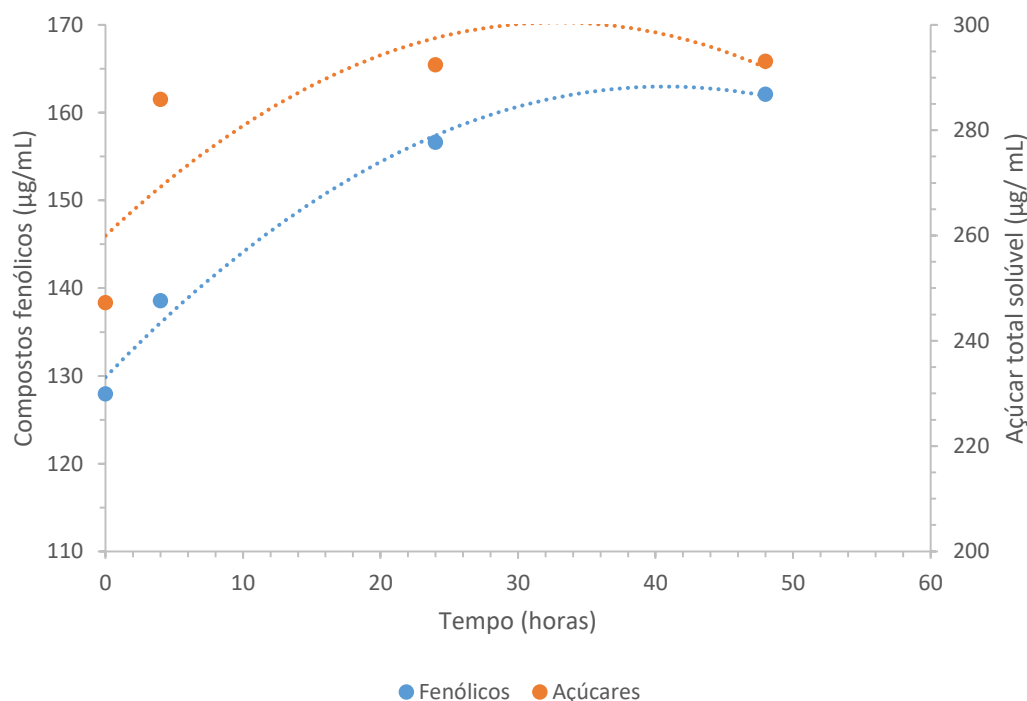
388

389 Figura 2. Açúcares redutores e proteínas na solução de farinha de raízes de algodãozinho-do-  
390 campo durante o tempo de exposição ao extrato enzimático produzido a partir da bactéria  
391 *Streptomyces thermocerradoensis* I3 em cultivo semissólido de farelo de trigo

392 O aumento do conteúdo de açúcar se deveu à quebra dos polissacarídeos em açúcares  
393 redutores (Khawla et al., 2014). Assim, as enzimas presentes no extrato foram capazes de  
394 degradar compostos presentes na farinha. No entanto, o aumento do teor de açúcar redutor não  
395 foi o suficiente para a posterior aplicação dessa farinha para a produção de fermentado  
396 alcoólico.

397 A concentração de açúcares fermentecíveis produzidos pode ter sido influenciada pelo  
398 pH da solução, visto que a hidrólise enzimática pode ser reduzida ou aumentada em função de  
399 alguns parâmetros, dentre eles o pH (Pereira et al., 2017). E nesta pesquisa, apenas a

400 temperatura do extrato enzimático utilizado foi otimizada (50 °C). O aumento do teor de  
401 proteínas solúveis pode ter sido resultado da liberação de complexos proteicos associados a  
402 polissacarídeos e a compostos fenólicos, que foram liberados com a hidrólise (Domínguez-  
403 Rodríguez, Marina, & Plaza, 2017). A hidrólise enzimática também promoveu o aumento de  
404 cerca de 30% dos compostos fenólicos na farinha com 96 h de exposição ao extrato enzimático  
405 (Figura 3).



406

407 Figura 3. Açúcares totais e compostos fenólicos na solução de farinha de algodãozinho-do-  
408 campo durante o tempo de exposição ao extrato enzimático produzido a partir da bactéria  
409 *Streptomyces thermocerradoensis* I3 em cultivo semi-sólido de farelo de trigo

410 Os compostos fenólicos são metabólitos secundários dos vegetais que podem estar  
411 complexados com componentes da parede celular, proteínas alimentares, polissacarídeos,  
412 constituintes de fibras e lípidios. Os compostos fenólicos complexados com essas  
413 macromoléculas normalmente não são extraídos com os solventes utilizados na preparação dos  
414 extratos para quantificação dos compostos fenólicos, bem como não são quantificados na

415 análise quantitativa de fenólicos, pois eles podem ser retidos na matriz de alimentos inacessíveis  
416 aos solventes, devido a diferentes interações com a matriz da planta (Cheng et al., 2014;  
417 Jakobek, 2015; Pérez-Jiménez, Díaz-Rubio, & Saura-Calixto, 2013).

418 Assim, após uma extração convencional, os compostos fenólicos ligados a  
419 macromoléculas da parede celular permanecem nos resíduos correspondentes (Domínguez-  
420 Rodríguez, Marina, & Plaza, 2017). Logo, pode-se inferir que o aumento dos compostos  
421 fenólicos na farinha de raízes de algodãozinho-do-campo que sofreu a adição do extrato  
422 enzimático se deveu à hidrólise de polisacarídeos e consequente liberação dos compostos  
423 fenólicos que estavam complexados a estes.

424 A aplicação de extrato enzimático na farinha de algodãozinho-do-campo, não foi  
425 suficiente para torná-la viável para a produção de fermentados alcoólicos, no entanto, contribuiu  
426 para o enriquecimento da farinha, com um aumento no conteúdo proteico, açúcares e compostos  
427 fenólicos, podendo ser recomendado como pré-tratamento da farinha.

#### 428 **4 CONCLUSÃO**

429 A farinha de raízes do algodãozinho-do-campo possui características físicas, químicas,  
430 tecnológicas e nutricionais peculiares, com potencial para ser utilizada pela indústria de  
431 alimentos, não sendo substrato ideal para a produção de extratos enzimáticos a partir do cultivo  
432 semissólido com a bactéria *Streptomyces thermocerradoensis* I3, e nem indicada para a  
433 produção de fermentados alcoólicos.

#### 434 **REFERÊNCIAS**

- 435 Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin Junior, L. (1969). Gelatinization of  
436 Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4-12.
- 437 AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of  
438 Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg: AOAC International. 2012.

- 439 Batista, K. D. A., Reis, L. G. V. D., Garcia, L. F., Fernandes, K. F., & Rodriguez, A. G.  
440 (2016). Thermal inactivation studies on toxic seeds from fruits of the Brazilian Central Plain.  
441 *Food Science and Technology*, 36, 577-582.
- 442 Bedale, W., Sindelar, J. J., & Milkowski, A. L. (2016). Dietary nitrate and nitrite: Benefits,  
443 risks, and evolving perceptions. *Meat Science*, 120, 85-92.
- 444 Blekkenhorst, L.C., Prince, R.L., Ward, N.C., Croft, K.D., Lewis, J.R., Devine, A.,vShinde,  
445 S., Woodman, R.J., Hodgson, J.M., Bondonno, C.P., (2017). Development of a reference  
446 database for assessing dietary nitrate in vegetables. *Molecular Nutrition & Food Research*,  
447 61, 1-13.
- 448 Bondonno, C. P., Blekkenhorst, L. C., Liu, A. H., Bondonno, N. P., Ward, N. C., Croft, K. D.,  
449 & Hodgson, J. M. (2017). Vegetable-derived bioactive nitrate and cardiovascular health.  
450 *Molecular Aspects of Medicine*. In Press.
- 451 Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram  
452 quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*.  
453 72, 248-254.
- 454 Brand-Wiliams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. Use of a free radical method to evaluate  
455 antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- 456 Cabrera-Orozco A, Jiménez-Martínez C, Dávila-Ortiz G. (2013). Soybean: Non-nutritional  
457 factors and their biological functionality. In: El-Shemy H.A, ed. *Soybean-Bioactive*  
458 *compounds*. InTech, 2013, 556 p.
- 459 Caldas, T. W., Mazza, K. E. L., Teles, A. S. C., Mattos, G. N., Brígida, A. I. S., Conte-Junior,  
460 C. A., & Tonon, R. V. (2018). Phenolic compounds recovery from grape skin using  
461 conventional and non-conventional extraction methods. *Industrial Crops and Products*, 111,  
462 86-91.
- 463 Carvalho, R. S., Carollo, C. A., de Magalhães, J. C., Palumbo, J. M. C., Boaretto, A. G.,  
464 Nunes e Sá, I. C., & Ferreira, J. M. S. (2018). Antibacterial and antifungal activities of  
465 phenolic compound-enriched ethyl acetate fraction from *Cochlospermum regium* (mart. Et.  
466 Schr.) Pilger roots: Mechanisms of action and synergism with tannin and gallic acid. *South*  
467 *African Journal of Botany*, 114, 181-187.
- 468 Cataldo, D. A., Haroon, M., Schrader, L. E. & Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric  
469 determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil*  
470 *Science and Plant Analysis*, 6, 71-80.
- 471 Cheng, A., H. Yan, C., Han, X., Chen, W., Wang, C., Xie, J., Qu, Z., Gong, X. S., (2014).  
472 Acid and alkaline hydrolysis extraction of non-extractable polyphenols in blueberries:  
473 optimisation by response surface methodology, *Czech Journal of Food Sciences*, 32, 218–  
474 225.

- 475 Chung, H. J., Liu, Q., Lee, L., & Wei, D. (2011). Relationship between the structure,  
476 physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose  
477 contents. *Food Hydrocolloid*, 25, 968-975.
- 478 Domínguez-Rodríguez, G., Marina, M. L., & Plaza, M. (2017). Strategies for the extraction  
479 and analysis of non-extractable polyphenols from plants. *Journal of Chromatography A*,  
480 1514, 1-15.
- 481 Gama, Aline Rodrigues. Produção e caracterização de celulasas e xilanases produzidas por  
482 *Streptomyces thermocerradoensis* i3 em fermentação semi-sólida. 84f. (Dissertação)-Instituto  
483 de parasitologia tropical e saúde publica, Universidade federal de goiás, goiânia, 2016.
- 484 Garcia, M. C., Pereira-da-Silva, M. A., Taboga, S., & Franco, C. M. L. (2016). Structural  
485 characterization of complexes prepared with glycerol monostearate and maize starches with  
486 different amylose contents. *Carbohydrate Polymers*, 148, 371-379.
- 487 Gendy M, & Bondkly A. (2014). Optimization of Solid State Fermentation and Leaching  
488 Process Parameters for Improvement Xylanase Production by Endophytic *Streptomyces* sp.  
489 ESRAA-301097. *Microbial & Biochemical Technology*, 6.
- 490 Ghasemi, A., & Jeddi, S. (2017). Anti-obesity and anti-diabetic effects of nitrate and nitrite.  
491 *Nitric Oxide*, 70, 9-24.
- 492 González-Bautista, E., Santana-Morales, J. C., Ríos-Fránquez, F. J., Poggi-Varaldo, H. M.,  
493 Ramos-Valdivia, A. C., Cristiani-Urbina, E., & Ponce-Noyola, T. (2017). Phenolic  
494 compounds inhibit cellulase and xylanase activities of *Cellulomonas flavigena* PR-22 during  
495 saccharification of sugarcane bagasse. *Fuel*, 196, 32-35.
- 496 Hacke, A. C. M., Granato, D., Maciel, L. G., Weinert, P. L., Prado-Silva, L. d., Alvarenga, V.  
497 O., & Rosso, N. D. (2016). Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) seeds: Chemical  
498 characterization and extraction of antioxidant and antimicrobial compounds. *Journal Food  
499 Science*, 81(9).
- 500 Hasjim, J., Li, E., & Dhital, S. (2013). Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures  
501 on gelatinization and pasting properties. *Carbohydrate Polymers*, 92, 682-690.
- 502 Jakobek, L. (2015). Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food  
503 Chemistry*, 175, 556-567.
- 504 Ju, D., Mu, T.-h., & Sun, H.-n. (2017). Sweet potato and potato residual flours as potential  
505 nutritional and healthy food material. *Journal of Integrative Agriculture*, 16, 2632-2645.
- 506 Julianti, E., Rusmarilin, H., Ridwansyah, & Yusraini, E. (2017). Functional and rheological  
507 properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum. *Journal of  
508 the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16, 171-177.
- 509 Kakade, M. L.; Rackis, J. J.; Mcghee, J. E. & Puski, G. (1974). Determination of trypsin  
510 inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal  
511 Chemistry*, 51, 376-382.

- 512 Kawai, K., Takato, S., Sasaki, T., & Kajiwara, K. (2012). Complex formation, thermal  
513 properties, and in-vitro digestibility of gelatinized potato starch–fatty acid mixtures. *Food*  
514 *Hydrocolloids*, 27(1), 228-234.
- 515 Keawpeng, I., & Meenune, M., 2012. Physicochemical properties of organic and inorganic  
516 Phatthalung Sungyod rice. *International Food Research Journal*, 19, 857-861.
- 517 Khawla, B. J., Sameh, M., Imen, G., Donyes, F., Dhouha, G., Raoudha, E. G., & Oumèma,  
518 N.-E. (2014). Potato peel as feedstock for bioethanol production: A comparison of acidic and  
519 enzymatic hydrolysis. *Industrial Crops and Products*, 52, 144-149.
- 520 Kim Y, Kreke T, Ko J. K., & Ladisch M. (2015). Hydrolysis-determining substrate  
521 characteristics in liquid hot water pretreated hardwood. *Biotechnological Bioengineering*,  
522 112, 677–87.
- 523 Knob, A., Fortkamp, D., Prolo, T., Izidoro, S. C., & Almeida, J. M. (2014). Agro-residues as  
524 alternative for xylanase production by filamentous fungi. *BioResources*, 9, 5738-5773.
- 525 Kraithong, S., Lee, S., & Rawdkuen, S. (2018). Physicochemical and functional properties of  
526 Thai organic rice flour. *Journal of Cereal Science*, 79, 259-266.
- 527 Kreutz, D. H., Weizenmann, M., Maciel, M. J., & de Souza, C. F. V. (2012). Avaliação das  
528 Concentrações de Nitrato e Nitrito em Hortaliças Produzidas em Cultivos Convencional e  
529 Orgânico na Região do Vale do Taquari–RS. *Journal of Health Sciences*, 14(2), 371-382.
- 530 Kumoro, A.C., Retnowati, D.S., Budiyati, C.S., Manurung, T., & Siswanto. (2012). Water  
531 Solubility, Swelling and Gelatinization Properties of Raw and Ginger Oil Modified Gadung  
532 (*Dioscoreahispida Dennst*) Flour. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and*  
533 *Technology*, 4, 2854-2860.
- 534 Kunitz, M. (1947). Crystalline soybean trypsin inhibitor; II. General properties. *The Journal*  
535 *of General Physiology*. *Baltimore*, 30, 291-310.
- 536 Kusumayanti, H., Handayani, N. A., & Santosa, H. (2015). Swelling Power and Water  
537 Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 164-  
538 167.
- 539 Kuusk, S., & Våljamäe, P. (2017). When substrate inhibits and inhibitor activates implications  
540 of  $\beta$ -glucosidases. *Biotechnology for Biofuels*, 10, 7 - 15.
- 541 Libralato, G., Prato, E., Migliore, L., Cicero, A. M., & Manfra, L. (2016). A review of  
542 toxicity testing protocols and endpoints with *Artêmia* spp. *Ecological Indicators*, 69, 35-49.
- 543 Meyer, B. N., Ferrigni, N. R., Putnan, J. E., Jacobsen, L. B., Nichols, D. E., Mcl. Aughlin, J.  
544 (1982). Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Journal of*  
545 *Medical Plant Research*, 45, 31-34.
- 546 Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.  
547 *Analytical Chemistry*, 31, 426-428.

- 548 Nader, T. T., Coppede, J. S., Amaral, L. A., Fachin, A. L., Ferreira, L. M., & Pereira, A. M. S.  
549 (2010). Avaliação in vitro da eficácia de extratos de plantas medicinais do Cerrado frente  
550 *Staphylococcus aureus* isolado de diferentes fontes de propriedades leiteiras. *Arquivos do*  
551 *Instituto Biológico*, 2, 429-433.
- 552 Nunes, G. P. L., Silva, M. F., Resende, U. M. L. & Siqueira, J. M. (2003). Plantas medicinais  
553 comercializadas por raizeiros no Centro de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. *Revista*  
554 *Brasileira Farmacognosia*, 13, 83-92.
- 555 Pereira, C. R., Resende, J. T. V., Guerra, E. P., Lima, V. A., Martins, M. D., & Knob, A.  
556 (2017). Enzymatic conversion of sweet potato granular starch into fermentable sugars:  
557 Feasibility of sweet potato peel as alternative substrate for  $\alpha$ -amylase production. *Biocatalysis*  
558 *and Agricultural Biotechnology*, 11, 231-238.
- 559 Pérez-Jiménez, J.; M.E. Díaz-Rubio, F. Saura-Calixto, N. (2013). Non-extractable  
560 polyphenols, a major dietary antioxidant: occurrence, metabolic fate and health effects.  
561 *Nutrition Research Reviews*, 26, 118–129.
- 562 Pintać, D., Majkić, T., Torović, L., Orčić, D., Beara, I., Simin, N., & Lesjak, M. (2018).  
563 Solvent selection for efficient extraction of bioactive compounds from grape pomace.  
564 *Industrial Crops and Products*, 111, 379-390.
- 565 Polizeli, M., Rizzatti, A. C. S., Monti, R., Terenzi, H. F., Jorge, J. A., Amorim, D. S. (2005).  
566 Xylanases from fungi: properties and industrial applications. *Applied Microbiology and*  
567 *Biotechnology*. 67, 577–591.
- 568 Pu, H., Wei, J., Wang, L., Huang, J., Chen, X., Luo, C., & Zhang, H. (2017). Effects of  
569 potato/wheat flours ratio on mixing properties of dough and quality of noodles. *Journal of*  
570 *Cereal Science*, 76, 236-242.
- 571 Ramada M. H. S., Lopes, F. A. C., Ulhoa, C. J., & Silva, R. N. (2010). Optimized microplate  
572  $\beta$ -1, 3-glucanase assay system for *Trichoderma* spp. Screening. *Journal of Microbiological*  
573 *Methods*, 81, 6-10, 2010.
- 574 Razali, N., Mat-Junit, S., Abdul-Muthalib, A. F., Subramaniam, S., & Abdul-Aziz, A. (2012).  
575 Effects of various solvents on the extraction of antioxidant phenolics from the leaves, seeds,  
576 veins and skins of *Tamarindus indica* L. *Food Chemistry*, 131(2), 441-448.
- 577 Rocha-Filho, C. A. A., Albuquerque, L. P., Silva, L. R. S., Silva, P. C. B., Coelho, L. C. B.  
578 B., Navarro, D. M. A. F., & Paiva, P. M. G. (2015). Assessment of toxicity of *Moringa*  
579 *oleifera* flower extract to *Biomphalaria glabrata*, *Schistosoma mansoni* and *Artêmia salina*.  
580 *Chemosphere*, 132, 188-192.
- 581 Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J.A., & Saura-Calixto, F. A. (1998). Procedure to measure the  
582 antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76,  
583 270-276.
- 584 Singh, J., Singh, N., Sharma, T. R., & Saxena, S. K. (2003). Physicochemical, rheological and  
585 cookie making properties of corn and potato flours. *Food Chemistry*, 83, 387-393.

- 586 Singleton, V. L.; Orthofer, R.; Lamuela, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other  
587 oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in*  
588 *Enzymology*, 299, 152-178.
- 589 Solon, S., Carollo, C.A., Brandão, L. F. G., Macedo, C. S., Klein, A., Dias-Júnior, C. A., &  
590 Siqueira, J. M. (2012). Phenolic derivatives and other chemical compounds from  
591 *Cochlospermum regium*. *Química Nova*, 35, 1169-1172.
- 592 Steiner, F., Zoz, T., Ruppenthal, V., & de Moraes Echer, M. (2017). Acúmulo de nitrato e  
593 produção de chicória (*Cichorium endivia* L.) submetida à adubação nitrogenada sob cultivo  
594 protegido. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, 9(1), 332-341.
- 595 Tadapaneni, R. K., Yang, R., Carter, B., & Tang, J. (2017). A new method to determine the  
596 water activity and the net isosteric heats of sorption for low moisture foods at elevated  
597 temperatures. *Food Research International*, 102(Supplement C), 203-212.
- 598 Vagadia, B. H., Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2017). Inactivation methods of soybean  
599 trypsin inhibitor – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 115-125.
- 600 Van, D. J. S., & Pletschk, B. I. (2012). A review of lignocellulose bioconversion using  
601 enzymatic hydrolysis and synergistic cooperation between enzymes—factors affecting  
602 enzymes, conversion and synergy. *Biotechnology Advance*, 30, 1458– 1480.
- 603 Ximenes E, Kim Y, Mosier N, Dien B, Ladisch M. (2010). Inhibition of cellulases by phenols.  
604 *Enzyme Microbiological Technology*, 46, 170–6.
- 605 Xin, Y., Zhang, M., & Adhikari, B. (2013). 'Effect of trehalose and ultrasound-assisted  
606 osmotic dehydration on the state of water and glass transition temperature of broccoli  
607 (*Brassica oleracea* L. var. botrytis L.)', *Journal of Food Engineering*, 119, 640-647.
- 608 Xu, C., Li, Y., & Yu, H. (2014). Effect of far-infrared drying on the water state and glass  
609 transition temperature in carrots. *Journal of Food Engineering*, 136, 42-47.
- 610 Ye, J., Hu, X., Luo, S., McClements, D. J., Liang, L., & Liu, C. (2018). Effect of endogenous  
611 proteins and lipids on starch digestibility in rice flour. *Food Research International*, 106, 404-  
612 409.
- 613 Zhao, Y., Jiang, Y., Zheng, B., Zhuang, W., Zheng, Y., & Tian, Y. (2017). Influence of  
614 microwave vacuum drying on glass transition temperature, gelatinization temperature,  
615 physical and chemical qualities of lotus seeds. *Food Chemistry*, 228, 167-176.
- 616 Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P. & Chang, Y. K. (2009). Physicochemical, rheological,  
617 morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn  
618 starches. *Ciência Tecnologia Alimentos*, 29, 748-753.

## CAPÍTULO 7

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS, TOXICOLÓGICAS E APLICAÇÃO DA FARINHA DE BATATA-DE-TEIÚ (*Jatropha elliptica*)

**Resumo:** *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg é uma planta herbácea subarborescente, conhecida popularmente como “batata-de-teiú”, muito utilizada na medicina popular como purgativo e no tratamento de picadas de cobra, e apresentar atividade antimicrobiana, sendo esta atribuída à presença de saponinas. Não há na literatura científica dados sobre a caracterização físico-química, ou compostos anti-nutricionais, bem como não há relatos sobre a aplicação desta raiz na produção de farinhas com finalidade alimentícia. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo contribuir com novos conhecimentos sobre o rendimento da produção da farinha de raízes de batata-de-teiú, caracterizar suas propriedades físicas, químicas e tecnológicas, fatores anti-nutricionais e toxicológicos, bem como avaliar a aplicação da farinha na produção de extratos enzimáticos a partir da fermentação semissólida com a bactéria *Streptomyces thermocerradoensis* I3. O rendimento da produção da farinha foi cerca de 34.29%, com teor de carboidratos de 77.55 g 100 g<sup>-1</sup> (b.u.), altos teores de fibras alimentar total, insolúvel e solúvel, proteína e cinzas, e baixo teor de lipídios, sendo o produto obtido um pó alaranjado. A farinha apresentou índice de solubilidade em água de 15.74 g g<sup>-1</sup>, índice de absorção de água de 4.91 g gel g<sup>-1</sup>, e de óleo de 2.13 g precipitado g<sup>-1</sup>. O termograma da farinha apresentou três picos endotérmicos, sendo que a temperatura inicial de gelatinização do amido da farinha foi de 72.57 °C, de pico de 77.42 °C e a final 87.76 °C. O segundo pico foi característico de transição vitrea com temperatura de 106.55 °C, sendo o ultimo pico relacionado com complexos proteicos e lipídio-amilose, com temperatura inicial de 131.45 °C, pico de 131.77 °C e final de 141.85 °C. A farinha apresentou potencial antioxidante, maior concentração de compostos fenólicos em extratos aquosos e metanólicos, alta concentração de nitratos, taninos e inibidores de tripsina,

25 e não foi adequada para a produção de extratos enzimáticos de *Streptomyces*  
26 *thermocerradoensis* I3. Conclui-se que a farinha possui características físicas, químicas,  
27 tecnológicas e toxicológicas peculiares, sendo indicado o aprofundamento dos estudos, devido a  
28 presença dos fatores antinutricionais e da toxicidade apresentada no teste com *Artêmia salina*,  
29 para o posterior uso na indústria de alimentos.

30 **Palavras chave:** Termograma, nitratos, inibidor de tripsina, hidrólise enzimática.

## 31 1 INTRODUÇÃO

32 A família Euphorbiaceae destaca-se como uma das maiores em número de espécies,  
33 apresentando grande complexidade e diversidade. Oferece grande potencial de aproveitamento,  
34 com mais de 1100 espécies e grande destaque em atividades econômicas, como na alimentação  
35 humana e na produção de medicamentos. *Jatropha elliptica* (Pohl) Muell Arg é uma planta  
36 herbácea subarborescente, conhecida popularmente como “batata-de-teiú”, “purga-de-lagarto” ou  
37 “erva-de-teiú”, e de ocorrência natural no cerrado dos Estados de GO, MA, MT, MS, PA e no  
38 DF. É uma planta de característica sazonal, podendo ser observada principalmente durante a  
39 transição da estação seca para chuvosa, e apresenta tuberização das raízes (Trindade, 2015).

40 A avaliação dos constituintes químicos das plantas do gênero *Jatropha* resultou no  
41 isolamento de alcalóides, peptídeos cíclicos, terpenos (monoterpenos, sesquiterpenos,  
42 diterpenos e triterpenos), flavonóides, ligninas, cumarinas, glicosídeo não cianogênico,  
43 floroglucínóis, ésteres ferulados, fenólicos e ácidos graxos (Sabandar et al., 2013).

44 O extrato etanólico de *Jatropha elliptica* tem sido amplamente utilizado com as mais  
45 diversas aplicações pela medicina popular, como purgativo e no tratamento de picadas de cobra.  
46 Ferreira-Rodrigues et al. (2016) observaram que *Jatropha elliptica* apresenta alto teor de  
47 compostos fenólicos. Estes são responsáveis pelas propriedades medicinais antiinflamatórias,  
48 que podem neutralizar a neurotoxicidade *in vitro* e a miotoxicidade do veneno de *Bothrops*

49 *jararacussu*. A batata-de-teiú também apresenta atividade antimicrobiana, sendo esta atribuída  
50 à presença de saponinas, que causam a ruptura celular em comunidades microbianas. Saponinas  
51 são compostos de glicosídeos esteroidais ou triterpênicos com alta capacidade de formação de  
52 espuma. A atividade antimicrobiana do extrato foi comprovada contra *E. coli* e cepas resistentes  
53 de *S. aureus*. Extratos de *Jatropha elliptica* apresentam piridina penta-substituída, composto  
54 que potencializa a atividade do ciprofloxacino e do norfloxacino, compostos com ação  
55 bacteriostática (Marquez et al., 2005).

56 Além disso, a planta apresenta potencial para consumo humano, já que seu extrato não  
57 apresentou glicosídeos cianogênicos ou atividade hemolítica (Ferreira-Rodrigues et al., 2016).  
58 No entanto, não há relatos na literatura sobre a utilização ou características físico-químicas da  
59 farinha de raízes de batata-de-teiú. Uma das possibilidades de emprego da farinha é a sua  
60 utilização em processos fermentativos semi-sólidos para a produção de extratos enzimáticos.  
61 Outra possibilidade é a hidrólise enzimática, método de modificação, que quando empregado  
62 em farinhas contribui para o enriquecimento desta, uma vez que durante a hidrólise novos  
63 produtos são formados.

64 Esta pesquisa teve como objetivo contribuir com novos conhecimentos sobre o  
65 rendimento da produção da farinha de raízes de batata-de-teiú, caracterizar suas propriedades  
66 físicas, químicas e tecnológicas, determinar os fatores anti-nutricionais e toxicológicos, bem  
67 como avaliar a eficiência da aplicação da farinha na produção de extratos enzimáticos a partir  
68 da fermentação semissólida com a bactéria *Streptomyces thermocerradoensis* I3, e da hidrólise  
69 da farinha, visando verificar o potencial desta para o uso na indústria alimentícia.

## 70 **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 71 **2.1 Material e processamento das farinhas**

72 As raízes de *Jatropha elíptica* foram coletadas no município de Mara Rosa-GO (-  
73 14.05938, -49.369186), em uma região de pastagem, no mês de julho do ano de 2016. As raízes  
74 foram dispostas em embalagens de polietileno de baixa densidade e mantidas a  $6 \pm 1$  °C durante  
75 o transporte até o momento do processamento. No laboratório, as raízes foram lavadas,  
76 sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio a 200 mg 100 g<sup>-1</sup> por 15 min, descascadas,  
77 pesadas, cortadas em rodela, e secas em estufa de circulação de ar a 35 °C por 48 h. O material  
78 desidratado passou pelo moinho de facas, equipado com peneiras com orifícios de 2.0 mm.

## 79 **2.2 Características físico-químicas**

80 A umidade foi quantificada em estufa a 105 °C até peso constante, as cinzas por pesagem  
81 após incineração a 550 °C em forno mufla, o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl  
82 que multiplicado pelo fator 6.25 resultou no teor de proteína bruta, os lipídeos por extração  
83 com éter de petróleo P.A. em aparelho Soxhlet, a fibra alimentar total pelo método enzimico-  
84 gravimétrico, e os carboidratos totais por diferença, conforme as recomendações da AOAC  
85 (2012). O valor energético (kJ g<sup>-1</sup>) foi calculado multiplicando-se a massa (g) dos carboidratos  
86 digeríveis (carboidratos totais menos fibras alimentares insolúveis) e proteína por 4, e a massa  
87 dos lipídeos por 9. Os teores de açúcares solúveis totais redutores e não redutores foram  
88 determinados segundo Miller (1959), cujo princípio é a redução do ácido 3,5-dinitro salicílico  
89 a ácido 3-amino-5-nitro salicílico, leitura em espectrofotômetro a 540 nm, usando solução de  
90 glicose P.A. como padrão. A atividade de água (Aa) foi lida em equipamento digital (AquaLab,  
91 Series 3TE, Pullman, USA), acoplado a um banho termostático a 25 °C, o pH em potenciômetro,  
92 com inserção do eletrodo diretamente em 5 g de amostra diluída em 100 mL de água, a acidez  
93 total por titulação com NaOH 0.1 N, e os sólidos solúveis totais (°Brix) em refratômetro digital,  
94 conforme recomendações da AOAC (2012). Todas as análises foram realizadas em três lotes  
95 de farinha (repetições) e em triplicata.

### 96 **2.3 Cor**

97 Os parâmetros instrumentais de cor foram analisados através de colorímetro (Bankinh  
98 Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA), e a partir dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ , foram calculados a  
99 croma (saturação da cor) e o ângulo Hue (tonalidade ou matriz).

### 100 **2.4 Solubilidade em água e absorção de água e óleo**

101 Os índices de solubilidade em água (ISA), de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO)  
102 foram determinados segundo Anderson et al. (1969), com a água sendo substituída por óleo  
103 para o IAO.

### 104 **2.5 Propriedades térmicas (DSC)**

105 Amostras de 2 mg (b.s) foram pesadas em placas de alumínio próprias para o  
106 calorímetro diferencial de varredura (TA Instruments, Q20, New Castle, UK) segundo  
107 metodologia descrita por Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009). Água destilada (6  $\mu\text{L}$ ) foi  
108 adicionada aos porta amostras, que foram selados em prensa específica. Em seguida, os mesmos  
109 foram mantidos por 12 h a temperatura ambiente, e em seguida aquecidos no intervalo entre 40  
110 e 120  $^{\circ}\text{C}$ , a uma taxa de aquecimento de 10  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ . A partir da curva obtida, as temperaturas  
111 no início ( $T_0$ ), no pico ( $T_p$ ) e final ( $T_c$ ) da gelatinização, e a entalpia de gelatinização foram  
112 calculadas, assim como a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), usando o aplicativo TA  
113 Universal Analysis (TA Instruments, New Castle, UK).

### 114 **2.6 Compostos fenólicos e capacidade antioxidante**

115 O teor de compostos fenólicos totais foi determinado com o reagente de Folin-  
116 Ciocalteau, em espectrofotômetro a 740 nm. Os dados foram expressos em miliequivalente de  
117 ácido gálico por 100 g de amostra (Waterhouse, 2002). A determinação da capacidade  
118 antioxidante foi realizada pelo método DPPH (Brand-Williams et al., 1995), baseado na captura  
119 do radical DPPH (2,2-difenil-1picril-hidrazil) por antioxidantes, produzindo um decréscimo da  
120 absorvância a 515 nm.

## 121 **2.7 Ensaio de toxicidade com *Artêmia Salina***

122 Um ensaio de toxicidade com *Artêmia salina* foi realizado segundo a metodologia de  
123 Meyer et al. (1982), com adaptações. Preparou-se uma solução com sal marinho na  
124 concentração de 30 g L<sup>-1</sup>, ajustando o pH entre 8.0 e 9.0 com solução 0,1 mol L<sup>-1</sup> de NaOH.  
125 Esta foi utilizada para eclosão dos ovos após 48 h, sob iluminação e aeração constante a 25 °C,  
126 e no preparo das demais diluições. Dez larvas foram transferidas para tubos contendo a solução  
127 salina em concentrações entre 0 a 100 µL de extrato mL<sup>-1</sup>. O ensaio foi realizado em três  
128 amostras (repetições), sendo a contagem dos animais mortos e vivos realizada após 24 h.

## 129 **2.8 Fatores antinutricionais**

130 A atividade do inibidor de tripsina foi determinada por método espectrofotométrico  
131 descrito por Kakade et al. (1974), e os resultados foram expressos em UTI mg<sup>-1</sup>. Uma unidade  
132 de tripsina (UT) foi definida como um aumento de 0.01 unidades de absorbância a 410 nm por  
133 10 mL da mistura de reações. A determinação do teor de nitratos foi realizada por método  
134 colorimétrico conforme Cataldo et al. (1975). O teor de taninos foi quantificado conforme  
135 método colorimétrico recomendado pela AOAC (2012). A intensidade de cor azul produzida  
136 na redução do reagente de Folin-Denis por taninos foi medida em espectrofotômetro a 760 nm.  
137 Os resultados foram expressos em g de ácido tânico por 100 g de amostra.

## 138 **2.9 Ensaios de aplicação da farinha**

139 A farinha foi utilizada como substrato na fermentação semi-sólida com a bactéria  
140 *Streptomyces thermocerradoencis* I3, para a obtenção do extrato enzimático rico em celulase e  
141 CMCase. A farinha também foi submetida ao processo de hidrólise enzimática com o extrato  
142 enzimático obtido da fermentação semissólida do farelo de trigo para estimar a capacidade das  
143 enzimas produzidas. Todos os ensaios foram realizados em três amostras (repetições).

144 A obtenção dos extratos enzimáticos produzidos com a fermentação semi-sólida da  
145 farinha de raízes do algodãozinho-do-campo com a bactéria *Streptomyces*

146 *thermocerradoensis*I3, foi realizada conforme Gama (2016). Os extratos obtidos foram  
147 avaliados quanto à atividade enzimática para a xilanase e CMCase. As dosagens da atividade  
148 de endoglucanase testada em carboximetilcelulose (CMC) em micro-ensaio foi realizada de  
149 acordo com Ramada et al. (2010). A atividade enzimática de xilanase foi determinada  
150 utilizando-se como substrato soluções de xilana bechwood (Sigma®) 1% (p/v). A atividade foi  
151 determinada em micro-ensaio, adicionando-se 10 µL de amostra e 90 µL da solução de xilana  
152 1%. A solução foi incubada a 50 °C por 5 min, seguido da quantificação de açúcares redutores  
153 pelo método de ADNS (MILLER, 1959). A curva padrão de xilose foi determinada com  
154 concentrações de 0.3 a 4.2 mg mL<sup>-1</sup>. Na hidrólise enzimática, soluções de 100 mL a 1% (p/v)  
155 da farinha com pH ajustado para 6.0 (tampão fosfato pH 6.0) foram acrescidas de 1 mL de  
156 extrato enzimático (3 U mL<sup>-1</sup> para CMCcase e 9 U mL<sup>-1</sup> para xilanase) produzidos a partir da  
157 fermentação semissólida do farelo de trigo com a bactéria *Streptomyces thermocerradoensis*  
158 I3, conforme Gama (2016). Os ensaios foram incubados sob agitação a 50 °C por períodos de  
159 4, 24 e 48 h, sendo o controle soluções da farinha sem a adição do extrato enzimático. As  
160 soluções foram avaliadas quanto ao teor de açúcar redutores e totais por método proposto por  
161 Miller (1959), compostos fenólicos segundo Singleton, Orthofer & Lamuela (1999) e o teor  
162 proteico segundo o método proposto por Bradford (1976).

### 163 **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### 164 **3.1 Rendimento, cor e propriedades físico-químicas**

165 A raiz da batata-de-teiú (Figura 1) apresentou teor de umidade de  $68.63 \pm 2$  g 100 g<sup>-1</sup>, e  
166 o rendimento no processamento da farinha foi de 34.29 % (b.u.) em relação às raízes  
167 descascadas. O resultado foi similar ao rendimento da extração da farinha de mandioca, que de  
168 modo geral varia de 25 a 35%, de acordo com a variedade e a idade da cultura (Cereda &  
169 Vipoux, 2003).

170 A luminosidade da farinha foi de 76.62, enquanto as coordenadas de cromaticidade a\*  
171 +11.39 e b\* + 14.94, portanto apresentando coloração laranja clara. O valor calculado de croma  
172 (C\*) foi de 18.79, ou seja, cor intensa, e o do ângulo Hue 52.69° (tom alaranjado). A coloração  
173 da farinha se deve aos pigmentos amarelos e vermelhos presentes nas raízes da batata-de-teiú  
174 (Figura 1), provavelmente carotenoides. Assim, a cor alaranjada da farinha pode conferir  
175 alteração na coloração do produto no qual a farinha for empregada.



176  
177 Figura 1. A: raiz da batata-de-teiú (*Jatropha elliptica*); B: raiz de batata-de-teiú cortada; C: pedaços  
178 da raiz após secagem a 35 °C por 24 h

179 A farinha de raízes de batata-de-teiú apresentou atividade de água de 0.46 e umidade de  
180 9.7 g 100 g (Tabela 1), indicando sua estabilidade ao armazenamento em temperatura ambiente.  
181 Estes parâmetros estão diretamente relacionados com a taxa de deterioração do produto, e os  
182 baixos valores obtidos por esta farinha indicam que o risco de deterioração causada por  
183 microrganismos, enzimas ou reações não enzimáticas é mínimo (Pellegrini et al., 2018).

184 A farinha de raízes de batata-de-teiú também apresentou baixos conteúdos lípidicos e  
 185 mineral, mas o proteico foi considerável (8.33 g 100 g<sup>-1</sup>) (Tabela 1). O teor de proteína deste  
 186 produto foi inferior ao reportado para farinhas de feijão (22.3-26.7 g 100 g<sup>-1</sup>) (Wani et al., 2013)  
 187 e de quinoa (14.2 g 100 g<sup>-1</sup>) (Abugoch et al., 2009), e superior ao de farinhas de milho, 6.0-7.6  
 188 g 100 g<sup>-1</sup> (Moreira, Chenlo, & Arufe, 2015). O conteúdo proteico influencia na capacidade de  
 189 absorção e solubilidade em água, e é muito importante esta funcionalidade para a indústria de  
 190 alimentos, assim como para os consumidores em relação ao aspecto nutricional.

191 Tabela 1. Características físico-químicas e valor energético total de farinha de raízes de batata-  
 192 de-teiú (*Jatropha elíptica*), em base úmida.

Componente	Média	Desvio-padrão	CV (%)
Atividade de água	0.460	0.004	0.87
Umidade <sup>1</sup>	9.706	0.002	0.02
Cinzas <sup>1</sup>	3.528	0.001	0.03
Lipídios <sup>1</sup>	0.883	0.000	0.01
Proteína <sup>1</sup>	8.330	0.224	2.69
Carboidratos <sup>1</sup>	77.552	0.227	0.29
Fibra alimentar total <sup>1</sup>	22.841	0.834	3.65
Fibra alimentar insolúvel <sup>1</sup>	13.825	0.453	3.27
Fibra alimentar solúvel <sup>1</sup>	9.016	0.275	3.05
Açúcares solúveis totais <sup>1</sup>	10.08	0.52	5.16
Açúcares solúveis redutores <sup>1</sup>	3.91	0.08	2.05
Valor energético total <sup>2</sup>	12.39	-	-
Acidez aquo-titulável <sup>3</sup>	8.74	0.12	1.37
pH	6.54	0.01	0.15

193 <sup>1</sup>g 100 g<sup>-1</sup>; <sup>2</sup>J g<sup>-1</sup>; <sup>3</sup>g de ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup>

194 A composição de carboidratos foi de cerca de 77.55 g 100 g<sup>-1</sup>, dos quais 10,08 g  
195 referentes aos açúcares solúveis totais, sendo destes 3.91 g de açúcares redutores (Tabela 1).  
196 Portanto, o teor de amido foi de 44.63 g 100 g<sup>-1</sup>, estimado por diferença entre o conteúdo de  
197 carboidratos totais e o conteúdo de fibra alimentar total mais os açúcares solúveis totais. A  
198 farinha de batata-de-teiú apresenta teor elevado de fibra alimentar (Tabela 1) quando comparada  
199 com a farinha de banana verde (1.01 ± 0.02 g 100 g<sup>-1</sup>) (Borges et al., 2009), e baixo se  
200 comparado com a farinha de casca de maracujá (66.37 ± 0.71 g 100 g<sup>-1</sup>) (Souza, Ferreira, &  
201 Vieira, 2008).

202 O valor energético total da farinha foi de 1.239 kJ 100 g<sup>-1</sup> (296.17 Cal 100 g<sup>-1</sup>), valor  
203 inferior ao apresentado pela farinha de mandioca (387 Cal 100 g<sup>-1</sup>) (Ferreira et al., 2007). A  
204 farinha de batata-de-teiú em solução apresentou pH levemente ácido e acidez titulável de 8.74  
205 g de ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> (Tabela 1), indicativo da presença de compostos orgânicos ácidos.

### 206 **3.2 Solubilidade em água e absorção de água e óleo**

207 A farinha de raízes da batata-de-teiú apresentou índice de solubilidade em água (ISA)  
208 de 15.74 ± 0.47 g g<sup>-1</sup>, superior aos das farinhas de feijão comum e de corda, de 6.6-8.2 g g<sup>-1</sup> e  
209 8.0-11.0 g g<sup>-1</sup>, respectivamente (Adebooye & Singh, 2008; Wani et al., 2013). A alta  
210 solubilidade da farinha de batata-de-teiú está relacionada com o elevado teor de açúcares  
211 solúveis e fibra alimentar solúvel (Tabela 1). Farinhas com elevado ISA podem ser empregadas  
212 em alimentos que requerem baixas temperaturas para serem preparados (instantâneos), ou em  
213 sopas, sobremesas e molhos, que necessitam de ingredientes com maior solubilidade em água  
214 (Santana, Oliveira Filho, & Egea, 2017).

215 O índice de absorção de água (IAA) a 28 °C da farinha de raízes de batata-de-teiú foi de  
216 4.91 ± 0.10 g de gel (g de amostra)<sup>-1</sup>, valor superior ao encontrado para a farinha de feijão cru,  
217 de 2.3 g de gel (g de amostra)<sup>-1</sup> (Wani et al., 2013), diferença provavelmente explicada devido

218 ao menor conteúdo proteico da farinha de batata-de-teiú quando comparada com a farinha de  
219 feijão, cujo teor proteico gira ao redor de 23.04 g 100 g<sup>-1</sup> (Santiago-Ramos et al., 2018).

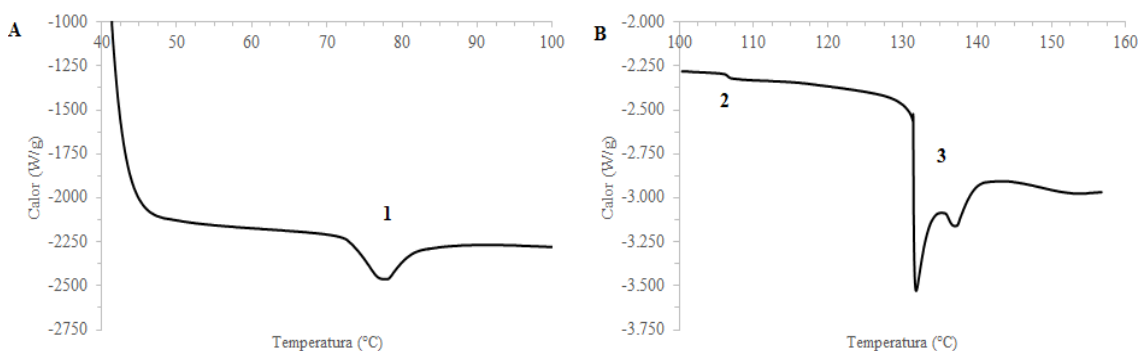
220 O IAA representa a capacidade da farinha para se associar com a molécula de água  
221 (Shafi et al., 2016). Farinhas com altas concentrações de amido podem ter a capacidade de  
222 absorção de água favorecida, devido ao elevado número de grupos hidrofílicos nas moléculas  
223 de amido, que proporcionam maior suavidade e viscosidade aos produtos alimentares  
224 (Aprianita et al., 2014). Elevados teores de carboidratos e proteínas hidrofílicas nas farinhas  
225 também contribuem para o aumento da capacidade de absorver a água, devido às fortes ligações  
226 dos hidrogênios das cadeias laterais polares ou carregadas (Prasad et al., 2012). Por outro lado,  
227 o conteúdo elevado de lipídios na farinha contribui para o a redução do IAA, interrompendo a  
228 hidratação de grânulos de amido com partes hidrofóbicas (Alcazar-Alay & Meireles, 2015).  
229 Logo, pode-se inferir que a alta concentração de carboidratos e proteínas da farinha de raízes  
230 de batata-de-teiú contribuíram para a sua alta capacidade de absorção de água.

231 O índice de absorção de óleo (IAO) da farinha de batata-de-teiú foi de  $2.13 \pm 0.04$  g de  
232 precipitado (g de amostra)<sup>-1</sup>, valor inferior ao encontrado para as farinhas de maracujá ( $2.35$  g  
233 de precipitado (g de amostra)<sup>-1</sup>) e de linhaça ( $2.75$  g de precipitado (g de amostra)<sup>-1</sup>), e superior  
234 a de bagaço de mandioca ( $0.59$  g de precipitado (g de amostra)<sup>-1</sup>) (Santana, Oliveira Filho, &  
235 Egea, 2017; Fiorda et al., 2013). O IAO das farinhas varia em função do número de grupos  
236 hidrofóbicos expostos das proteínas e da interação destes com as cadeias hidrofóbicas da  
237 gordura (Porte et al., 2011). A farinha de raízes de batata-de-teiú apresentou conteúdo proteico  
238 considerável (Tabela 1), favorecendo sua capacidade de absorção em óleo.

### 239 **3.3 Propriedades térmicas**

240 A curva de DSC da farinha de batata-de-teiú apresentou um pico endotérmico  
241 característico da gelatinização do amido (pico 1), com temperatura inicial de  $72.57 \pm 0.70$  °C,  
242 de pico de  $77.42 \pm 0.34$  °C, e final de  $87.76 \pm 1.10$  (Figura 2 A), e a energia necessária para a

243 gelatinização do amido presente na farinha foi de  $9.02 \pm 0.41 \text{ J g}^{-1}$ . Altas temperaturas de  
244 gelatinização e valores de entalpia são característicos de produtos que apresentam proteína e  
245 lipídios interagindo com os grânulos do amido (Cappa, Kelly, & Ng, 2018), o que também foi  
246 verificado neste estudo.



247

248 Figura 2. *Differential Scanner Calorimetric* da farinha de raízes de batata-de-teiú (*Jatropha*  
249 *elíptica*). A: termograma de 40 a 100 °C; B: termograma de 100 a 160 °C.

250 Um segundo pico endotérmico (pico 2) foi observado no termograma, cuja temperatura  
251 inicial foi de  $106.20 \pm 0.02 \text{ °C}$ , a de pico de  $106.55 \pm 0.01 \text{ °C}$  e a final de  $106.89 \pm 0.02 \text{ °C}$   
252 (Figura 2 B), referente à transição vítrea do material. Nesta faixa de temperatura, provavelmente  
253 ocorreu a degradação dos complexos amilose-lipídios e a desnaturação proteica. O que pode  
254 alterar as propriedades físico-químicas da farinha (Santiago-Ramos et al., 2018).

255 O terceiro pico endotérmico (pico 3) iniciou-se na temperatura de  $131.45 \pm 0.01 \text{ °C}$ ,  
256 com temperatura de pico em  $131.77 \pm 0.06 \text{ °C}$ , e final em  $141.85 \pm 0.07 \text{ °C}$ , e entalpia de  $24.38$   
257  $\pm 0.23 \text{ J g}^{-1}$ . O fato de o terceiro pico apresentar duas endotermas consecutivas e sobrepostas,  
258 pode ser referente à degradação de compostos com temperaturas de transição próximas, como  
259 é observado na desnaturação de complexos proteicos mistos (Wen et al., 2012), e descritos em  
260 termogramas de farinha de feijão (Ekanayake et al., 2006). Wani et al. (2013) e Wani et al.  
261 (2015) discorrem que a alta temperatura do terceiro pico se deve à complexação dos compostos  
262 lipídicos com as proteínas e a amilose, o que aumenta a temperatura de desnaturação proteica.

### 263 3.4 Capacidade antioxidante e compostos fenólicos totais

264 O extrato obtido da farinha de raízes de batata-de-teiú apresentou uma capacidade de  
265 descoloração de DPPH de 89.59% (Tabela 3). DPPH é um radical estável utilizado para medir  
266 a capacidade de eliminação de radicais livres de vários produtos vegetais. Forma soluções roxas  
267 profundas em etanol ou metanol absorvendo fortemente a 517 nm, sendo que a degradação por  
268 antioxidantes, diminui concomitante a absorvância de amostras contendo o radical DPPH  
269 (Mishra, Ojha, & Chaudhury, 2012). Comparado com a capacidade antioxidante de farinha de  
270 grãos de trigo (18.76 – 22.97 %) (Abozed et al., 2014), a farinha de batata-de-teiú apresenta  
271 alta capacidade antioxidante (Tabela 3).

272 Tabela 3. Capacidade antioxidante e compostos fenólicos extraídos em diferentes extratos de  
273 farinha de raízes de batata-de-teiú (*Jatropha elíptica*) (b.u.)

Composto	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)
Capacidade antioxidante <sup>1</sup>	89.59	0.72	0.80
Compostos fenólicos <sup>2</sup>			
Extrato aquoso	9.07	0.21	2.31
Extrato etanólico	4.42	0.21	4.75
Extrato metanólico	12.67	0.67	5.28

274 <sup>1</sup> % de descoloração DPPH; <sup>2</sup> mg eq ácido gálico (g matéria seca)<sup>-1</sup>

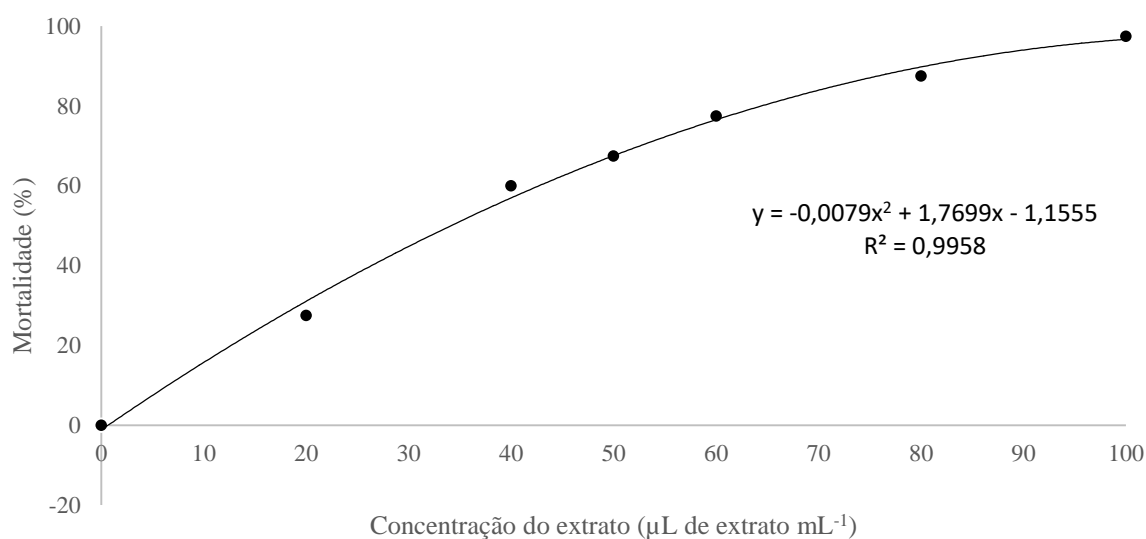
275 Compostos fenólicos também foram encontrados na farinha de raízes de batata-de-teiú,  
276 sendo que os extratos obtidos com metanol apresentaram maior concentração (12,67 mg eq  
277 ácido gálico g<sup>-1</sup>), seguido dos estratos aquosos e por ultimo o etanólico (Tabela 3). Mumtaz e  
278 Ahmed (2017) também verificaram que o extrato metanólico de goma guar apresentou maior  
279 concentração de compostos fenólicos. A polaridade do solvente, bem como os compostos  
280 fenólicos presentes na matéria-prima influenciam a quantidade de compostos extraídos.  
281 Compostos fenólicos em farinha de farelo de trigo foi de 1.258 mg eq ácido gálico g<sup>-1</sup>, valor

282 obtido com extratos metanólico-etanólico (Vaher et al., 2010), sendo estes inferiores ao  
283 encontrado para a farinha de batata-de-teiú.

284 Os compostos fenólicos são conhecidos por possuírem propriedades medicinais e  
285 antioxidantes essenciais, e contribuírem para a atividade fisiológica de várias plantas  
286 medicinais (Rajan et al., 2010). Logo, pode-se inferir que a atividade medicinal apresentada  
287 pela raíz da batata-de-teiú pode ser derivada da elevada atividade antioxidante e alto teor de  
288 compostos fenólicos.

### 289 **3.5 Toxicidade e fatores antinutricionais**

290 Soluções com diferentes concentrações preparadas a partir da farinha das raízes de  
291 batata-de-teiú apresentaram capacidades distintas de impedir a sobrevivência das *Artêmias*  
292 *salinas* (Figura 3). A partir da equação obtida no gráfico, tem-se que na concentração de extrato  
293  $40.14 \mu\text{L mL}^{-1}$  (4.01 %), pelo menos 50% dos animais morreram. No entanto, a Organização  
294 Mundial de Saúde (OMS) considera tóxicas todas substâncias que em concentrações menores  
295 que 0,1% atigem uma taxa de mortalidade de 50% das larvas de *Artemia salina* (Meyer et al.,  
296 1982). Portanto, de acordo com este critério, a farinha de raízes de batata-de-teiú não é  
297 considerada tóxica. No entanto, é preciso estudos mais aprofundados na identificação dos  
298 compostos que possam apresentar toxicidade e realizar testes em roedores. O teste com *Artêmia*  
299 *salina* é um bom indicativo para o estudo da toxicidade por ser rápido, não ser necessário  
300 aprovação pelo Comitê de Ética, e não apresentar impacto ambiental (Lo Nostro et al., 2015).



301

302 Figura 3. Mortalidade de *Artêmia salina* em função da concentração do extrato aquoso da  
 303 farinha de raízes de batata-de-teiú (*Jatropha elíptica*)

304 A farinha apresentou em sua composição 0.44 g 100 g<sup>-1</sup> de nitratos (Tabela 4). Por si só  
 305 o nitrato não representa riscos, mas os metabólitos e os produtos de sua reação implicam em  
 306 efeitos adversos para a saúde. Os nitratos podem reagir com as amins podendo formar  
 307 nitrosaminas, potencialmente carcinogênicas. Além disso, a substituição do oxigênio da  
 308 hemoglobina pelo nitrito pode formar a metahemoglobinemia, que provoca o impedimento do  
 309 transporte de oxigênio dos alvéolos para os tecidos, o que pode levar a morte (Bahadoran et al.,  
 310 2016; Steiner et al., 2017).

311 A Organização Mundial para Agricultura e Alimentação (OMAA) e a Organização  
 312 Mundial da Saúde (OMS) estabeleceram como admissível a dose diária de 3.65 mg do íon  
 313 nitrato por kg de peso corporal. Uma pessoa de 70 Kg estaria ingerindo, em uma porção de 100  
 314 g de farinha das raízes de batata-de-teiú, o equivalente a 6.28 mg de nitrato no dia, o que é duas  
 315 vezes maior que o recomendado pela OMS. No entanto, há estudos que mostram que os nitratos  
 316 podem ser benéficos à saúde, como por exemplo a redução da pressão sanguínea com doses

317 variando de 6.15 a 19.8 mg Kg<sup>-1</sup>. (Bedale, Sindelar & Milkowski, 2016; Bryan & Lvy, 2015;  
318 Ghasemi & Jeddi, 2017).

319 Tabela 4. Fatores antinutricionais na farinha de raízes de batata-de-teiú (*Jatropha elíptica*)  
320 (b.u.)

Fator	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)
Nitratos <sup>1</sup>	4.403	0.070	1.58
Taninos <sup>2</sup>	5.421	0.201	3.71
Inibidor de tripsina <sup>3</sup>	4.314	0.240	5.56

321 <sup>1</sup>g Kg<sup>-1</sup>; <sup>2</sup>g ácido tânico 100 g<sup>-1</sup>; <sup>3</sup>unidades de tripsina inibida mg<sup>-1</sup>

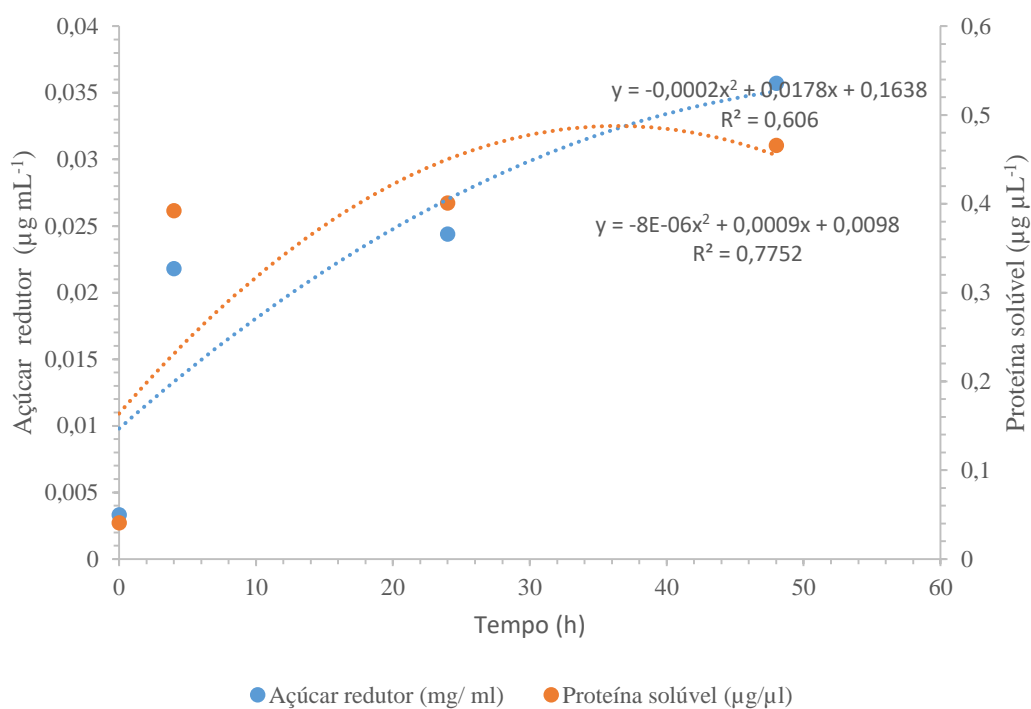
322 O teor de ácido tânico determinado na farinha de raízes de batata-de-teiú foi de 5.42 g  
323 100 g<sup>-1</sup> (Tabela 4), valor muito alto se comparado com o encontrado em feijão-de-corda (0.114  
324 a 0.272 g 100 g<sup>-1</sup>) (Lamdim et al., 2013). Taninos também foram encontrados em *Jatropha*  
325 *curcas* L., o que pode dificultar o emprego desta na alimentação animal, pois os taninos têm  
326 uma alta capacidade para formar complexos proteicos insolúveis que formam precipitados,  
327 inibindo a digestão de proteínas e aminoácidos (Da Luz et al., 2013).

328 A farinha apresentou baixo teor de inibidor de tripsina (Tabela 4), comparado com a  
329 farinha de soja 24.390 ± 0.298 UTI mg<sup>-1</sup> (Andrade et al., 2016). Os inibidores de tripsina são  
330 pequenas proteínas ou polipéptidos que podem reduzir a atividade biológica das enzimas  
331 proteolíticas, como a tripsina e a quimiotripsina, e podem levar ao desenvolvimento de certas  
332 doenças em animais e humanos. O papel inibitório destes compostos vem de suas ligações à  
333 tripsina e outras proteínas, induzindo grandes alterações conformacionais e causando a  
334 agregação e desdobraimento de proteínas (Jasti et al., 2014; Chanphai & Tajmir-Riahi, 2017).  
335 O inibidores da tripsina podem interferir na digestão das proteínas e causar transtornos  
336 pancreáticos, no entanto, são facilmente destruídos pelo calor (Li et al., 2017)

### 337 3.6 Aplicações

338 A produção dos extratos enzimáticos com a farinha de raízes de batata-de-teiu, a partir  
339 do cultivo da cepa do *Streptomyces thermocerradoensis* I3, não foi eficiente, uma vez que os  
340 extratos obtidos não apresentaram atividade enzimática para a xilanase, e baixa atividade  
341 enzimática para a CMCase ( $4.13 \pm 0.18 \text{ U mL}^{-1}$ ). Provavelmente, esta farinha não foi eficiente  
342 para a produção de extratos enzimáticos por apresentar substâncias antinutricionais e outras  
343 com atividade antimicrobiana em sua composição (Marquez et al., 2005). A baixa atividade  
344 enzimática verificada nos extratos também pode ter sido resultado da inibição da atividade da  
345 xilanase e CMCase pela presença de compostos fenólicos, pois, estes têm a capacidade de se  
346 ligar com as proteínas, podendo desativar as enzimas celulolíticas durante a hidrólise da  
347 celulose (González-Bautista et al., 2017; Kim et al., 2015). Outra possibilidade é que a  
348 disponibilidade de açúcares livres na farinha tenha contribuído para a ineficiência da produção  
349 de enzimas celulolíticas, uma vez que o microorganismo não teve a necessidade de reduzir a  
350 celulose em açúcares simples.

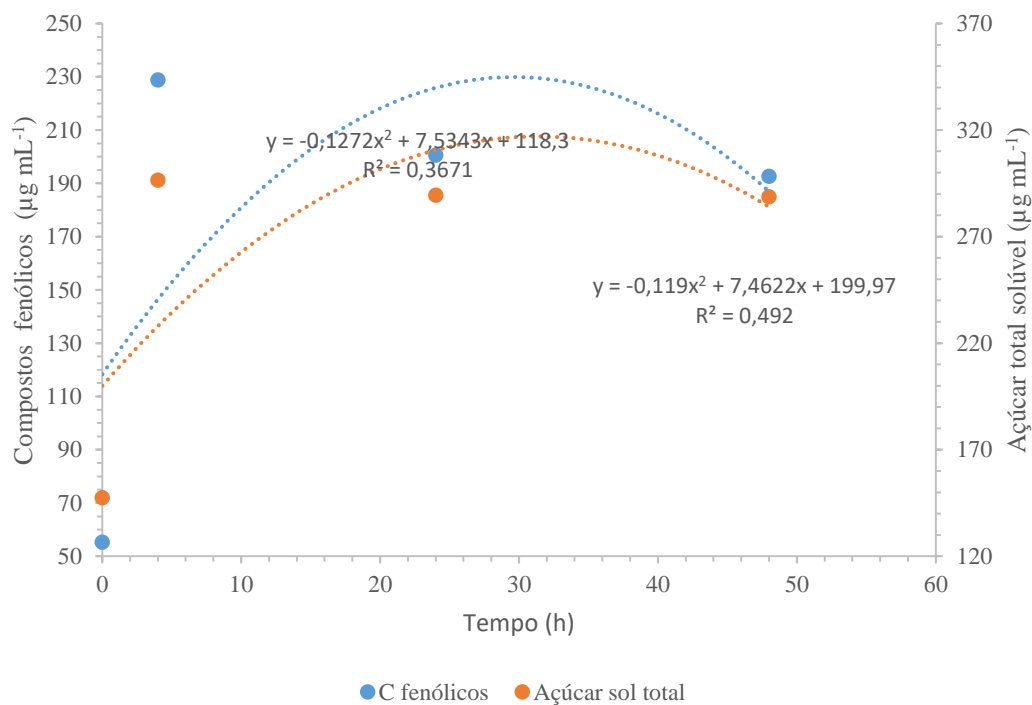
351 Nas primeiras 4 h de hidrólise ocorreram aumentos de 7 e 2.5 vezes nos teores de  
352 açúcares solúveis redutores e proteínas solúveis, respectivamente (Figura 4). Em seguida,  
353 houve aumento mais lento, o que indica que as enzimas atuaram nas moléculas da parte amorfa  
354 da parede celular, reduzindo-as em açúcares menores, com extremidade redutora (hidroxila  
355 livre). Também verificou-se o aumento do teor de açúcares totais e compostos fenólicos nas  
356 primeiras 4 h de atuação do extrato (Figura 5). Os compostos fenólicos ligados a  
357 macromoléculas da parede celular permanecem nos resíduos correspondentes após extração  
358 com solventes. No entanto, estes podem ser liberados com a atuação enzimática, que degrada  
359 as macromoléculas nas quais estavam ligados (Domínguez-Rodríguez, Marina, & Plaza, 2017).



360

361 Figura 4. Açúcares redutores e proteínas na solução de farinha de raízes de batata-de-teiú

362 durante o tempo de exposição ao extrato enzimático



363

364 Figura 5. Açúcares solúveis totais e compostos fenólicos totais na solução de farinha de raízes

365 de batata-de-teiú durante o tempo de exposição ao extrato enzimático.

366 A hidrólise enzimática contribuiu para o aumento do conteúdo de fenólicos, proteínas  
367 solúveis, e açúcares redutores e totais, sendo portanto, um processo indicado para o  
368 enriquecimento de farinhas.

#### 369 **4 CONCLUSÃO**

370 Conclui-se que a farinha possui características físicas, químicas, tecnológicas e toxicológicas  
371 peculiares, sendo indicado o aprofundamento dos estudos, devido a presença dos  
372 antinutricionais e da toxicidade apresentada no teste com *Artêmia salina*, para o posterior uso  
373 na indústria de alimentos.

#### 374 **REFERÊNCIAS**

- 375 Abozed, S. S., El-kalyoubi, M., Abdelrashid, A., & Salama, M. F. (2014). Total phenolic  
376 contents and antioxidant activities of various solvent extracts from whole wheat and bran.  
377 *Annals of Agricultural Sciences*, 59, 63-67.
- 378 Abugoch, L., Castro, E., Tapia, C., Añón, M. C., Gajardo, P. and Villarroel, A. (2009),  
379 Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. *International*  
380 *Journal of Food Science & Technology*, 44: 2013–2020.
- 381 Adebooye, O. C., & Singh, V. (2008). Physico-chemical properties of the flours and starches  
382 of two cowpea varieties (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Innovative Food Science and Emerging*  
383 *Technologies*, 9, 92-100.
- 384 Alcazar-Alay, S. C., Meireles, M. A. A., 2015. Physicochemical properties, modifications and  
385 applications of starches from different botanical sources. *Food Science Technology*, 35, 215-  
386 236.
- 387 Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin Junior, L. (1969). Gelatinization of  
388 Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4-12.
- 389 Andrade, J. C., Mandarino, J. M. G., Kurozawa, L. E., & Ida, E. I. (2016). The effect of  
390 thermal treatment of whole soybean flour on the conversion of isoflavones and inactivation of  
391 trypsin inhibitors. *Food Chemistry*, 194, 1095-1101.
- 392 AOAC - Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official methods of analysis of*  
393 *Association of Official Analytical Chemists*. Gaithersburg: AOAC International.

- 394 Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., Kasapis, S. (2014). Physicochemical properties  
395 of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. *Journal Food*  
396 *Science Technology*, 51, 3669-3679
- 397 Bahadoran, Z., Mirmiran, P., Jeddi, S., Azizi, F., Ghasemi, A., & Hadaegh, F. (2016). Nitrate  
398 and nitrite content of vegetables, fruits, grains, legumes, dairy products, meats and processed  
399 meats. *Journal of Food Composition and Analysis*, 51, 93-105.
- 400 Bedale, W., Sindelar, J. J., & Milkowski, A. L. (2016). Dietary nitrate and nitrite: Benefits,  
401 risks, and evolving perceptions. *Meat Science*, 120, 85-92.
- 402 Borges, A. D. M., Pereira, J., & Pereira de Lucena, E. M. (2009). Caracterização da farinha de  
403 banana verde. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(2).
- 404 Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram  
405 quantities of protein utilizing the principle fo protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*.  
406 72, 248-254.
- 407 Brand-Wiliams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to  
408 evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- 409 Bryan, N. S., & Ivy, J. L. (2015). Inorganic nitrite and nitrate: evidence to support  
410 consideration as dietary nutrients. *Nutrition Research*, 35, 643-654.
- 411 Cappa, C., Kelly, J. D., & Ng, P. K. W. (2018). Seed Characteristics and Physicochemical  
412 Properties of Powders of 25 Edible Dry Bean Varieties. *Food Chemistry*.
- 413 Cataldo, D. A.; Haroon, M.; Schrader, L. E. & Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric  
414 determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil*  
415 *Science and Plant Analysis*, 6, 71-80.
- 416 Cereda, M., & Vilpoux, O. (2003). Farinhas e Derivados. In: *Culturas Tuberosas Amiláceas*  
417 *Latino Americanas*. São Paulo: Fundação Cargill, 576-620.
- 418 Chanphai, P., & Tajmir-Riahi, H. A. (2017). Trypsin and trypsin inhibitor bind milk beta-  
419 lactoglobulin: Protein–protein interactions and morphology. *International Journal of*  
420 *Biological Macromolecules*, 96, 754-758.
- 421 da Luz, J. M. R., Paes, S. A., Torres, D. P., Nunes, M. D., da Silva, J. S., Mantovani, H. C., &  
422 Kasuya, M. C. M. (2013). Production of edible mushroom and degradation of antinutritional  
423 factors in jatropha biodiesel residues. *LWT - Food Science and Technology*, 50, 575-580.
- 424 Domínguez-Rodríguez, G., Marina, M. L., & Plaza, M. (2017). Strategies for the extraction  
425 and analysis of non-extractable polyphenols from plants. *Journal of Chromatography A*,  
426 1514, 1-15.
- 427 Ekanayake, S., Nair, B. M., Asp, N. G., & Jansz, E. R. (2006). Effect of processing of sword  
428 beans (*Canavalia gladiata*) on physicochemical properties of starch. *Starch-Stärke*, 58, 215-  
429 222.

- 430 Ferreira, G. D. G., Oliveira, R. L., Cardoso, E. D. C., Magalhães, A. L. R., & Brito, E. L.  
431 (2008). Valor nutritivo de co-produtos da mandioca. *Revista Brasileira de Saúde e Produção*  
432 *Animal*, 8, 364-374.
- 433 Ferreira-Rodrigues, S. C., Rodrigues, C. M., Dos Santos, M. G., Gautuz, J. A. A., Silva, M.  
434 G., Cogo, J. C., & Oshima-Franco, Y. (2016). Anti-Inflammatory and Antithrombotic  
435 Properties of *Jatropha Elliptica*, a Plant from Brazilian Cerrado Biome. *Advanced*  
436 *pharmaceutical bulletin*, 6, 573.
- 437 Fiorda, F. A., Soares Júnior, M. S., Silva, F. A., Souto, L. R. F., & Grossmann, M. V. E.  
438 (2013). Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com  
439 fécula de mandioca. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43, 408-416.
- 440 Gama, Aline Rodrigues. Produção e caracterização de celulases e xilanases produzidas por  
441 *Streptomyces thermocerradoensis* i3 em fermentação semi-sólida. 84f. (Dissertação)-Instituto  
442 de parasitologia tropical e saúde pública, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- 443 Ghasemi, A., & Jeddi, S. (2017). Anti-obesity and anti-diabetic effects of nitrate and nitrite.  
444 *Nitric Oxide*, 70, 9-24.
- 445 González-Bautista, E., Santana-Morales, J. C., Ríos-Fránquez, F. J., Poggi-Varaldo, H. M.,  
446 Ramos-Valdivia, A. C., Cristiani-Urbina, E., & Ponce-Noyola, T. (2017). Phenolic  
447 compounds inhibit cellulase and xylanase activities of *Cellulomonas flavigena* PR-22 during  
448 saccharification of sugarcane bagasse. *Fuel*, 196, 32-35.
- 449 Jasti, L. S., Fadnavis, N. W., Addepally, U., Daniels, S., Deokar, S., & Ponrathnam, S.  
450 (2014). Comparison of polymer induced and solvent induced trypsin denaturation: The role of  
451 hydrophobicity. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 116, 201-205.
- 452 Kakade, M. L., Rackis, J. J., Mcghee, J. E., & Puski, G. (1974). Determination of trypsin  
453 inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal*  
454 *Chemistry*, 51, 376-382.
- 455 Kim, Y., Kreke, T., Ko J. K., Ladisch, M. (2015). Hydrolysis-determining substrate  
456 characteristics in liquid hot water pretreated hardwood. *Biotechnol Bioeng*, 112, 677-87
- 457 Landim, L. D. S., Cunha, E., Araújo, M. D. M., Silva, K., Rocha, M. D. M., & Moreira-  
458 Araújo, R. D. R. (2013). Conteúdo de fenólicos totais, antocianinas, taninos e atividade  
459 antioxidante de três cultivares de feijão-caupi. In: Congresso Nacional De Feijão-Caupi, 3,  
460 2013, Recife: IPA.
- 461 Li, J., Xiang, Q., Liu, X., Ding, T., Zhang, X., Zhai, Y., & Bai, Y. (2017). Inactivation of  
462 soybean trypsin inhibitor by dielectric-barrier discharge (DBD) plasma. *Food Chemistry*, 232,  
463 515-522.
- 464 Lo Nostro, P., Ninham, B. W., Carretti, E., Dei, L., & Baglioni, P. (2015). Specific anion  
465 effects in *Artêmia salina*. *Chemosphere*, 135, 335-340.

- 466 Marquez, B. (2005). Multidrug resistance reversal agent from *Jatropha elliptica*.  
467 *Phytochemistry*, 66, 1804-1811.
- 468 Meyer, B. N., Ferrigni, N. R., Putnan, J. E., Jacobsen, L. B., Nichols, D. E., & McI. Aughlin,  
469 J. (1982). Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Journal*  
470 *of Medical Plant Research*, 45, 31-34.
- 471 Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.  
472 *Analytical Chemistry*, 31, 426-428.
- 473 Mishra, K., Ojha, H., & Chaudhury, N. K. (2012). Estimation of antiradical properties of  
474 antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. *Food Chemistry*, 130, 1036-  
475 1043.
- 476 Moreira, R., Chenlo, F., & Arufe, S. (2015). Starch transitions of different gluten free flour  
477 doughs determined by dynamic thermal mechanical analysis and differential scanning  
478 calorimetry. *Carbohydrate Polymers*, 127, 160-167.
- 479 Mumtaz Hamdani, A., & Ahmed Wani, I. (2017). Guar and Locust bean gum: Composition,  
480 total phenolic content, antioxidant and antinutritional characterisation. *Bioactive*  
481 *Carbohydrates and Dietary Fibre*, 11, 53-59.
- 482 Pellegrini, M., Lucas-Gonzales, R., Ricci, A., Fontecha, J., Fernández-López, J., Pérez-  
483 Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2018). Chemical, fatty acid, polyphenolic profile,  
484 techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium*  
485 quinoa Willd) seeds. *Industrial Crops and Products*, 111, 38-46.
- 486 Porte, A., Silva, E. F., Almeida, V. D. S., Silva, T. X., & Porte, L. H. M. (2011). Propriedades  
487 funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (*Carica papaya*) e de abóbora  
488 (*Cucurbita sp*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 13, 91-96.
- 489 Prasad, K., Singh, Y., Anil, A. (2012). Effects of grinding methods on the characteristics of  
490 Pusa 1121 rice flour. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 40, 193-201.
- 491 Rajan, S., M. Gokila, P., Jency, P., & Brindha, R. K. (2010). Sujatha. Antioxidant and  
492 phytochemical properties of *Aegle marmelos* fruit pulp. *International Journal of Current*  
493 *Pharmaceutical Research*, 0975-7066
- 494 Ramada, M. H. S., Lopes, F. A. C., Ulhoa, C. J., & Silva, R. N. (2010). Optimized microplate  
495  $\beta$ -1, 3-glucanase assay system for *Trichoderma* spp. Screening. *Journal of Microbiological*  
496 *Methods*, 81, 6-10.
- 497 Sabandar, C. W. (2013). Medicinal property, phytochemistry and pharmacology of several  
498 *Jatropha* species (Euphorbiaceae): A review. *Phytochemistry*, 85, 7-29.
- 499 Santana, G. S., Oliveira Filho, J. G., & Egea, M. B. (2017). Características tecnológicas de  
500 farinhas vegetais comerciais. *Revista de Agricultura Neotropical*, 4, 88-95.

- 501 Santiago-Ramos, D., Figueroa-Cárdenas, J. d. D., Véles-Medina, J. J., & Salazar, R. (2018).  
 502 Physicochemical properties of nixtamalized black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *Food*  
 503 *Chemistry*, 240, 456-462.
- 504 Shafi, S., Wani, I. A., Gani, A., Sharma, P., Wani, H. M., Masoodi, F. A., Khan, A. A., &  
 505 Hamdani, A. M. (2016). Effect of water and ether extraction on functional and antioxidant  
 506 properties of Indian horse chestnut (*Aesculus indica* Colebr) flour. *Food Meas.* 10, 387-395.
- 507 Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other  
 508 oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteau reagent. *Methods in*  
 509 *Enzymology*, 299, 152-178.
- 510 Souza, M. W., Ferreira, T. B., & Vieira, I. F. (2008). Composição centesimal e propriedades  
 511 funcionais tecnológicas da farinha da casca do maracujá. *Alimentos e Nutrição Araraquara*,  
 512 19, 33-36.
- 513 Steiner, F., Zoz, T., Ruppenthal, V., & de Moraes Echer, M. (2017). Acúmulo de nitrato e  
 514 produção de chicória (*Cichorium endivia* L.) submetida à adubação nitrogenada sob cultivo  
 515 protegido. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, 9, 241-251.
- 516 Trindade, M. T. (2015). Espécies úteis da família Euphorbiaceae no Brasil. *Revista Cubana*  
 517 *de Plantas Medicinales*, 19, 4-15.
- 518 Vaher, M., Matso, K., Levandi, T., Helmja, K., & Kaljurand, M. (2010). Phenolic compounds  
 519 and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties.  
 520 *Procedia Chemistry*, 2, 76-82.
- 521 Wani, I. A., Sogi, D. S., Shivhare, U. S., & Gill, B. S. (2015). Physico-chemical and  
 522 functional properties of native and hydrolyzed kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein  
 523 isolates. *Food Research International*, 76, 11-18.
- 524 Wani, I. A., Sogi, D. S., Wani, A. A., & Gill, B. S. (2013). Physico-chemical and functional  
 525 properties of flours from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *LWT - Food*  
 526 *Science and Technology*, 53, 278-284.
- 527 Waterhouse, A. L. (2002). Polyphenolics: Determination of total phenolics. In: EROLSTAD,  
 528 R. E. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York: John Wiley & Sons, cap.  
 529 1.1, p. 111-118.
- 530 Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P. & Chang, Y. K. (2009). Physicochemical, rheological,  
 531 morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn  
 532 starches. *Ciência Tecnologia Alimentos*, 29, 748-753.
- 533 Wen, J., Arthur, K., Chemmalil, L., Muzammil, S., Gabrielson, J., & Jiang, Y. (2012).  
 534 Applications of Differential Scanning Calorimetry for Thermal Stability Analysis of Proteins:  
 535 Qualification of DSC. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 101, 955-964. .

## CAPÍTULO 8

### CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E TOXICOLÓGICA E APLICAÇÃO DA FARINHA DE LÍRIO-DO-BREJO (*Hedychium coronarium* Koen)

**Resumo:** O *Hedychium coronarium* Koen, planta nativa do Nepal, é popularmente conhecido no Brasil como lírio-do-brejo. Seus rizomas são utilizados por suas propriedades medicinais, mas também poderiam ser uma fonte potencial para a produção de farinha. Como não há relatos sobre esta na literatura científica, o presente trabalho teve por objetivo determinar o rendimento e as características físicas, químicas e toxicológicas da farinha, bem como testar a mesma na fermentação semi-sólida com *Streptomyces thermocerradoensis* I3 para a produção do extrato enzimático, e na hidrólise enzimática, para avaliar as alterações promovidas por enzimas celulósicas produzidas durante o processo de fermentação semi-sólida de farelo de trigo. O rendimento de farinha foi de 14.89 g 100 g<sup>-1</sup>, e esta apresentou-se como um pó amarelo ligeiramente alaranjado, com elevado teor de carboidratos (78.65 g 100 g<sup>-1</sup> (b.u.)), resíduo mineral fixo (6.45 g 100 g<sup>-1</sup>), e fibra alimentar total (20.65 g 100 g<sup>-1</sup>), solúvel (6.28 g 100 g<sup>-1</sup>) e insolúvel (14.37 g 100 g<sup>-1</sup>), conteúdo médio de lipídios (3.99 g 100 g<sup>-1</sup>) e baixo teor de proteína (3.243 g 100 g<sup>-1</sup>). O termograma da farinha apresentou dois picos endotérmicos, um com temperatura inicial de gelatinização do amido de 76.85 °C, de pico de 81.03 °C e final de 85.21 °C, e o outro característico de transição vítrea, com temperatura de 116.29 °C. A farinha apresentou potencial antioxidante, baixa concentração de compostos fenólicos, presença de nitratos, taninos e ausência de inibidores de tripsina, e produziu extratos enzimáticos com baixa atividade enzimática. A farinha de rizomas de lírio-do-brejo possui potencial para a indústria de alimentos, não sendo substrato ideal para a produção de extratos enzimáticos e nem indicada para a produção de fermentados alcoólicos.

24 **Palavras chave:** *Streptomyces thermocerradoensis* I3, propriedades térmicas, índice de  
25 solubilidade em água, antioxidantes, Antinutrientes *Artêmia salina*,

## 26 **1 INTRODUÇÃO**

27 Popularmente conhecido como lírio-do-brejo, lírio-borboleta, napoleão, narciso,  
28 olímpia ou gengibre-branco, o *Hedychium coronarium* Koen é uma herbácea rizomatosa, ereta,  
29 florífera, vigorosa, entouceirada, aromática, de 1 – 2.5 m de altura, habitualmente encontrado  
30 em regiões de brejo, áreas úmidas e sub-bosque de florestas. Por ser uma planta exótica  
31 invasora, e devido ao rápido crescimento e disseminação, é considerada planta daninha  
32 (Instituto Hórus, 2016; Lorenzi & Souza, 2015; Santos, Pedralli & Meyer, 2005).

33 O rizoma do lírio-do-brejo possui propriedades anti-hipertensivas, diuréticas, ainda  
34 sendo usado no tratamento da menstruação irregular e cálculos no trato urinário (Shekhar &  
35 Anju, 2015). Outros estudos mostram que o rizoma do *H. coronarium* possui compostos anti-  
36 inflamatórios e quimo preventivos do câncer (Endringer et al., 2014; Kiem et al., 2012), além  
37 disso os diterpenos presentes no extrato obtido a partir do rizoma de várias espécies de  
38 *Hedychium*, incluindo o *H. coronarium*, apresentam atividade antioxidante e antimicrobiana  
39 (Joshia et al., 2008).

40 Não há relatos na literatura sobre a utilização e ou produção da farinha obtida a partir  
41 dos rizomsa de lírio-do-brejo, assim como das propriedades físico-químicas, nem a avaliação  
42 dos compostos antinutricionais. Fatores antinutricionais são compostos presentes numa extensa  
43 variedade de alimentos de origem vegetal, que quando consumidos, reduzem o valor nutritivo  
44 dos mesmos. Pois, interferem na digestibilidade, absorção ou utilização de nutrientes e, se  
45 ingeridos em altas concentrações, podem acarretar efeitos danosos à saúde (El Anany, 2015).  
46 Os fatores antinutricionais são metabolitos de defesa vegetal, os quais podem ser inibidores  
47 proteicos, taninos, fitatos e nitratos. Os taninos podem precipitar proteínas, os fitatos podem

48 formar complexos com proteínas e minerais e os oxalatos podem precipitar com o cálcio,  
49 formando cristais insolúveis e cálculos renais nos indivíduos (Benevides et al., 2011).

50 Uma possível aplicação prática para a farinha de lírio-do-brejo poderia ser a produção  
51 de extratos enzimáticos a partir da fermentação semissólida, visto que as xilanases produzidas  
52 por bactérias tem despertado interesse devido sua alta capacidade em transformar lignocelulose  
53 em açúcar, álcool e outras substâncias úteis (Gendy & Bondkly, 2014). O cultivo de bactérias  
54 e/ou fungos em fermentação semissólida é uma opção rápida e barata para a produção de  
55 extratos enzimáticos.

56 O presente trabalho teve por objetivo determinar o rendimento e as características  
57 físicas, químicas e toxicológicas da farinha de rizomas de lírio-do-brejo, bem como testar a  
58 mesma na fermentação semissólida com *Streptomyces thermocerradoencis I3* para a produção  
59 do extrato enzimático, e na hidrólise enzimática, para avaliar as alterações promovidas por  
60 enzimas celulosídicas produzidas durante o processo de fermentação semissólida de farelo de  
61 trigo.

## 62 **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### 63 **2.1 Material e processamento da farinha**

64 O *Hedychium coronarium* foi coletado no município de Silvânia-GO, no mês de  
65 setembro de 2016. Os rizomas foram armazenados em embalagens plásticas, e mantidos sob  
66 refrigeração durante o transporte e até o processamento. Os rizomas foram lavados e sanitizados  
67 (hipoclorito de sódio a 200 ppm) por 15 min, descascados e cortados em rodela manualmente.  
68 Estas foram colocadas para secar em estufa com circulação de ar a 35 °C por 48 h, e  
69 imediatamente após submetidas à moagem, em moinho de facas com malha de 2.0 mm. A  
70 obtenção da farinha foi realizada em bateladas (repetições).

## 71 **2.2 Composição centesimal**

72 A umidade foi quantificada em estufa a 105 °C até peso constante; as cinzas por pesagem  
73 após incineração a 550 °C em forno mufla; o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl,  
74 que multiplicado pelo fator 6.25 resultou no teor de proteína bruta; e os lipídeos por extração  
75 com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet. Para obter a fibra alimentar total foi utilizada  
76 amostra desengordurada da extração por Soxlet, seguindo método enzimico-gravimétrico.  
77 Todos conforme as recomendações da AOAC (2012). O conteúdo de carboidratos totais foi  
78 calculado por diferença, e todas as análises realizadas em triplicata. O valor energético (kcal)  
79 foi estimado multiplicando-se o peso (g) dos carboidratos digeríveis (carboidratos totais - fibra  
80 alimentar insolúvel) e proteínas por 4 e o dos lipídeos por 9. Os teores de açúcar totais redutores  
81 e não redutores foram determinados segundo metodologia de Miller (1959), que se baseia na  
82 redução do ácido 3.5-di-nitro salicílico a ácido 3-amino-5-nitro salicílico, com a leitura  
83 realizada em espectrofotômetro (Bel Photonic, SP2000UV, Piracicaba, Brasil), usando solução  
84 de glicose como padrão.

## 85 **2.3 Cor, pH e acidez total titulável**

86 Os parâmetros instrumentais de cor foram determinados em colorímetro (Bankinh Meter  
87 Minolta, BC-10, Ramsey, USA), calibrado em superfície de porcelana branca, a fim de se obter  
88 um padrão. Os parâmetros luminosidade (zero = preto e 100 = branco), coordenadas de  
89 cromaticidade  $a^*$  (-80 até zero = verde, e zero ao +100 = vermelho) e  $b^*$  (-100 até zero = azul,  
90 do zero ao + 70 = amarelo) foram lidos, e a partir destes, foram calculados a croma (saturação  
91 da cor) e o ângulo Hue (tonalidade ou matriz), de acordo com Pellegrini et al. (2018). O pH foi  
92 aferido em potenciômetro (Tecnal, TEC-51, Piracicaba, Brasil), com inserção do eletrodo  
93 diretamente em 5 g de farinha diluída em 100 mL de água. A acidez titulável total foi  
94 determinada por titulação com NaOH 0,1 N. Todas as análises em conformidade com a AOAC  
95 (2012), e em triplicata.

## 96 **2.4 Propriedades térmicas (DSC)**

97 Calorímetro diferencial de varredura (TA Instruments, Q20, New Castle, UK), foi  
98 utilizado baseando-se na metodologia descrita por Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009).  
99 Amostras de 2 mg (b.s.) foram pesadas em placas de alumínio, próprias para o equipamento  
100 DSC. Água destilada (6 µL) foi adicionada, e os porta amostras selados em prensa específica.  
101 Em seguida, os mesmos foram mantidos por 12 h a temperatura ambiente, para uniformizar a  
102 distribuição da água. As amostras foram aquecidas no intervalo entre 40 e 120 °C, a uma taxa  
103 de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. A partir da curva, a entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ), os intervalos  
104 de temperatura de gelatinização ( $\Delta T$ ), a temperatura no início da gelatinização ( $T_o$ ), a  
105 temperatura no pico ( $T_p$ ) e a temperatura final ( $T_c$ ) foram calculadas usando o aplicativo TA  
106 Universal Analysis (TA Instruments, New Castle, UK).

## 107 **2.5 Absorção e solubilidade em água e absorção de óleo**

108 Os índices de solubilidade em água (ISA), absorção de água (IAA) e de óleo (IAO)  
109 foram determinados segundo Anderson et al. (1969). Para a determinação do índice de absorção  
110 de óleo (IAO), a metodologia foi adaptada, uma vez que a água foi substituída pelo óleo de  
111 soja.

## 112 **2.6 Compostos bioativos e atividade antioxidante**

113 O teor de compostos fenólicos totais (CFT) foi determinado utilizando o reagente Folin-  
114 Ciocalteau, em espectrofotômetro (Ultrospec, 2.000 UV/Visível, Cambridge, Inglaterra) a 750  
115 nm. Os dados foram expressos em mg Eq. AG (equivalente de ácido gálico) por 1 gramas de  
116 amostra (Waterhouse, 2002). A determinação do potencial antioxidante foi realizada pelo  
117 método DPPH (Brand-Williams et al., 1995), baseado na captura do radical DPPH (2,2-difenil-  
118 1picril-hidrazil) por antioxidantes, produzindo um decréscimo da absorbância a 515 nm. O  
119 percentual de antioxidante foi calculado segundo equação.

120 
$$\% \text{ descoloração DPPH} = \left(1 - \frac{(\text{ABS da amostra} - \text{ABS branco da amostra})}{\text{ABS branco ensaio DPPH}}\right) * 100 \quad \text{Equação (1)}$$

121 **2.7 Ensaio de toxicidade com *Artêmia Salina***

122 O ensaio de toxicidade sobre *Artêmia salina* foi realizada segundo metodologia de  
123 Meyer et al. (1982), com adaptações. Preparou-se uma solução com sal marinho na  
124 concentração de 30 g L<sup>-1</sup>, ajustando o pH entre 8.0 e 9.0 com solução 0.1 mol L<sup>-1</sup> de NaOH. Esta  
125 solução foi utilizada para eclosão dos ovos de *Artêmia salina* (48 h, sobre iluminação e com  
126 aeração constante a 25 °C) e no preparo das demais diluições. Cerca de 10 larvas de *Artemia*  
127 *salina* foram transferidas para tubos contendo a solução salina e amostras a serem testadas, em  
128 concentração de 5 e 10% de extrato (0.1 g mL<sup>-1</sup>). O ensaio foi realizado em triplicata de  
129 amostras, sendo a contagem dos animais mortos e vivos realizada após 24 h.

130 **2.8 Fatores antinutricionais**

131 A atividade do inibidor de tripsina foi determinada por método espectrofotométrico  
132 descrito por Kunitz (1947) e Kakade et al. (1974). Adicionou-se 50 mL de solução de NaOH a  
133 0.01 N a 1g de amostra seca e desengordurada, e colocada em agitador por 1 h. Adicionou-se  
134 as soluções BAPA (Benzoyl-DL-arginine Para nitroanilide) e de ácido acético, deixando reagir  
135 por 10 min. A solução foi, então, filtrada e realizou-se leitura a 410 nm em espectrofotômetro.  
136 Os resultados foram expressos em função das UTI mg<sup>-1</sup> de amostra, onde uma unidade de  
137 tripsina foi definida como um aumento de 0.01 unidade de absorbância a 410 nm por 10 mL da  
138 mistura de reações. A determinação do teor de nitratos foi realizada por método colorimétrico  
139 conforme Cataldo et al. (1975). O teor de taninos foi realizada conforme método colorimétrico  
140 de Folin-Denis, conforme AOAC (2012). A intensidade de cor azul produzida na redução do  
141 reagente de Folin-Denis por taninos é medida em espectrofotômetro a 760 nm. Os resultados  
142 foram expressos em porcentagem e cada amostra foi analisada em triplicata.

## 143 2.9 Aplicação da Farinha

144 O ensaio para a obtenção dos extratos enzimáticos produzidos a partir da fermentação  
145 semi-sólida da farinha do lírio-do-brejo com a bactéria *Streptomyces thermocerradoencis* I3  
146 foram realizados conforme Gama (2016). Todos os tratamentos foram realizados em três  
147 repetições. Esporos de *Streptomyces thermocerradoencis* I3 foram inoculados em 5 g de farinha  
148 com 15 mL de meio mínimo ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 - 7.0 \text{ g L}^{-1}$ ;  $\text{K}_2\text{HPO}_4 - 3.0 \text{ g L}^{-1}$ ;  $\text{NaCl} - 0.5 \text{ g L}^{-1}$ ;  
149  $\text{NH}_4\text{Cl} - 1.0 \text{ g L}^{-1}$ ), previamente autoclavado. Ao final do período de incubação de 5 dias a 37  
150 °C, os cultivos foram adicionados de 50 mL de água com 50 µL de Tween-80 (0.1%). Em  
151 seguida, foram centrifugados a 7500G por 15 min a 4 °C. O sobrenadante foi avaliado quanto  
152 à atividade enzimática para a xilanase e CMCase. A dosagem da atividade de endoglucanase  
153 testada em carboximetilcelulose (CMCase) em micro-ensaio foi realizada de acordo com  
154 Ramada et al. (2010). A atividade enzimática da xilanase foi testada utilizando-se como  
155 substrato soluções de xilana bechwood (Sigma®) 1% (p/v). A atividade foi determinada em  
156 micro-ensaio, adicionando-se 10 µL de amostra e 90 µL da solução de xilana 1%. A solução foi  
157 incubada a 50 °C por 5 min, seguido da quantificação de açúcares redutores pelo método de  
158 ADNS (MILLER, 1959). A curva padrão de xilose foi determinada com concentrações de 0.3  
159 a 4.2 mg mL<sup>-1</sup>.

160 No ensaio de hidrólise enzimática, soluções de 100 mL a 1% (p/v) da farinha com pH  
161 corrigido para 6.0 (tampão fosfato pH 6.0) foram acrescidas de 0.1 mL de extrato enzimático  
162 (3 UI mL<sup>-1</sup> para CMCCase e 9 UI mL<sup>-1</sup> para xilanase) produzidos a partir da fermentação  
163 semissólida do farelo de trigo com a bactéria *Streptomyces thermocerradoencis* I3 (Gama,  
164 2016). Os ensaios foram incubados sob agitação a 50 °C por períodos de 4, 24 e 48 h. Como  
165 controle, utilizou-se soluções de farinha sem a adição do extrato enzimático. As soluções foram  
166 avaliadas quanto ao teor de açúcar redutores e totais por método proposto por Miller (1959),  
167 compostos fenólicos segundo Singleton, Orthofer & Lamuela (1999) e o teor proteico segundo

168 método proposto por Bradford (1976), no qual, 100 µL das amostras foram adicionadas de 1  
169 mL do reagente de Bradford e após incubação por 15 min a 25 °C, a quantidade de proteína foi  
170 determinada por leitura de absorbância em espectrofotometro no comprimento de onda de 595  
171 nm. A curva de calibração foi determinada utilizando Albumina Sérica Bovina (BSASigma ®).

## 172 **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### 173 **3.1 Composição centesimal e cor instrumental**

174 Os rizomas do lírio-do-brejo apresentaram teor de umidade de 83.45 g 100 g<sup>-1</sup> e o  
175 rendimento da farinha foi de 14.89 ± 0.25 g 100 g<sup>-1</sup>. O baixo rendimento se deveu ao alto  
176 conteúdo de umidade e o rizoma possuir uma fibra resinosa que não passou no moinho em  
177 peneira com malha de 2 mm, que foi descartada.

178 A farinha apresentou baixo teor lipídios e proteínas em relação ao teor de carboidratos,  
179 mas o teor de cinzas foi alto (Tabela 1). O conteúdo de umidade também foi baixo, bem como  
180 a atividade de água (0.292 ± 0.005). O baixo conteúdo de umidade e água disponível para  
181 reações na farinha de lírio-do-brejo, contribui para a maior estabilidade microbiológica desta.

182 Os lipídios da farinha dos rizomas do lírio-do-brejo possuem uma aparência amarelada,  
183 com odor característico que lembra o do gengibre, e são facilmente removidos com etanol P.A.  
184 Em comparação com o conteúdo de lipídios e proteína da farinha de arroz de diferentes  
185 cultivares (1.13-3.16 g 100 g<sup>-1</sup> e 5.66-7.61 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente) (Kraithong, Lee, &  
186 Rawdkuen, 2018; Sultan et al., 2018), a farinha de rizomas de lírio-do-brejo contém maior  
187 quantidade de lipídios, e menor concentração proteica (Tabela 1).

188 O teor de carboidratos totais constituiu 78.86 g 100 g<sup>-1</sup> da farinha de rizomas de lírio-  
189 do-brejo (Tabela 1), sendo que 5.7 g são açúcares solúveis totais, dos quais 1.37 g são açúcares  
190 redutores. O teor de carboidratos totais da farinha de rizomas de lírio-do-brejo foi similar ao  
191 relatado para a farinha de arroz marrom (78.5 g 100 g<sup>-1</sup>) (Sultan, Wani, & Masoodi, 2018) e de

192 farinhas de arroz orgânicos (77.06 a 85.58 g 100 g<sup>-1</sup>) (Kraithong, Lee, & Rawdkuen, 2018) e  
 193 superior ao relatado para a farinha de trigo (72.5 ± 0.28 g 100 g<sup>-1</sup>) (Kim & Kim, 2017).

194 A farinha de rizomas de lírio-do-brejo apresentou 20.65 g 100 g<sup>-1</sup> de fibra alimentar  
 195 total, sendo 14.47 g 100 g<sup>-1</sup> de fibra alimentar insolúvel e 6.28 g 100 g<sup>-1</sup> de solúvel (Tabela 1).  
 196 O teor de fibra alimentar total da farinha de lírio-do-brejo é próximo ao apresentado pela farinha  
 197 de chia (29.17 ± 0.80 g 100 g<sup>-1</sup>) (Coorey, Tjoe, & Jayasena, 2014), sendo que o teor de fibra  
 198 solúvel da farinha de lírio-do-brejo é maior que a da farinha de chia (1.9 ± 0.12 g 100 g<sup>-1</sup>)  
 199 (Constatini et al., 2014). Portanto, apresenta alto teor de fibra alimentar solúvel.

200 Tabela 1. Composição proximal e teor de açúcares solúveis total e redutores da farinha de  
 201 rizomas de lírio-do-brejo, em base úmida

Componente	Média	Desvio padrão	C.V. (%)
Umidade <sup>1</sup>	7.441	0.002	0.027
Cinzas <sup>1</sup>	6.452	0.001	0.015
Lipídios <sup>1</sup>	3.998	0.001	0.025
Proteína <sup>1</sup>	3.243	0.098	3.021
Carboidratos totais <sup>1</sup>	78.650	0.102	0.129
Fibra alimentar total <sup>1</sup>	20.650	1.150	5.560
Fibra alimentar insolúvel <sup>1</sup>	14.370	0.735	5.110
Fibra alimentar solúvel <sup>1</sup>	6.280	0.201	6.280
Açúcares solúveis totais <sup>1</sup>	5.709	0.106	1.857
Açúcares solúveis redutores <sup>1</sup>	1.373	0.031	2.258
Valor energético total <sup>2</sup>	12.840	0.092	3.000
Acidez aquo-titulável <sup>3</sup>	15.253	0.22	1.442
pH	6.460	0.100	1.547

202 <sup>1</sup> g 100 g<sup>-1</sup>; <sup>2</sup> J g<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> mg de ácido 100 g<sup>-1</sup>

203 Deduzindo-se dos carboidratos totais, os açúcares e a fibra alimentar total, tem-se o  
204 provável teor de amido ( $52.65 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ). O valor energético de uma porção de 100 g da farinha  
205 de rizomas de lírio-do-brejo foi de 1.284 kJ (306.83 Cal ) (Tabela 1). O conteúdo de cinzas  
206 encontrado na farinha de lírio-do-brejo (Tabela 1) também é maior que o encontrado em  
207 farinhas de arroz ( $0.47\text{-}1.44 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) (Kraithong, Lee, & Rawdkuen, 2018; Sultan, Wani, &  
208 Masoodi, 2018) e na farinha de trigo ( $0.50\text{-}0.04 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) (Kim & Kim, 2017). O alto conteúdo  
209 de carboidratos digeríveis e minerais indica que a farinha de lírio-do-brejo pode ser uma fonte  
210 energética e mineral.

211 A farinha apresentou pH próximo à neutralidade e acidez titulável de 15.25 mg de ácido  
212  $100 \text{ g}^{-1}$ . A acidez aquotitulável dos alimentos está relacionada com a presença de ácidos  
213 orgânicos, ou mesmo de ácidos graxos e aminoácidos livres. Altos valores de acidez pode  
214 indicar processo de rancidez oxidativa e deteriorização do alimento. No entanto, cada produto  
215 apresenta um teor específico, que depende da sua composição química (Santana et al., 2011).  
216 Com isso, pode se inferir que a acidez titulável da farinha de lírio-do-brejo pode está relacionada  
217 com o conteúdo significativo de lipídios.

218 A farinha extraída dos rizomas de lírio-do-brejo apresentou coloração clara, com  
219 luminosidade ( $L^*$ ) de  $85.48 \pm 0.67$ . A cromaticidade  $a^*$  igual a  $+2.87 \pm 0.68$  e cromaticidade  
220  $b^*$  igual a  $+7.35 \pm 0.45$ , enquanto o valor de croma foi de  $17.59 \pm 0.15$  e o ângulo Hue de  $80.62^\circ$   
221  $\pm 0.23$ , com tonalidade intensa amarela ligeiramente alaranjada. A presença de compostos  
222 fenólicos, antocianinas e flavonoides podem ser os responsáveis pela coloração da farinha  
223 (Sumczynshi et al., 2016). Com isso, tem-se que a adição da farinha de rizomas de lírio-do-  
224 brejo em formulações alimentícias podem influenciar a cor do produto final.

### 225 **3.2 Solubilidade em água e índice de absorção de água e óleo**

226 O índice de solubilidade está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis em  
227 água, e o da farinha de rizomas de lírio-do-brejo (Tabela 2) foi superior ao relatada para a

228 farinha de arroz ( $2.66 \pm 0.23 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) e inferior ao da farinha de taro ( $23.73 \pm 0.83 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ )  
 229 (Kaushal, Kumar, & Sharma, 2012). O índice de solubilidade em água (ISA) da farinha é  
 230 influenciado por fatores, como o conteúdo de lipídios, proteínas e a proporção de amilose e  
 231 amilopectina (Keawpeng & Meenune, 2012; Chung et al., 2011). No entanto, o alto ISA da  
 232 farinha de rizomas de lírio-do-brejo está relacionado com o elevado conteúdo de açúcares  
 233 solúveis e fibras solúveis da mesma.

234 Tabela 2. Índice de solubilidade e absorção de água e absorção de óleo da farinha de rizomas  
 235 de lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*)

Característica	Média	DP	C.V. (%)
Índice solubilidade de água (28°C) <sup>1</sup>	15.93	0.24	1.51
Índice de absorção de água (28°C) <sup>2</sup>	8.85	0.41	4.63
Índice de absorção de óleo <sup>3</sup>	2.65	0.09	3.40

236 <sup>1</sup> g 100 g<sup>-1</sup>; <sup>2</sup> g gel g<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> g precipitado g<sup>-1</sup>; DP: desvio padrão; C.V.: coeficiente de variação

237 O índice de absorção de água (IAA) da farinha representa o volume ocupado pelo amido  
 238 após entumescimento em excesso de água, o que mantém a integridade do amido em dispersão  
 239 aquosa. Farinha de arroz e de taro apresentaram IAA de  $1.73 \pm 0.00$  e  $2.45 \pm 0.19 \text{ g gel g}^{-1}$ ,  
 240 respectivamente (Kaushal, Kumar, & Sharma, 2012). Valores bem inferiores ao determinado  
 241 para a farinha de rizomas de lírio-do-brejo (Tabela 2). Além disso, esta farinha só produz uma  
 242 solução se a concentração de farinha for inferior a 10%. Quando se tem concentração maior, a  
 243 farinha absorve toda a água, formando uma pasta. Isso se deve ao alto conteúdo de fibra  
 244 alimentar apresentado pela farinha de lírio-do-brejo.

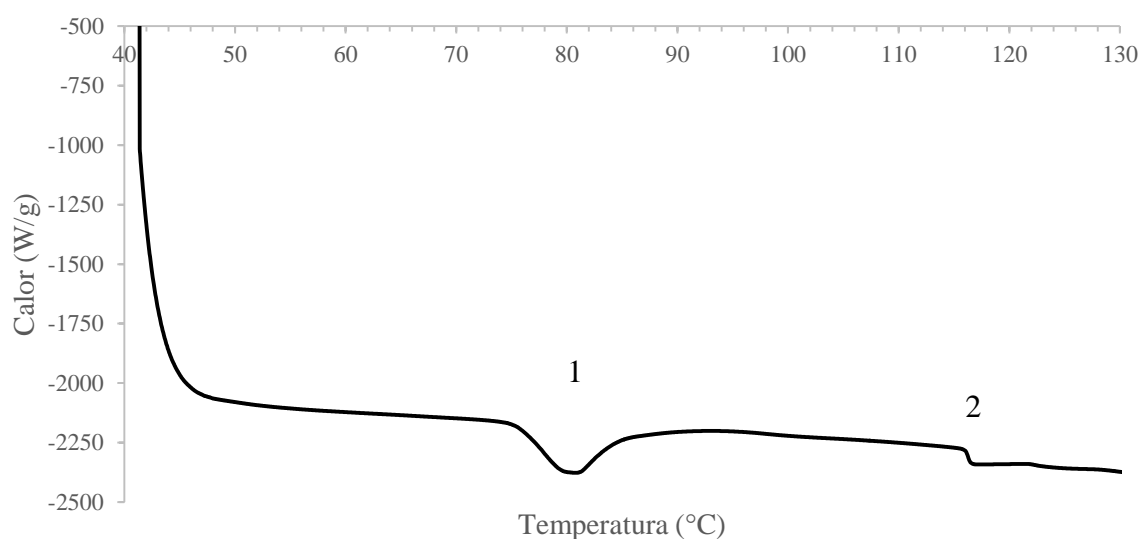
245 O índice de absorção de óleo (IAO) da farinha está relacionado com a capacidade da  
 246 proteína da farinha se unir com as moléculas de gordura, o que é uma característica de grande  
 247 importância, uma vez que a gordura atua como retentora de sabor e aumenta a palatabilidade  
 248 dos alimentos. As ligações eletrostáticas e de hidrogênio são as forças envolvidas na interação

249 lipídio-proteína. A capacidade de ligação de água e óleo das proteínas alimentares depende de  
250 fatores intrínsecos como composição de aminoácidos, conformação protéica e polaridade da  
251 superfície ou hidrofobicidade (Vaidyal, Solanke, & Gaware, 2016). Mesmo apresentando  
252 conteúdo proteico inferior ao apresentado pela farinha de arroz (5.66-7.61 g 100 g<sup>-1</sup>) (Sultan et  
253 al., 2018), a farinha de arroz apresenta IAO de 1.12 ± 0.01 g precipitado g<sup>-1</sup> (Kaushal, Kumar,  
254 & Sharma, 2012), valor inferior ao apresentado pela farinha de rizomas de lírio-do-brejo  
255 (Tabela 2), o que indica a maior capacidade de absorção de óleo pelas proteínas presentes na  
256 farinha de lírio-do-brejo. A farinha de trigo também apresenta IAO (2.02 g precipitado g<sup>-1</sup>)  
257 (Julianti et al., 2017) inferior ao da farinha de rizoma de lírio-do-brejo (Tabela 2).

### 258 **3.3 Propriedades térmicas**

259 A curva de DSC (Figura 1) apresentou um pico endotérmico (pico 1) com temperatura  
260 inicial de gelatinização de 75.54 ± 0.05 °C, de pico de 80.55 ± 0.02 °C, e final de 91.24 ± 0.55  
261 °C, com um gasto de energia de 8.44 ± 0.10 J g<sup>-1</sup> para a completa gelatinização, enquanto que  
262 a farinha de arroz apresenta pico endotérmico de gelatinização na faixa de temperatura de 66–  
263 70 °C (Ahmed, Al-Jassar, & Thomas, 2015). Os valores mais altos das temperaturas inicial, de  
264 pico e final da gelatinização em farinhas pode ser resultado de presença de amilopectina com  
265 cadeias de ramificação longas, o que confere maior cristalinidade ao grânulo do amido, sendo  
266 necessária maior quantidade de energia para desfazer as regiões cristalinas (Alcázar-Alay &  
267 Meireles, 2015).

268 Além disso, as formações de complexo de amilose-lípido e amilose-proteína em farinha  
269 pigmentada também podem aumentar a temperatura de gelatinização devido às suas estruturas  
270 rígidas (Morales-Martínez et al., 2014). Logo, o conteúdo proteico e lipídico da farinha de  
271 rizomas de lírio-do-brejo auxiliaram para a alta temperatura de gelatinização da farinha.



272

273 Figura 1. Termograma da farinha de rizoma de lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*)

274

275

276

277

278

Um segundo pico (pico 2) representou a o pico de transição vítrea da farinha de rizomas de lírio-do-brejo ( $116.29\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.24$ ), onde ocorreram alterações físico-químicas que alteram as propriedades da farinha, sendo, portanto, indicado que o processamento térmico visando a manutenção das propriedades da farinha seja realizado em temperaturas inferiores à temperatura de transição vítrea.

279

### 3.4 Componentes bioativos

280

281

282

283

284

285

286

287

A farinha dos rizomas de lírio-do-brejo apresentou capacidade antioxidante 74.72 % de descoloração do DPPH por grama de farinha seca (Tabela 3), valor inferior ao verificado em gengibre seco (90.12%) (Li et al., 2016) e na farinha de arroz marrom (85.60%) (Sultan, Wani, & Masoodi, 2018). Enquanto, Ho (2011) relatou que extratos de rizomas de lírio-do-brejo apresentaram cerca de 92.9 e 95.9% por grama de extrato aquoso e metanólico, respectivamente. A maior capacidade antioxidante dos extratos apresentados por Ho (2011) pode ser referente ao método de obtenção dos extratos, o qual foi obtido da parte polar da extração, no estudo citado, sendo este posteriormente rotoevaporado e resuspendido.

288 Tabela 3. Capacidade antioxidante e compostos fenólicos na farinha de rizomas de lírio do brejo  
289 (*Hedychium coronarium*) em diferentes tipos de extrato

Parâmetro	Média	Desvio-padrão	C.V. (%)
Capacidade antioxidante <sup>1</sup>	74.72	3.72	4.98
Compostos fenólicos <sup>2</sup>			
Extrato aquoso	1.296	0.013	1.00
Extrato etanólico	1.343	0.117	8.71
Extrato metanólico	1.483	0.101	6.81

290 <sup>1</sup>% de descoloração DPPH; <sup>2</sup> mg Eq ácido gálico (g matéria seca)<sup>-1</sup>

291 Os compostos fenólicos da farinha de rizomas de lírio-do-brejo apresentaram  
292 concentração inferior (Tabela 3), nos três extratos avaliados, ao encontrado no gengibre seco  
293 (24.70 mg eq ácido gálico/g) (Li et al., 2016) e em farinha de arroz marrom (3.24 mg eq ácido  
294 gálico/ g) (Sultan, Wani, & Masoodi, 2018).

295 Antioxidantes podem ser quaisquer substâncias que, quando presentes em baixas  
296 concentrações em comparação com as de um substrato oxidável, atrasam significativamente ou  
297 previnem a oxidação desse substrato, podendo os compostos fenólicos atuar como antioxidantes  
298 (Sousa et al., 2015). A presença de compostos antioxidantes na farinha e a manutenção destes  
299 em formulações alimentícias nas quais esta venha a ser aplicada depende do método de  
300 manuseio desta, sendo que em geral altas temperaturas tendem a reduzir estes compostos (Li et  
301 al., 2016). O consumo de alimentos com antioxidantes trás benefícios à saúde do consumidor.

### 302 **3.5 Fatores antinutricionais e ensaio de toxicidade com *Artemia salina***

303 Fatores antinutricionais e toxinas vegetais são conhecidos por interferir com a  
304 disponibilidade de nutrientes no corpo causando danos ao organismo. Entre vários fatores  
305 antinutricionais, o inibidor da tripsina, os compostos tânicos e nitratos podem ser encontrados

306 em raízes e rizomas. O nível de de cada composto varia no vegetal dependendo da variedade,  
307 cultivar, tipo e solo entre outros fatores (Kaushal, Kumar, & Sharma, 2012).

308 Tabela 4. Fatores antinutricioanis na farinha de rizomas de lírio-do-brejo (*Hedychium*  
309 *coronarum*)

Fator	Média	Desvio-padrão
Nitratos <sup>1</sup>	1.26	0.16
Taninos <sup>2</sup>	0.655	0.021
Inibidor de tripsina <sup>3</sup>	ND	ND

310 <sup>1</sup>g kg<sup>-1</sup>; <sup>2</sup> g ácido tânico (100 g)<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> unidades de tripsina inibida mg<sup>-1</sup>; ND: não detectado

311 A farinha de rizomas de lírio-do-brejo apresentou 1.26 g de nitratos 100 g<sup>-1</sup> (Tabela 4).  
312 Estes compostos são absorvidos naturalmento do solo pela planta, e podem trazer malefícios à  
313 saúde do consumidor quando consumido em grande quantidade (Steiner et al., 2017). A  
314 Organização Mundial para Agricultura e Alimentação (OMAA) e a Organização Mundial da  
315 Saúde (OMS) estabeleceram como admissível a dose diária de 3.65 mg do íon nitrato por kg de  
316 peso corporal. Uma pessoa de 70 kg estaria ingerindo, em uma porção de 100 g de farinha de  
317 rizomas de lírio-do-brejo, o equivalente a 1.26 mg de nitrato no dia, o que é inferior que ao  
318 valor máximo recomendado pela OMS.

319 A farinha de rizomas de lírio-do-brejo apresentou 0.655 g ácido tânico (100 g)<sup>-1</sup> de ácido  
320 tânico (Tabela 3). Compostos polifenólicos como taninos são conhecidos por interferir com a  
321 digestão e absorção de alimentos (Kaushal, Kumar, & Sharma, 2012). O baixo conteúdo de  
322 compostos tânicos correlaciona com o pH próximo à neutralidade (Tabela 1). Quanto aos  
323 inibidores da tripsina, estes podem interferir na digestão das proteínas e causar transtornos  
324 pancreáticos (Li et al., 2017), sendo comun a presença destes compostos em grãos de soja e  
325 feijão cru. Não foi detectada a presença de compostos que inibem a tripsina na farinha de lírio-  
326 do-brejo (Tabela 4).

327 Os extratos aquosos com concentração de 5 e 10% da farinha de rizomas de lírio do  
328 brejo apresentaram taxa de mortalidade para a *Artemia salina* de 27.5% e 35%,  
329 respectivamente. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), são consideradas tóxicas,  
330 as substâncias que em concentrações menores que 1000 ppm (0.1%) atingem uma taxa de  
331 mortalidade de 50% da população de *Artemia salina* (Meyer et al., 1982), ou seja, a farinha de  
332 rizomas de lírio-do-brejo apresentou baixa toxicidade, uma vez que para matar pelo menos 50%  
333 dos animais (*Artemia salina*) seria necessária extratos com concentração superior a 10%.

334 A baixa toxicidade apresentada pelos extratos aquosos da farinha de rizomas de lírio-  
335 do-brejo pode estar relacionada com a presença de compostos antioxidantes, e ao baixo  
336 conteúdo de compostos fenólicos e fatores antinutricionais (Libralato et al., 2016). Além disso,  
337 estudo mostra que o óleo presente nos rizomas do lírio-do-brejo apresentou atividade larvicidal  
338 para as larvas do mosquito *Aedes aegypti* (L.), antimicrobiana, citotóxica e antiinflamatória  
339 (Hartati, Suganda, & Fidrianny, 2014), o que certamente contribuiu para a morte de parte das  
340 artemias. No mais, estudo mostrou que o óleo essencial de *Alpinia purpurata* (também da  
341 família zingiberaceae) apresentou potencial para uso como inseticida contra *Sitophilus zeamais*  
342 Motsch. (*Coleoptera: Curculionidae*), por apresentar ação repelente e agir como um anti-  
343 nutricional na dieta destes. Isso, devido a presença de compostos como alguns hidrocarbonetos  
344 de monoterpene e monoterpene oxigenados (de Lira et al., 2015).

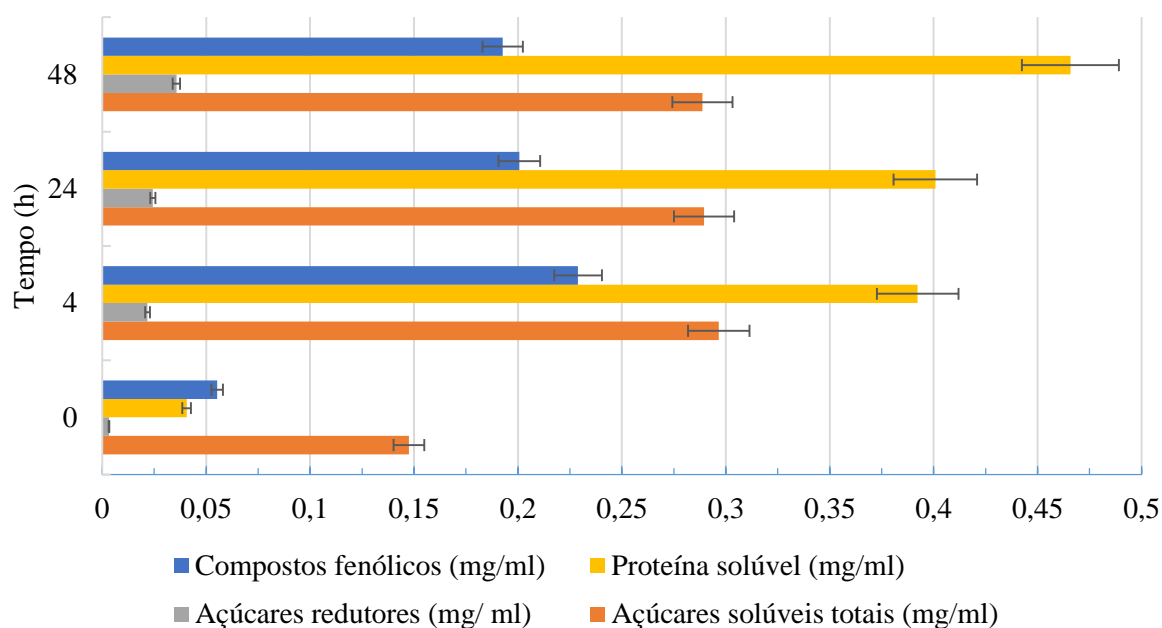
### 345 **3.6 Ensaio para produção de CMCase e Xilanase por fermentação semissólida com *S.*** 346 ***thermocerradoensis* I3 utilizando como substrato a farinha de rizomas lírio-do-brejo**

347 A aplicação da farinha de rizomas de lírio-do-brejo para a produção dos extratos  
348 enzimáticos em fermentação semi-sólida produziu extratos que apresentaram baixa atividade  
349 enzimática para a xilanase ( $0.945 \pm 0.12 \text{ U mL}^{-1}$ ) e para CMCase ( $2.37 \pm 0.23 \text{ U mL}^{-1}$ ), quando  
350 comparado com os resultados obtidos por Gama (2016). Este cultivou em fermentação semi-  
351 sólida em meio mínimo suplementado com farelo de trigo como fonte de carbono, a mesma

352 bacteria *S. thermocerradoensis* I3, por 4 dias a 37 °C, e reportou a produção de CMCase de  
353 2.92 U mL<sup>-1</sup> e xilanase de 12.34 U mL<sup>-1</sup> após 72 h. Fatores como a umidade, o pH e a interação  
354 entre as variáveis influenciam de maneira significativa para a produção destas enzimas (Oliveira  
355 Júnior, 2014), sendo que para cada espécie de microrganismo utilizado, existe um valor ótimo de  
356 umidade do substrato para o crescimento celular, que pode não coincidir com o melhor valor para  
357 a expressão do produto que se pretende obter no processo, como por exemplo, enzimas (Amorim,  
358 2011). Além disso, a alta concentração de carboidratos (Tabela 1) como açúcares e amido, pode ter  
359 contribuído negativamente para a produção dos extratos enzimáticos, uma vez que o microrganismo  
360 teria a disponibilidade dos nutrientes necessários ao seu desenvolvimento sem a necessidade de  
361 produzir enzimas celulolíticas para a aquisição destes.

### 362 **3.7 Hidrólise enzimática da farinha de lírio-do-brejo**

363 As soluções farináceas e o extrato enzimático produzido a partir da bactéria  
364 *Streptomyces thermocerradoensis* I3 em cultivo semi-sólido de farelo de trigo, apresentaram  
365 um aumento no teor de açúcares redutores e totais (Figura 2), o que demonstrou que a enzima  
366 atuou na degradação de xilanas e material celulósico. O aumento do conteúdo de açúcar se  
367 deveu à quebra de compostos celulósicos (polisacarídeos) em açúcares de menor peso molecular  
368 e redutores (Martínez, Pico, & Gómez, 2015; Khawla et al., 2014). No entanto, o aumento do  
369 teor de açúcar redutor não foi o suficiente para a posterior aplicação dessa farinha para a  
370 produção de fermentado alcoólico.



371

372 Figura 2. Açúcares solúveis totais e redutores, compostos fenólicos e proteína solúvel na  
 373 solução de farinha durante o tempo de exposição com o extrato enzimático

374 O conteúdo de compostos fenólicos e proteínas também aumentou com a atuação dos  
 375 extratos enzimáticos (Figura 2), pois a degradação dos componentes da parede celular, na qual  
 376 compostos fenólicos e proteínas ficam ligados. Os compostos fenólicos ligados a  
 377 macromoléculas da parede celular permanecem nos resíduos correspondentes após extração  
 378 com solventes. No entanto, estes podem ser liberados com a atuação enzimática, que degrada  
 379 as macromoléculas nas quais estes estavam ligados. O aumento do teor de proteínas solúveis  
 380 pode ter sido resultado da liberação de complexos proteicos associados a polissacarídeos e a  
 381 compostos fenólicos, que foram liberados com a hidrólise (Domínguez-Rodríguez, Marina, &  
 382 Plaza, 2017; Linhares Carreira et al., 2011). Portanto, a hidrólise enzimática não foi eficiente  
 383 para tornar a farinha de rizomas de lírio-do-brejo fermentecível o suficiente para a produção de  
 384 etanol, no entanto contribuiu para o aumento do conteúdo de fenólicos, proteínas solúveis, e  
 385 açúcares redutores e totais, sendo portanto, um processo indicado para o enriquecimento de  
 386 farinhas, sendo no entanto, indicado o aprofundamento do estudo para melhor definição do

387 tempo de exposição para a obtenção de uma concentração de compostos que não comprometam  
388 negativamente as características sensoriais do produto, como por exemplo o aumento da  
389 adstringência do produto devido ao aumento excessivo do conteúdo de compostos fenólicos.

#### 390 **4 CONCLUSÃO**

391 A farinha de rizomas de lírio-do-brejo possui potencial para ser utilizada pela indústria  
392 de alimentos. Apresenta alta capacidade antioxidante e baixo conteúdo de compostos fenólicos,  
393 não sendo substrato ideal para a produção de extratos enzimáticos a partir do cultivo semi-sólido  
394 com a bactéria *Streptomyces thermocerradoensis* I3, e nem indicada para a produção de  
395 fermentados alcoólicos, sendo que a hidrólise enzimática desta pode ser indicada para o  
396 enriquecimento desta.

#### 397 **REFERÊNCIAS**

- 398 Ahmed, J., Al-Jassar, S., & Thomas, L. (2015). A comparison in rheological, thermal, and  
399 structural properties between Indian Basmati and Egyptian Giza rice flour dispersions as  
400 influenced by particle size. *Food Hydrocolloid*, 48, 72-83.
- 401 Alcazar-Alay, S. C., & Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications  
402 and applications of starches from different botanical sources. *Food Science Technology*, 35,  
403 215-236.
- 404 Amorim, G. M. (2011). *Fermentação de farelo de cacau por Aspergillus niger para obtenção*  
405 *de lipase e biomassa para alimentação animal*. Dissertação. Programa de Pós Graduação em  
406 Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Itapetinga,  
407 Bahia.
- 408 Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin Junior, L. (1969). Gelatinization of  
409 Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4-12.
- 410 AOAC - Association of Official Analytical Chemists. (2012) *Official methods of analysis of*  
411 *Association of Official Analytical Chemists*. Gaithersburg: AOAC International..
- 412 Benevides, C. M. J., Souza, M. V., Souza, R. D. B., & Lopes, M. V. (2011). Fatores  
413 antinutricionais em alimentos: revisão. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 18, 67-79.

- 414 Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram  
415 quantities of protein utilizing the principle fo protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*.  
416 72, 248-254.
- 417 Brand-Wiliams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to  
418 evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- 419 Cataldo, D. A.; Haroon, M.; Schrader, L. E. & Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric  
420 determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil  
421 Science and Plant Analysis*, 6, 71-80.
- 422 Chung, H. J., Liu, Q., Lee, L., & Wei, D. (2011). Relationship between the structure,  
423 physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose  
424 contents. *Food Hydrocolloid* , 25, 968-975.
- 425 Coorey, R., Tjoe, A., & Jayasena, V. (2014). Gelling properties of chia seed and flour.  
426 *Journal of food science*, 79(5), 859-866.
- 427 Costantini, L., Lukšič, L., Molinari, R., Kreft, I., Bonafaccia, G., Manzi, L., & Merendino, N.  
428 (2014). Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in  
429 flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. *Food Chemistry*, 165, 232-240.
- 430 de Lira, C. S., Pontual, E. V., de Albuquerque, L. P., Paiva, L. M., Paiva, P. M. G., de  
431 Oliveira, J. V., & Navarro, D. M. d. A. F. (2015). Evaluation of the toxicity of essential oil  
432 from *Alpinia purpurata* inflorescences to *Sitophilus zeamais* (maize weevil). *Crop Protection*,  
433 71, 95-100.
- 434 Domínguez-Rodríguez, G., Marina, M. L., & Plaza, M. (2017). Strategies for the extraction  
435 and analysis of non-extractable polyphenols from plants. *Journal of Chromatography A*,  
436 1514, 1-15.
- 437 El Anany, A. M. (2015). "Nutritional composition, antinutritional factors, bioactive  
438 compounds and antioxidant activity of guava seeds (*Psidium Myrtaceae*) as affected by  
439 roasting processes." *Journal Food Science Technology*, 52, 2175-2183.
- 440 Endringer, D. C., Taveira, F. S. N., Kondratyuk, T. P., Pezzuto, J. M. & Braga F. C. (2014).  
441 Cancer chemoprevention activity of labdane diterpenes from rhizomes of *Hedychium  
442 coronarium*. *Revista Brasileira Farmacognosia*, 24, 408-412.
- 443 Gama, Aline Rodrigues. produção e caracterização de celulasas e xilanases produzidas por  
444 *Streptomyces thermocerradoensis* i3 em fermentação semi-sólida. 84f. (Dissertação)-Instituto  
445 de parasitologia tropical e saúde publica, Universidade federal de goiás, goiânia, 2016.
- 446 Gendy M, & Bondkly A. (2014). Optimization of Solid State Fermentation and Leaching  
447 Process Parameters for Improvement Xylanase Production by Endophytic *Streptomyces* sp.  
448 ESRAA-301097. *Microbial & Biochemical Technology*, 6.

- 449 Hartati, R., Suganda, A. G., & Fidrianny, I. (2014). Botanical, Phytochemical and  
 450 Pharmacological Properties of Hedychium (Zingiberaceae) – A Review. *Procedia Chemistry*,  
 451 13(Supplement C), 150-163.
- 452 Ho, J. C. (2011). Antimicrobial, mosquito larvicidal and antioxidant properties of the leaf and  
 453 rhizome of Hedychium coronarium. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 58, 563-567.
- 454 Instituto Hórus. *Base de dados nacional de espécies exóticas invasoras I3N Brasil*, Instituto  
 455 Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis – SC.  
 456 <http://i3n.institutohorus.org.br/www>. Acesso em 17/07/2016.
- 457 Joshia, S., Chanotiya, C. S., Agarwala, G., Prakasha, O., Panta, A. K., Chandra S. & Mathela,  
 458 C. S. (2008). Terpenoid Compositions, and Antioxidant and Antimicrobial Properties of the  
 459 Rhizome Essential Oils of Different Hedychium Species. *Chemistry & Biodiversity*, 5, 299-  
 460 309.
- 461 Kakade, M. L., Rackis, J. J., Mcghee, J. E. & Puski, G. (1974). Determination of trypsin  
 462 inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal*  
 463 *Chemistry*, 51, 376-382.
- 464 Kaushal, P., Kumar, V., & Sharma, H. K. (2012). Comparative study of physicochemical,  
 465 functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza*  
 466 *sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *LWT - Food Science and*  
 467 *Technology*, 48, 59-68.
- 468 Keawpeng, I., & Meenune, M., 2012. Physicochemical properties of organic and inorganic  
 469 Phatthalung Sungyod rice. *International Food Research Journal*, 19, 857-861.
- 470 Khawla, B. J., Sameh, M., Imen, G., Donyes, F., Dhouha, G., Raoudha, E. G., & Oumèma,  
 471 N.-E. (2014). Potato peel as feedstock for bioethanol production: A comparison of acidic and  
 472 enzymatic hydrolysis. *Industrial Crops and Products*, 52, 144-149
- 473 Kiem, P. V., Anh, H. L. T., Nhiem, N. X., Minh, C. V., Thuy, N. T. K., Yen, P. H., Hang, D.  
 474 T., Tai, B. H., Mathema, V. B., Koh, Y.-S. & Kim, Y. H. (2012). Labdane-Type Diterpenoids  
 475 from the Rhizomes of *Hedychium coronarium* Inhibit Lipopolysaccharide-Stimulated  
 476 Production of Proinflammatory Cytokines in Bone Marrow-Derived Dendritic Cells.  
 477 *Chemical Pharmaceutical Bulletin*, 60, 246-250.
- 478 Kim, M. J., & Kim, S. S. (2017). Utilisation of immature wheat flour as an alternative flour  
 479 with antioxidant activity and consumer perception on its baked product. *Food Chemistry*, 232,  
 480 237-244.
- 481 Kraithong, S., Lee, S., & Rawdkuen, S. (2018). Physicochemical and functional properties of  
 482 Thai organic rice flour. *Journal of Cereal Science*, 79, 259-266.
- 483 Kunitz, M. (1947). Crystalline soybean trypsin inhibitor; II. General properties. *The Journal*  
 484 *of General Physiology*, 30, 291-310.

- 485 Li, Y., Hong, Y., Han, Y., Wang, Y., & Xia, L. (2016). Chemical characterization and  
486 antioxidant activities comparison in fresh, dried, stir-frying and carbonized ginger. *Journal of*  
487 *Chromatography B*, 1011, 223-232.
- 488 Libralato, G., Prato, E., Migliore, L., Cicero, A. M., & Manfra, L. (2016). A review of  
489 toxicity testing protocols and endpoints with *Artêmia spp.* *Ecological Indicators*, 69, 35-49
- 490 Linhares Carreira, R., Dias Medeiros Silva, V., Gonçalves Lima, L., Aley Morais, H., & Pinto  
491 Coelho Silvestre, M. (2011). Perfil peptídico de hidrolisados proteicos da farinha de trigo.  
492 *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41(4).
- 493 Lorenzi, H. & Souza, H. M. De. (2015). *Plantas para Jardim no Brasil: Herbáceas,*  
494 *arbustivas e trepadeiras.* (2 nd ed.). Nova Odessa, SP: Editora Plantarum.
- 495 Martínez, M. M., Pico, J., & Gómez, M. (2015). Physicochemical modification of native and  
496 extruded wheat flours by enzymatic amylolysis. *Food Chemistry*, 167, 447-453.
- 497 Meyer, B. N., Ferrigni, N. R., Putnan, J. E., Jacobsen, L. B., Nichols, D. E., Mcl. Aughlin, J.  
498 (1982). Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Journal of*  
499 *Medical Plant Research*, 45, 31-34.
- 500 Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.  
501 *Analytical Chemistry*, 31, 426-428.
- 502 Morales-Martínez, L. E., Bello-Perez, L. A., Sanchez-Rivera, M. M., Ventura-Zapata, E., &  
503 Jimenez-Aparicio, A. R. (2014). Morphometric, physicochemical, thermal, and rheological  
504 properties of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars indica japonica. *Food Nutrition Science*, 5, 271-  
505 279.
- 506 Oliveira Júnior, S. D. De. (2014). *Produção de enzimas por fungos em fermentação semi-*  
507 *sólida utilizando bagaço de coco e pedúnculo de caju como substratos.* (Dissertação)  
508 Programa de Pós Graduação em Engenharia Química – PPGEQ, Área de Concentração:  
509 Engenharia Química, Natal/RN, Brasil.
- 510 Pellegrini, M., Lucas-Gonzales, R., Ricci, A., Fontecha, J., Fernández-López, J., Pérez-  
511 Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2018). Chemical, fatty acid, polyphenolic profile,  
512 techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium*  
513 *quinoa* Willd) seeds. *Industrial Crops and Products*, 111, 38-46.
- 514 Ramada, M. H. S., Lopes, F. A. C., Ulhoa, C. J., & Silva, R. N. (2010). Optimized microplate  
515  $\beta$ -1, 3-glucanase assay system for *Trichoderma spp.* Screening. *Journal of Microbiological*  
516 *Methods*, 81, 6-10.
- 517 Santana, F. C., Silva, J. V., Alves, A., Santos, A., Wartha, E. R. D. S. A., Marcellini, P. S., &  
518 Silva, M. A. A. P. (2012). Desenvolvimento de biscoito rico em fibras elaborado por  
519 substituição parcial da farinha de trigo por farinha da casca do maracujá amarelo (*passiflora*  
520 *edulis flavicarpa*) e fécula de mandioca (*Manihot Esculenta* Crantz). *Alimentos e Nutrição*,  
521 22(3), 391-399.

- 522 Santos, S. B., Pedralli, G. & Meyer, S. T. (2005). Aspectos da fenologia e ecologia de  
523 *Hedychium coronarium* (Zingiberaceae) na estação ecológica do Tripuí, Ouro Preto-MG.  
524 *Planta Daninha*, 23, 175-180.
- 525 Shekhar, T. C. & Anju, G. A (2015). Comprehensive review on *Hedychium coronarium* j.  
526 Koenig. (dolanchampa / kapurkachri). *International Journal Research Ayurveda*  
527 *Pharmacology*, 6, 23-32.
- 528 Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other  
529 oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in*  
530 *Enzymology*, 299, 152-178.
- 531 Sousa, S., Pinto, J., Rodrigues, C., Gião, M., Pereira, C., Tavaría, F., & Pintado, M. (2015).  
532 Antioxidant properties of sterilized yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour. *Food*  
533 *Chemistry*, 188, 504-509.
- 534 Steiner, F., Zoz, T., Ruppenthal, V., & de Moraes Echer, M. (2017). Acúmulo de nitrato e  
535 produção de chicória (*Cichorium endivia* L.) submetida à adubação nitrogenada sob cultivo  
536 protegido. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, 9(1), 52-70.
- 537 Sultan, N., Wani, I. A., & Masoodi, F. A. (2018). Moisture mediated effects of  $\gamma$ -irradiation  
538 on physicochemical, functional, and antioxidant properties of pigmented brown rice (*Oryza*  
539 *sativa* L.) flour. *Journal of Cereal Science*, 79, 399-407.
- 540 Sumczynski, D., Kotaskova, E., Druz bikova, H., Mlcek, J., 2016. Determination of contents  
541 and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and in vitro digestibility of  
542 commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Food Chemistry*, 211, 339-346.
- 543 Vaidyal, A., Solanke, N. D., & Gaware, K. (2016). Chemical Composition, Physicochemical  
544 And Functional Properties Of Custard Apple (*Annona Squamosa*) Seed Flours And Protein  
545 Isolate. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 5, 205-209.
- 546 Waterhouse, A. L. (2002). Polyphenolics: Determination of total phenolics. In: EROLSTAD,  
547 R. E. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York: John Wiley & Sons, cap.  
548 1.1, p. 111-118.
- 549 Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P. & Chang, Y. K. (2009). Physicochemical, rheological,  
550 morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn  
551 starches. *Ciência Tecnologia Alimentos*, 29, 748-753.
- 552 Wrolstad, R. E. (2001). *Current protocols in food analytical chemistry*. New York: John  
553 Wiley & Sons, Unit. F1.2, p. 1-13.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O amido de algodãozinho-do-campo possui características químico-estruturais, térmicas e tecnológicas peculiares, bem diferentes das apresentados por amidos muito utilizados comercialmente (batata e milho), com amplo intervalo de temperatura de gelatinização (início de 74.33°C, de pico 78.47°C e a final 92.25°C), e sob temperatura de cozimento absorve menos água e se solubiliza menos que o amido de milho, mantendo mais a estrutura dos grânulos no produto final.

O amido de batata-de-teiú apresentou características químico-estruturais, térmicas e tecnológicas peculiares e adequadas para uso na indústria de alimentos e farmacêutica, sendo que este apresentou baixa tendência à retrogradação.

O amido de lírio-do-brejo apresentou alto teor de amilose (59.16%), ausência da cruz de malta sob luz polarizada, alta tendência à retrogradação e aumento da solubilidade e do poder de entumescimento com o aumento da temperatura.

O amido dos rizomas de lírio-do-brejo modificado em concentração de 12.5 g 100 g<sup>-1</sup>, 15 min de exposição e intensidade de 62% apresentou aumento médio na solubilidade, na capacidade de absorção de água, redução da temperatura de pasta, e redução da tendência à retrogradação.

O ultrassom por sonda (20 kHz, 500 W) é eficiente na modificação do amido de rizomas de lírio-do-brejo, conferindo características térmicas e tecnológicas diferenciadas em função da combinação de variáveis utilizadas durante o processo de modificação.

A farinha de raízes de algodãozinho-do-campo apresentou elevado teor de carboidratos, potencial antioxidante, presença de compostos fenólicos, e antinutrientes nitratos, taninos e inibidores de tripsina.

A farinha de batata-de-teiú apresentou altos teores de fibras alimentares total, insolúvel e solúvel, proteína e cinzas, potencial antioxidante, maior concentração de compostos fenólicos em extratos aquosos e metanólicos, presença de nitratos, taninos e inibidores de tripsina. Sendo indicado o aprofundamento dos estudos, devido a presença dos antinutricionais e da toxicidade apresentada no teste com *Artêmia salina*, para o posterior uso na indústria de alimentos.

A farinha de lírio-do-brejo apresentou elevado teor de carboidratos, resíduo mineral fixo, e fibra alimentar total, potencial antioxidante inferior ao gengibre, baixa concentração de compostos fenólicos, presença de nitratos, taninos e ausência de inibidores de tripsina.

De maneira geral, as farinhas possuem características físicas, químicas, tecnológicas e nutricionais peculiares, com potencial para serem utilizadas pela indústria de alimentos, não sendo substrato ideal para a produção de extratos enzimáticos a partir do cultivo semissólido com a bactéria *Streptomyces thermocerradoensis* I3, e nem indicada para a produção de fermentados alcoólicos.

## ANEXO I: Normas Food Hydrocolloids (Capítulo 4 – Artigo submetido)



Juliana Aparecida Correia Bento <julianaap.ufg@gmail.com>

---

### Successfully received: submission **EXTRACTION AND CHEMICAL-STRUCTURAL, THERMAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE WHITE GARLAND-LILY STARCH (Hedychium coronarium J. König) for Food Hydrocolloids**

1 mensagem

---

**Food Hydrocolloids** <EvisSupport@elsevier.com>  
Responder a: foodhyd@elsevier.com  
Para: julianaap.ufg@gmail.com

26 de janeiro de 2018 15:49

*This message was sent automatically. Please do not reply.*

Ref: FOODHYD\_2018\_149

Title: EXTRACTION AND CHEMICAL-STRUCTURAL, THERMAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE WHITE GARLAND-LILY STARCH (Hedychium coronarium J. König)

Journal: Food Hydrocolloids

Dear Miss. Bento,

Thank you for submitting your manuscript for consideration for publication in Food Hydrocolloids. Your submission was received in good order.

To track the status of your manuscript, please log into EVISE® at: [http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?JRNL\\_ACR=FOODHYD](http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?JRNL_ACR=FOODHYD) and locate your submission under the header 'My Submissions with Journal' on your 'My Author Tasks' view.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,