



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

José Francisco dos Santos Silveira Junior

**Caracterização de Amidos de Plantas Alimentícias não Convencionais (PANC's) e
Relação com Amidos Fisicamente Modificados de Mandioca**

FLORIANÓPOLIS

2022

José Francisco dos Santos Silveira Junior

**Caracterização de Amidos de Plantas Alimentícias não Convencionais (PANC's) e
Relação com Amidos Fisicamente Modificados de Mandioca**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Ciência dos Alimentos da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do
título de Doutor em Ciência dos Alimentos.
Orientadora: Profa. Dra. Alicia de Francisco

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silveira Junior, José Francisco dos Santos
Caracterização de amidos de plantas alimentícias não
convencionais (PANC's) e relação com amidos fisicamente
modificados de mandioca / José Francisco dos Santos
Silveira Junior ; orientadora, Alicia de Francisco, 2022.
189 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Ciência dos Alimentos. 2. Amidos. 3. Annealing. 4.
Panc's. I. Francisco, Alicia de . II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos
Alimentos. III. Título.

José Francisco dos Santos Silveira Junior

**Caracterização de Amidos de Plantas Alimentícias não Convencionais (PANC's) e
Relação com Amidos Fisicamente Modificados de Mandioca**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profª. Dra. Edna Regina Amante
Universidade Federal do Pará

Dra. Cristiane Vieira Helm
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Prof. Dr. Pedro Manique Barreto
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Ciência do Alimentos

Profª. Dra. Itaciara Larroza Nunes

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos

Profª. Dra. Alicia de Francisco
Orientadora

Florianópolis, 2022.

*Aos meus avós: Hulda dos Santos Silveira e Wilson Manoel de Oliveira Silveira (in
memorian)*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A la pucha que o tempo passou ligeiro! Como sempre, agradeço primeiramente a Deus por tudo. Parece que foi ontem, que minha mãe (Maria Rejane Rajab) disse: “Filho! Fiz a tua inscrição para o vestibular da UTFPR, te conhecendo escolhi um curso que tenho certeza que você irá amar”. Dito e feito, passei no vestibular e foi amor à primeira vista! Imediatamente contei com o apoio do meu pai (José Francisco dos Santos Silveira), que com sua sabedoria, sempre buscou utilizar as palavras para me impulsionar para o sucesso.

Logo na matrícula a secretária da universidade falou: “Um rapaz bonito assim, vai sair daqui casado”. Dito e feito! Já no primeiro semestre conheci a minha companheira de vida (Francieli Braghini - Fran), do tipo alma gêmea mesmo, parceira que enfrenta junto qualquer desafio (no estilo do clichê: na alegria e na tristeza, na saúde e na doença, na riqueza e na pobreza e nem a morte separa). Esta parceria rendeu os seres mais preciosos de nossas vidas, nossos filhos Vicente Francisco Silveira e Joaquim Luis Silveira. Criaturas que amplificaram meu limiar de amor.

Agradeço a meus queridos sogros Leci Lucia Boff e Vilmar de Souza Nunes, e a Edson Luiz Braghini (*in memoriam*), e também minha querida cunhada Caroline de Souza Nunes por toda torcida e incentivo.

Nossa relação (minha e da Fran) com a ciência teve uma fada madrinha chamada Profa. Dra. Ivane Benedetti Tonial, mãe científica, incentivadora que nos abriu as portas do mundo da pesquisa, orientando-nos na iniciação científica durante toda graduação, com muita produtividade e entusiasmo.

Não posso deixar de mencionar o quanto sou feliz por ter sido acolhido com ternura durante a graduação, pelo grupo PET Alimentos, coordenado pelo Amigo e Professor Dr. Alexandre Alfaro, profissional virtuoso, que tive a honra de ser tutorado. Na oportunidade tive o privilégio de estreitar relação com o irmão de caminhada, Claudio Eduardo Cartabiano Leite, o qual além de estudarmos juntos, fizemos história no acústico PET e no mundão, com meu violão e seu batoque, além de desfrutarmos juntos de belíssimas farras homéricas, na consagrada “república Djambaleke”.

Encarando o sonho de fazer ciência, fui aprovado e acolhido pelo Programa de Pós Graduação, o qual dedico minha mais sincera gratidão, incluindo cada professor que de uma forma ou de outra contribuiu para a conquista deste título. Seja por alguma lição edificante ou por algum simples sorriso em algum corredor, todos fazem parte.

Em especial agradeço a Profa. Dra. Carmen de Oliveira Muller, mulher inspiradora que além de me orientar no mestrado, me ajudou a entender como é a arte de correr atrás de um ideal.

A Profa. Dra. Edna Regina Amante, minha Guru, oráculo, a qual sempre consultei e pude beber do seu conhecimento, com o carinho, entusiasmo e virtuosidade, características intrínsecas deste grandioso ser. Meu muito obrigado!

Ao Prof. Dr. Cezar Butignol agradeço pela prontidão, disposição e garra para desbravar a nossa biodiversidade litorânea em busca de minhas preciosas Panc's. Foram inesquecíveis ensinamentos e transmissão de muito conhecimento.

A Profa. Dra. Alícia de Francisco, minha orientadora e amiga, no sentido amplo da palavra. Com brilho nos olhos abriu as portas do laboratório CERES com a acolhida de uma mãe. São tantos momentos inesquecíveis, que nem cabem nestes simples agradecimentos.

Quanto aos colegas, são tantos. Sou grato pela oportunidade da convivência, da socialização e da pluralidade cultural. Considero enriquecedor e decerto eternizado na memória e no coração estes 08 anos (contando mestrado e doutorado) bem vividos no CAL-CCA.

As queridas amigas e colegas que passaram o legado do LAB CERES, Dra. Bruna Mattioni e Dra. Sandra Milena Vasquez Mejía e a animadíssima e sempre disposta IC Bruninha agradeço por todo apoio e cumplicidade.

Sou grato a todos da ilustre “Autarquia”, grupo dos cientistas, intelectuais, “*bon-vivant*”, amigos, alunos do programa de pós graduação em Ciência dos Alimentos, formado por: Laercio Maciel Galvão, Bruno Luiz Ferreira, Gerson Lopes Teixeira e novamente o mano Claudio Eduardo Cartabiano Leite. Além dos ilustres amigos Idejan Padilha Gross e Mauro Vestena (*in memoriam*) que juntos formamos um trio incrível e eterno.

Agradeço a todas as parcerias que tornaram este trabalho tecnicamente possível:

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Maduro de Campos do LDRX agradeço pelo entusiasmo, atenção e recursos dedicados na execução das análises de Difração de Raios-X.

Ao Prof. Dr. Marcelo Maraschin agradeço pela prontidão, celeridade, disponibilidade de recursos e material humano, para a condução das análises de Citotoxicidade aguda. Agradeço a Dra. Daniela Sousa Coelho pela empatia, coleguismo e auxílio com as análises.

Agradeço ao Prof. Dr. Daniel Lazaro Gallindo Borges pela disponibilidade e parceria com a execução das análises de minerais.

Agradeço a Central de Análises do Depto. de Eng. Química e Eng. de Alimentos (EQA) UFSC, em especial aos técnicos Dr. Leandro Guarezi Nandi e a Msc. Fernanda Volpato,

pela presteza e competência a qual auxiliaram e executaram as análises de TPA, dentre outras realizadas em trabalhos paralelos.

Agradeço ao Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da UFSC (LCME), em especial a técnica Deise Rebelo Consoni por toda dedicação com a execução das análises.

Agradeço aos técnicos de laboratório e servidores do Dpto. de Ciência dos Alimentos da UFSC e também aos profissionais do LABCAL os quais foram sempre solícitos e parceiros.

Do lado de fora da academia, muitos foram os responsáveis pelo árduo título de Dr. Em meio as tortuosidades da vida, sempre contei com muito afeto e mãos estendidas. Sou grato a todos irmãos que a ilha me deu. Aos Dindos Ana Luiza Brasil e Luiz Cesar Aguiar (LuCA), literalmente sem palavras, mas com muito sentimento, de amor e gratidão. Meus mestres.

Aos Compadres, meus irmãos, companheiros de jornada, Rui Florêncio e Rívea Medri Borges, que sempre estiveram sensíveis e empáticos, que socorreram em tantas horas difíceis, minha gratidão.

Aos companheiros fraternos Douglas Reis, Michele Tavares e crianças (Raul e Miguel). A querida Gabriela Brasil e crianças (Gabriel e João), Zanis Andrade, Ariadne Farias, Daniel Ferreira (Dandam), Carlos Marques e Ivone Marques, nossa afilhada Isabela Marques agradeço de todo o coração.

A tantos e tantos que ficaram fora desse singelo agradecimento, meu cordial carinho e gratidão. Guardarei para sempre, todos na memória e no coração. Meu muito obrigado!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

Faça, Fuce, Forçe...

(Raul Seixas)

RESUMO

Amidos nativos comerciais são limitados quanto as propriedades funcionais e amidos modificados quimicamente apresentam limites impostos pela legislação específica de cada país. O objetivo do trabalho foi investigar variedades vegetais tuberosas com baixa expressão comercial, que apresentem amidos com características funcionais tecnológicas desejáveis para a indústria de alimentos e verificar o efeito da modificação física dos amidos por *annealing* em duas temperaturas (40 e 60 °C), utilizando o amido de mandioca como controle. Além disso, testar a citotoxicidade dos amidos e a aplicação do amido e resíduo da extração de amido de *Cyperus esculentus* como substituto parcial de gordura em embutido emulsionado cárneo. Foram utilizadas as espécies *Canna edulis*; *Cyperus esculentus*; *Dioscorea bulbifera*; *Hedychium coronarium* e *Xanthosoma sagittifolium*. Como resultado do rendimento de extração, foram obtidos o maior e menor valor para a amostra *C. esculentus* e *H. coronarium*, respectivamente. Quanto ao teor de amilose, o amido de *C. edulis* apresentou a maior quantidade, enquanto o menor teor foi verificado para a amostra de amido de mandioca (controle). Quanto a cor dos amidos, a amostra *X. sagittifolium* e controle apresentaram maior brilho, enquanto a maior intensidade dos componentes de cor vermelha (*a positivo) e de cor amarela (*b positivo) foram verificados para a amostra *D. bulbifera*. O fósforo (P) é o mineral mais importante nos amidos de raízes e tubérculos e para este parâmetro foram verificados os maiores teores para as amostras *D. bulbifera* e *H. coronarium*, enquanto os menores teores foram verificados para as amostras *X. sagittifolium* e controle. Todos os amidos apresentaram-se seguros para o consumo humano, resultando em potenciais alternativas para a indústria alimentícia. Com relação as propriedades de pasta, os amidos modificados fisicamente por *annealing* apresentaram redução na viscosidade máxima e viscosidade final, quando comparado aos amidos nativos. No entanto, as temperaturas de pasta foram superiores para os amidos modificados. O tratamento por *annealing* reduziu o poder de inchamento e de solubilidade dos amidos, no entanto foi verificado aumento na capacidade de absorção de água e óleo, sendo estas características desejadas na indústria de alimentos. Os maiores grânulos de amido foram verificados para a amostra *C. edulis*, enquanto os menores grânulos foram verificados para a amostra *X. sagittifolium*. Os amidos modificados fisicamente por *annealing* apresentaram aumento no tamanho dos grânulos, bem como o surgimento de poros e fissuras. Independente da modificação por *annealing*, as amostras de amido apresentaram uma mistura dos padrões de cristalinidade do tipo A e do tipo B, sendo esta categoria denominada como cristalinidade do Tipo C. Com exceção da amostra de amido de *H. coronarium*, as demais amostras apresentaram redução no percentual de cristalinidade, de forma inversamente proporcional às temperaturas utilizadas na modificação por *annealing*. Na aplicação de amido e resíduo da extração de amido de *C. esculentus* como substituto parcial de gordura em embutido emulsionado cárneo, os resultados mostraram maior atividade de água nas formulações contendo resíduo, possivelmente devido ao caráter hidrofílico das fibras, quando comparado ao amido. Na análise de cor, as formulações contendo maiores teores de amido e resíduo apresentaram menor luminosidade (L*), enquanto o parâmetro da cor vermelha (a*) foi superior para a formulação com maior quantidade de resíduo e para o parâmetro da cor amarela (b*) o menor valor foi encontrado para a formulação com menor quantidade de resíduo. De modo geral os amidos apresentam características desejáveis para a indústria de alimentos, as modificações ampliaram as características funcionais dos amidos e a incorporação do amido e resíduo da extração de *C. esculentus* como substituto parcial de gordura em embutidos cárneos mostrou-se promissor.

Palavras-chave: Panc's, Amidos, Propriedades funcionais, Modificação física, Produtos emulsionados embutidos cárneos.

ABSTRACT

Commercial native starches are limited in terms of functional properties and chemically modified starches have limits imposed by the specific legislation of each country. The objective of this work was to investigate tuberous vegetable varieties with low commercial expression, which present starches with desirable technological functional characteristics for the food industry and to verify the effect of the physical modification of starches by annealing at two temperatures (40 and 60 °C), using cassava starch as a control. In addition, too the objective to test the cytotoxicity of starches and the application of starch and starch extraction residue from *Cyperus esculentus* as a partial fat substitute in emulsified meat sausage. Was utilized the species: *Canna edulis*; *Cyperus esculentus*; *Dioscorea bulbifera*; *Hedychium coronarium* and *Xanthosoma sagittifolium*. As a result of the extraction yield, the highest and lowest values were obtained for the *C. esculentus* and *H. coronarium* samples, respectively. As for the amylose content, the *C. edulis* starch showed the highest amount, while the lowest content was verified for the cassava starch sample (control). As for the color of the starches, the *X. sagittifolium* sample and the control showed greater brightness, while the highest intensity of the red (*a positive) and yellow color components (*b positive) were verified for the *D. bulbifera* sample. Phosphorus (P) is the most important mineral in root and tuber starches and for this parameter the highest levels were found for *D. bulbifera* and *H. coronarium* samples, while the lowest levels were found for *X. sagittifolium* and control samples. All starches were safe for human consumption, resulting in potential alternatives for the food industry. Regarding the paste properties, starches modified physically by annealing showed a reduction in maximum viscosity and final viscosity, when compared to native starches. However, paste temperatures were higher for modified starches. The annealing treatment reduced the swelling power and solubility of the starches, however an increase in the water and oil absorption capacity was verified, these being desired characteristics in the food industry. The largest starch granules were verified for the *C. edulis* sample, while the smallest granules were verified for the *X. sagittifolium* sample. Starches physically modified by annealing showed an increase in granule size, as well as the appearance of pores and cracks. Regardless of the modification by annealing, the starch samples showed a mixture of Type A and Type B crystallinity patterns, this category being called Type C crystallinity. With the exception of the *H. coronarium* starch sample, the other samples showed reduction in the percentage of crystallinity, inversely proportional to the temperatures used in the annealing modification. In the application of starch and residue from the extraction of starch from *C. esculentus* as a partial substitute for fat in emulsified meat sausage, the results showed greater water activity in the formulations containing residue, possibly due to the hydrophilic character of the fibers, when compared to starch. In the color analysis, the formulations containing higher amounts of starch and residue showed lower luminosity (L*), while the parameter of red color (a*) was higher for the formulation with higher amount of residue and for the parameter of yellow color (b*) the lowest value was found for the formulation with the lowest amount of residue. In general, starches have desirable characteristics for the food industry, the modifications have expanded the functional characteristics of starches and the incorporation of starch and residue from the extraction of *C. esculentus* as a partial fat substitute in meat sausages has shown promise.

Keywords: Unconventional food plants (UFP), Starches, Functional properties, Physical modification, Emulsified meat products.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - Imagens do rizoma e da planta de <i>Canna edulis</i> | 37 |
| Figura 2 - Imagens do tubérculo e da planta de <i>Cyperus esculentus</i> | 41 |
| Figura 3 - Imagens do bulbo e da planta <i>Dioscorea bulbifera</i> | 49 |
| Figura 4 - Imagens do rizoma e da planta de <i>Hedychium coronarium</i> | 50 |
| Figura 5 - Imagens do tubérculo e da planta de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> | 52 |
| Figura 6 - Diferença entre folhas da <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (esquerda) e <i>Colocasia esculenta</i> (direita). | 53 |
| Figura 7 - Estrutura química de amilose (a) e amilopectina (b). | 60 |
| Figura 8 - Curva de viscosidade típica em Analisador de Viscosidade Rápida (RVA) | 67 |
| Figura 9 - Fluxograma de extração dos amidos..... | 101 |
| Figura 10 - Gráfico de Pareto (amostra Ca.E)..... | 112 |
| Figura 11 - Gráfico de Pareto (amostra C.E)..... | 113 |
| Figura 12 – Valores encontrados vs. valores previstos para ajuste do modelo de delineamento experimental (amostra D.B) | 114 |
| Figura 13 - Valores observados vs. valores previstos para ajuste do modelo (amostra H.C) | 115 |
| Figura 14 - Gráfico de Pareto (amostra X.S). | 116 |
| Figura 15 - Fotos dos amidos demonstrando a cor de cada amostra | 123 |
| Figura 16 - Perfil viscoamilográfico dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C. | 143 |
| Figura 17 - Poder de inchamento ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$) dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C. | 146 |
| Figura 18 - Índice de solubilidade (%) dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C. | 148 |
| Figura 19 – Sinerese dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C. . | 150 |
| Figura 20 – Claridade de pasta dos amidos nativos e modificados | 152 |
| Figura 21 – Capacidade de absorção em água e óleo dos amidos nativos e modificados..... | 153 |
| Figura 22 – Percentual de liberação de água dos amidos nativos e modificados após congelamento e descongelamento. | 154 |
| Figura 23 - Micrografias dos amidos nativos (NAT) e após modificação por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C..... | 157 |
| Figura 24 - Distribuição de frequência dos diâmetros obtidos nos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C. | 160 |
| Figura 25 – Difração de Raio-X amidos nativos e modificados..... | 163 |
| Figura 26 - Embutidos cárneos de frango (tipo mortadela) com diferentes níveis de amido e resíduo. | 178 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 - Local de coleta das amostras de plantas alimentícias não convencionais (Panc's) e amostra controle (amido de mandioca), utilizadas no trabalho..... | 100 |
| Tabela 2 - Domínio experimental para triagem de variáveis de maior influência sobre o rendimento do processo de extração dos amidos de <i>Canna edulis</i> (Ca.E), <i>Cyperus esculentus</i> (C.E), <i>Dioscorea bulbifera</i> (D.B), <i>Hedychium coronarium</i> (H.C) e <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (X.S). | 102 |
| Tabela 3 – Design experimental codificado do planejamento fatorial 2 ⁴ para triagem de variáveis..... | 102 |
| Tabela 4 - Domínio experimental para a otimização das variáveis Mesh de peneira, Relação sólido/líquido e Tempo de trituração..... | 103 |
| Tabela 5 - Design experimental codificado do DCCR 2 ³ para otimização das variáveis para extração de amido das Panc's..... | 103 |
| Tabela 6 - Rendimento de extração de amido extraído de diferentes cultivares de plantas alimentícias não convencionais (Panc's)..... | 108 |
| Tabela 7 - Variáveis resposta do rendimento de extração via delineamento experimental para extração de amido de <i>Canna edulis</i> (Ca.E), <i>Cyperus esculentus</i> (C.E), <i>Dioscorea bulbifera</i> (D.B), <i>Hedychium coronarium</i> (H.C) e <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (X.S)..... | 111 |
| Tabela 8 - Valores de IC50 calculados e expressos em mg/Kg dos amidos nativos de mandioca (CONT), <i>Canna edulis</i> (Ca.E), <i>Cyperus esculentus</i> (C.E), <i>Dioscorea bulbifera</i> (D.B), <i>Hedychium coronarium</i> (H.C) e <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (X.S)..... | 117 |
| Tabela 9 - Composição centesimal dos amidos nativos de mandioca (CONT), <i>Canna edulis</i> (Ca.E), <i>Cyperus esculentus</i> (C.E), <i>Dioscorea bulbifera</i> (D.B), <i>Hedychium coronarium</i> (H.C) e <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (X.S). | 118 |
| Tabela 10 – Resultados obtidos para análise de cor dos amidos nativos de mandioca (CONT), <i>Canna edulis</i> (Ca.E), <i>Cyperus esculentus</i> (C.E), <i>Dioscorea bulbifera</i> (D.B), <i>Hedychium coronarium</i> (H.C) e <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (X.S), utilizando a escala CIE (L*a*b) | 123 |
| Tabela 11 - Resultados de minerais obtidos nos amidos nativos de mandioca (CONT), <i>Canna edulis</i> (Ca.E), <i>Cyperus esculentus</i> (C.E), <i>Dioscorea bulbifera</i> (D.B), <i>Hedychium coronarium</i> (H.C) e <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (X.S) e amido de mandioca (Controle)..... | 124 |
| Tabela 12 - Resultados de perfil viscoamilográfico para amostras dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60). | 142 |
| Tabela 13 – Poder de inchamento (g 100g ⁻¹) dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60)..... | 145 |
| Tabela 14- Resultados de solubilidade (%) dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60)..... | 148 |
| Tabela 15 – Sinerese dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60). | 150 |
| Tabela 16 - Formas e diâmetros (µm) dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60). | 160 |
| Tabela 17 – Cristalinidade relativa dos amidos nativos (NAT) e modificados por <i>annealing</i> a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60). | 162 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 18 - Formulações de embutidos cárneos de frango (tipo mortadela) com diferentes níveis de amido e resíduo. | 175 |
| Tabela 19 - Atividade de água, pH e cor dos embutidos cárneos de frango (tipo mortadela) com diferentes níveis de amido e resíduo..... | 178 |
| Tabela 20 - Resultados da análise de textura dos embutidos cárneos de frango (tipo mortadela) com diferentes níveis de amido e resíduo..... | 182 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 19 |
| 2 HIPÓTESE E OBJETIVOS | 22 |
| 2.1 HIPÓTESE | 22 |
| 2.2 OBJETIVO GERAL..... | 22 |
| 2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 22 |
| CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 25 |
| 1 RAÍZES TUBEROSAS NA ALIMENTAÇÃO HUMANA – EVOLUÇÃO E PANORAMA INTERNACIONAL | 27 |
| 2 PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS TUBEROSAS TROPICAIS COMO FONTE DE AMIDO ALTERNATIVO AOS COMERCIAIS MODIFICADOS | 32 |
| 3 SELEÇÃO E APRESENTAÇÃO DAS CULTIVARES | 35 |
| 3.1 <i>Canna edulis</i> | 36 |
| 3.2 <i>Cyperus esculentus</i> | 40 |
| 3.3 <i>Dioscorea bulbifera</i> | 46 |
| 3.4 <i>Hedychium coronarium</i> | 50 |
| 3.5 <i>Xanthosoma sagittifolium</i> | 52 |
| 4 CITOTOXICIDADE AGUDA | 55 |
| 5 AMIDOS: ASPECTOS GERAIS, ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DOS GRÂNULOS | 56 |
| 5.1 ASPECTOS GERAIS..... | 56 |
| 5.2 ORGANIZAÇÃO, TAMANHO, E DISTRIBUIÇÃO DOS GRÂNULOS DE AMIDO .. | 58 |
| 5.3 AMIOSE E AMILOPECTINA | 59 |
| 6 PROPRIEDADES DOS AMIDOS | 62 |
| 6.1 PADRÃO DE CRISTALINIDADE DO AMIDO..... | 63 |
| 6.2 PODER DE INCHAMENTO E SOLUBILIDADE DOS GRÂNULOS | 64 |
| 6.3 PROPRIEDADES DE PASTA | 65 |
| 6.4 SINERESE | 67 |
| 6.5 CLARIDADE DE PASTA | 68 |
| 6.6 CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E ÓLEO | 69 |
| 6.7 TEXTURA DOS GÉIS..... | 70 |
| 6.8 RESISTÊNCIA A CICLOS DE CONGELAMENTO E DESCONGELAMENTO | 72 |

| | |
|---|------------|
| 7 MODIFICAÇÕES DE AMIDOS | 73 |
| 8 APLICAÇÃO DO AMIDO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DE GORDURA EM EMULSIONADOS CÁRNEOS EMBUTIDOS | 75 |
| REFERÊNCIAS | 77 |
| CAPÍTULO 2 - EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AMIDOS NATIVOS DE PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANC'S)..... | 95 |
| 1 INTRODUÇÃO | 98 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 99 |
| 2.1 AMOSTRAS | 99 |
| 2.2 EXTRAÇÃO E RENDIMENTO DOS AMIDOS..... | 100 |
| 2.2.1 <i>Extração dos amidos via planejamento experimental.....</i> | <i>101</i> |
| 2.3 COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS | 104 |
| 2.3.1 <i>Umidade</i> | <i>104</i> |
| 2.3.2 <i>Cinzas</i> | <i>104</i> |
| 2.3.3 <i>Proteína</i> | <i>105</i> |
| 2.3.4 <i>Lipídeos</i> | <i>105</i> |
| 2.3.5 <i>Carboidratos.....</i> | <i>105</i> |
| 2.3.6 <i>Amido total</i> | <i>105</i> |
| 2.3.7 <i>Amilose</i> | <i>105</i> |
| 2.3.8 <i>Cor.....</i> | <i>105</i> |
| 2.3.9 <i>pH</i> | <i>106</i> |
| 2.3.10 <i>Teor de fósforo (P)</i> | <i>106</i> |
| 2.3.11 <i>Teor de minerais – Na, K, Ca, Zn, Mg e Fe</i> | <i>106</i> |
| 2.4 TESTE DE CITOTOXICIDADE AGUDA (VERMELHO NEUTRO) | 106 |
| 2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 107 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 108 |
| 3.1 RENDIMENTOS DE EXTRAÇÃO | 108 |
| 3.2 EXTRAÇÃO DOS AMIDOS VIA DELINEAMENTO EXPERIMENTAL | 111 |
| 3.2.1 <i>Canna edulis (Ca.E)</i> | <i>111</i> |
| 3.2.2 <i>Cyperus esculentus (C.E)</i> | <i>112</i> |
| 3.2.3 <i>Dioscorea bulbifera (D.B).....</i> | <i>114</i> |
| 3.2.4 <i>Hedychium coronarium (H.C).....</i> | <i>115</i> |
| 3.2.5 <i>Xanthosoma sagittifolium (X.S).....</i> | <i>116</i> |
| 3.3 TESTE DE CITOTOXICIDADE AGUDA | 116 |
| 3.4 COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS | 117 |
| 3.5 COR..... | 123 |
| 3.6 MINERAIS..... | 124 |
| 4 CONCLUSÃO..... | 126 |
| REFERÊNCIAS | 127 |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 3 - EFEITOS DA MODIFICAÇÃO FÍSICA (<i>ANNEALING</i>) NOS AMIDOS DE PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANC'S) | 133 |
| 1 INTRODUÇÃO | 137 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 137 |
| 2.1 AMOSTRAS | 137 |
| 2.2 MODIFICAÇÃO FÍSICA POR <i>ANNEALING</i> (ANN) | 138 |
| 2.3 PROPRIEDADES DE PASTA | 138 |
| 2.4 PROPRIEDADES FUNCIONAIS | 139 |
| 2.4.1 Poder de inchamento e solubilidade do amido | 139 |
| 2.4.2 Sinerese..... | 139 |
| 2.4.3 Claridade de pasta | 139 |
| 2.4.4 Capacidade de absorção de água e óleo..... | 140 |
| 2.4.5 Resistência a ciclos de congelamento e descongelamento | 140 |
| 2.5 ESTRUTURA DOS GRÂNULOS | 140 |
| 2.5.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)..... | 140 |
| 2.5.2 Difração de Raios-X..... | 141 |
| 2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 141 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 141 |
| 3.1 PROPRIEDADES DE PASTA | 141 |
| 3.2 PROPRIEDADES FUNCIONAIS | 145 |
| 3.2.1 Poder de inchamento..... | 145 |
| 3.2.2 Solubilidade..... | 147 |
| 3.2.3 Sinérese..... | 149 |
| 3.2.4 Claridade de pasta | 151 |
| 3.2.5 Capacidade de absorção de água e óleo..... | 153 |
| 3.2.6 Resistência a ciclos de congelamento e descongelamento | 154 |
| 3.3 ESTRUTURA DOS GRÂNULOS | 156 |
| 3.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)..... | 156 |
| 3.3.2 Difração de Raios-X..... | 161 |
| 4 CONCLUSÃO | 164 |
| REFERÊNCIAS | 166 |
| CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DE AMIDO E RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DE <i>CYPERUS ESCULENTUS</i> EM PRODUTO EMULSIONADO CARNEO EMBUTIDO DE FRANGO (TIPO MORTADELA) | 171 |
| 1 INTRODUÇÃO | 173 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 174 |
| 2.1 AMOSTRAS | 174 |
| 2.2 FORMULAÇÕES | 174 |
| 2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EMBUTIDOS CÂRNEOS..... | 176 |

| | |
|---|------------|
| 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 177 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 177 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EMBUTIDOS CARNEOS..... | 177 |
| 3.1.1 <i>Atividade de água</i> | 179 |
| 3.1.2 <i>pH</i> | 180 |
| 3.1.3 <i>Colorimetria</i> | 180 |
| 3.1.4 <i>Análise de textura</i> | 182 |
| 4 CONCLUSÃO..... | 183 |
| REFERÊNCIAS | 184 |
| 3 CONCLUSÕES FINAIS | 187 |
| 4 REFERÊNCIAS | 188 |

1 INTRODUÇÃO

O amido é a principal substância de reserva vegetal e se destaca por ser abundante, atóxico, renovável e de baixo custo, além de corresponder por cerca de 80 a 90% de todos os polissacarídeos consumidos na alimentação humana (STEPHEN; PHILLIPS, 2016; WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

O Brasil é o quinto maior produtor mundial de amido e o quarto maior produtor de amido de mandioca. As indústrias produtoras de amido movimentam anualmente bilhões de dólares, produzindo ingredientes e aditivos que são utilizados nos mais variados produtos alimentícios (CONAB, 2018; MARTINEZ; FERNANDEZ, 2019).

Os amidos de milho, batata, trigo e mandioca são os mais utilizados, principalmente como espessantes, estabilizadores de coloides, agentes gelificantes e de volume, adesivos, retentores de umidade, texturizantes e substitutos de gorduras (SHRESTHA; HALLEY, 2014; WATERSCHOOT et al., 2015).

O desenvolvimento econômico e o avanço da tecnologia conduziram a sociedade contemporânea à mudança de hábitos alimentares, de forma a atender as necessidades da vida agitada dos centros urbanos. Com isso, ocorreu o aumento do consumo de pratos congelados e semi-prontos, os quais demandam ingredientes, tais como amidos, que forneçam propriedades tecnológicas específicas, que permitam preservar às condições de qualidade e “*shelf life*” (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015; BELEWU; ABODUNRIN, 2008; MYLONA; KOLOKOTRONI; TASSOU, 2017).

Amidos nativos apresentam propriedades funcionais tecnológicas restritas à cada origem, situação a qual limita a aplicação em alimentos processados. Pois geralmente produzem pastas pouco espessas, elásticas e coesivas, principalmente devido a elevada higroscopicidade, intumescimento rápido, perda de viscosidade, alta tendência a retrogradação, baixa resistência ao esforço de cisalhamento e a tratamentos térmicos (AI; JANE, 2015; ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015; HORNUNG; ÁVILA; LAZZAROTTO et al., 2017).

Visando ampliar as aplicações dos amidos nativos, transformando-os em ingredientes adequados, processos de modificação costumam ser empregados. É possível moldar o amido de acordo com a finalidade desejada e gerar produtos amiláceos específicos, através das vias química, física, enzimática ou a combinação destas (KARAKI et al., 2016; MASINA et al., 2017; ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017).

Porém, atualmente, limites impostos pela legislação específica de cada país têm dificultado a aprovação do uso de novos reagentes químicos ou derivados para a sua modificação (EHARA; TOYODA; JOHNSON, 2018; LUALLEN, 2018).

Visando atender as necessidades do mercado, as indústrias de alimentos e os produtores agrícolas estão interessados na identificação e no desenvolvimento de novas cultivares que produzam amidos nativos, com características físico-químicas especiais, similares aos amidos comerciais modificados (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015; SANTANA; MEIRELES, 2014).

Assim, o processamento de tubérculos, raízes tuberosas, rizomas, bulbos e/ou cormos tropicais inexplorados surge como uma importante alternativa para as indústrias de amidos nativos, onde estes poderiam substituir amidos quimicamente modificados ou abrir novos mercados (FAN et al., 2016; LEONEL; CEREDA, 2002; LEONEL; OLIVEIRA; FILHO, 2005).

Diante da problemática exposta, o presente trabalho tem como objetivo investigar o rendimento de extração, a toxicidade aguda, e realizar a modificação física por *annealing* de amidos provenientes de raízes, tubérculos e bulbos de cinco plantas alimentícias não convencionais (Panc's) (*Canna edulis*, *Cyperus esculentus*, *Dioscorea bulbifera*, *Hedychium coronarium* e *Xanthosoma sagittifolium*). A partir de então, foi possível comparar as propriedades físico químicas dos amidos nativos e modificados frente ao controle (amido de mandioca comercial) submetido às mesmas condições. Além disso, testou-se o desempenho de amido de Panc's como substituto parcial de gordura em produto emulsionado cárneo.

A fim de contemplar todos os aspectos supracitados, este trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1- Revisão Bibliográfica. Apresenta uma breve revisão sobre a evolução da inserção das raízes tuberosas na alimentação humana, dentro de um panorama internacional; contextualiza o uso de plantas alimentícias não convencionais tuberosas tropicais como fonte de amido alternativo aos comerciais modificados; expõe as cultivares utilizadas no trabalho; aborda aspectos gerais, estrutura e composição e propriedade dos amidos de forma geral; apresenta aspectos relacionados à possível toxicidade aguda dos amidos; descreve de forma breve às modificações aplicadas aos amidos comerciais; discorre de forma breve sobre a aplicação de amidos como substituto parcial de gordura em emulsionados cárneos embutidos.

Capítulo 2- Extração e caracterização de amidos nativos: Este capítulo descreve o processo de obtenção das amostras utilizadas no trabalho (*C. edulis*, *C. esculentus*, *D. bulbifera*, *H. coronarium* e *X. sagittifolium*); apresenta a extração dos amidos via delineamento

experimental, com cálculo do rendimento das extrações; apresenta a composição e a caracterização físico química dos amidos quanto aos parâmetros de umidade, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos, amido total, cor, pH, teor de fósforo e teor de minerais; avalia a citotoxicidade aguda dos amidos.

Capítulo 3- Efeito da modificação física: O capítulo apresenta o efeito da modificação física dos amidos por *annealing* em duas temperaturas (40 e 60 °C) e apresenta os resultados de propriedades de pasta e de propriedades funcionais (poder de inchamento, solubilidade, sinérese, claridade de pasta, capacidade de absorção de água e óleo e resistência a ciclos de congelamento e descongelamento), além dos resultados de microscopia eletrônica de varredura e difração de raios-X.

Capítulo 4- Aplicação de amido como substituto parcial de gordura em embutido emulsionado cárneo: Este capítulo apresenta a caracterização quanto a atividade de água, pH, colorimetria e textura de produto emulsionado cárneo utilizando-se amido de *C. esculentus* como substituto parcial de gordura.

Por fim, apresentam-se as considerações finais a respeito do projeto de pesquisa desenvolvido, como também as perspectivas de estudos futuros para o tema abordado.

2 HIPÓTESE E OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESE

Amidos extraídos a partir de plantas alimentícias não convencionais (PANC's) tuberosas, tanto nativos quanto modificados fisicamente, podem apresentar características funcionais tecnológicas similares ou mais adequadas que amidos nativos ou modificados de mandioca em aplicações específicas de interesse em alimentos processados.

2.2 OBJETIVO GERAL

Caracterizar amidos extraídos de PANC's (forma nativa e modificada fisicamente) quanto a parâmetros físico-químicos, reológicos, morfológicos e propriedades funcionais, comparando seu desempenho funcional com o controle (amido nativo e modificado fisicamente de mandioca), e aplicar amido modificado fisicamente como substituto parcial de gordura em emulsão cárnea do tipo mortadela.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Selecionar, após pesquisa em literatura científica, espécies vegetais que possuam órgão de reserva energética, com teor de amido igual ou superior a 15% em relação ao seu peso bruto, que sejam relatadas para consumo humano e que apresentem potencial de cultivo em escala comercial;

- Extrair amido das PANC's selecionadas;

- Avaliar citotoxicidade aguda dos amidos extraídos;

- Caracterizar os amidos nativos quanto à composição centesimal, amido total, teor de amilose e amilopectina, cor, pH, teor de fósforo e perfil de minerais, comparando com amido nativo de mandioca;

- Realizar a modificação física dos amidos, através de tratamento *annealing* (ANN);

- Avaliar propriedades de pasta, por analisador rápido de viscosidade (RVA), dos amidos nativos e modificados fisicamente de PANC's e seus respectivos controles (amido nativo e modificado fisicamente de mandioca);

- Determinar o poder de inchamento, solubilidade, textura do gel, sinerese, claridade de pasta, capacidade de absorção de água e óleo, e resistência a ciclos de congelamento e descongelamento dos amidos nativos e modificados de PANC's e seus respectivos controles;

- Avaliar a morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a cristalinidade utilizando difração de raios-X (DRX) dos amidos nativos e modificados de PANC's e seus respectivos controles;

- Empregar amido de *C. esculentus* como substituto parcial de gordura em emulsionados embutidos cárneos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Parte das informações contidas neste capítulo foram publicadas na forma de artigo de revisão intitulado “Unconventional Food Plants as an Alternative in Starch Production” para a revista *Cereal Foods World*. ISSN: 2576-1056.

1 RAÍZES TUBEROSAS NA ALIMENTAÇÃO HUMANA – EVOLUÇÃO E PANORAMA INTERNACIONAL

O cultivo de raízes e tubérculos tropicais baseados em energia vegetal propagada (tais como mandioca, batata doce, inhame e aroides) provavelmente antecedem o manejo agrônomo de grãos e cereais. Foram por muito tempo os únicos alimentos básicos de muitas civilizações e estão entre os cultivos mais antigos da terra (BECK; TORRENCE, 2016; CAGNATO; PONCE, 2017; TORRENCE; BARTON, 2016).

O cultivo de raízes e tubérculos apresenta expressiva importância na alimentação básica em diversas áreas do planeta, sobretudo nos países subdesenvolvidos (SCOTT, 2000; VILPOUX; BRITO; CEREDA, 2019).

A grande maioria das espécies nativas cultivadas foi difundida pelo homem nos últimos dois milênios. A dispersão plena foi realizada nos últimos cinco séculos, dada ao período das grandes navegações, as quais eram realizadas especialmente por portugueses e espanhóis no ocidente (AKINOSO; ABIODUN, 2016; SANDERSON, 2012).

Dentre diversas espécies de raízes e tubérculos consumidos, mandioca, batata irlandesa e batata-doce representam 93% do consumo humano direto no mundo. Estas espécies deixaram a América Latina com destino a Europa e, posteriormente, foram comercializadas no continente africano, onde apresentaram fácil adaptação (TRÈCHE, 1996). Porém, a origem das espécies de raízes e tubérculos tropicais é intrigante, pois cultivares foram coletadas por botânicos desde as viagens dos primeiros exploradores europeus os quais descreveram a taxonomia das espécies botânicas. De acordo com os estudos, as espécies cultivadas antigamente não se relacionam com as espécies cultivadas atualmente, o que gera dúvida sobre seus progenitores selvagens (ALLEM, 2002; FRODIN, 2004).

A comunidade científica busca identificar a exata localização geográfica da domesticação de cultivares antepassadas. As evidências são geradas com a contribuição de marcadores moleculares e de estudos arqueológicos. Supõe-se que, provavelmente, a domesticação das espécies tenha ocorrido em várias ocasiões, numa vasta área geográfica e em diferentes períodos da história. Continuamente, o processo de domesticação é realizado por agricultores que buscam selecionar em grupos de corte, genótipos que pareçam atraentes do ponto de vista agrônomo (LEBOT, 2019).

Dentre as cultivares, destaca-se a mandioca, devido a elevada produtividade foi inserida no continente africano por volta do século XV e desde então representa uma alternativa na redução da escassez de alimentos (WIDGREN, 2009). Posteriormente, no século XVII a

mandioca foi levada para Índia, Indonésia e Malásia por navegantes portugueses e introduzida nas ilhas do pacífico sul por missionários e viajantes na primeira metade do século XIX (BOOMGAARD, 2003; ONWUEME, 2002).

Estudos recentes de biotecnologia molecular que abordam variação genética, e como essa se distribui no espaço, sugerem que a mandioca-mansa (baixo teor em glicosídeo cianogênico, < 100ppm CN), ou macaxeira, foi a primeira espécie a ser domesticada (há cerca de oito mil anos) e possui uma história de dispersão diferente da mandioca-brava (alto teor em glicosídeo cianogênico, >100ppm CN), por exemplo (LEBOT, 2019),

Os registros mais antigos foram encontrados na região do Alto Rio Madeira, no atual estado de Rondônia. O modo como a mandioca se difundiu pelo continente americano ainda não está completamente elucidado (ALVES-PEREIRA et al., 2018).

A domesticação da mandioca-mansa aconteceu através da seleção de variedades com menores teores de ácido cianídrico, por grupos de caçadores-coletores que começaram a abandonar a vida nômade para se fixar em aldeias e cultivar a mandioca-mansa (ALLEM, 2002).

Somente depois a mandioca-brava teria sido domesticada, motivada pela necessidade de ampliar a oferta de espécies vegetais alimentícias manejáveis, dado o aumento populacional que teria ocorrido à cerca de três a quatro mil anos em grande parte da população indígena americana (pré-colombiana) (ARROYO-KALIN, 2010).

Acredita-se que a partir do centro original de domesticação no sudoeste da Amazônia, o cultivo de mandioca se disseminou entre as etnias indígenas. Tal fenômeno está provavelmente associado a movimentos humanos pré-históricos ao longo dos rios amazônicos (ALLEM, 2002).

No Brasil a mandioca-mansa (*Manihot esculenta*), hoje é popularmente conhecida como mandioca, macaxeira, aipim, dentre vários outros nomes. Em países de língua espanhola é conhecida como manioc e em países de língua inglesa como cassava (GADE, 2002).

Outras cultivares como a batata inglesa (*Solanum tuberosum*) tiveram sua origem nos altos Andes da América do Sul e foi exportada primeiramente para a Espanha em 1573 e posteriormente para os demais países da Europa e outras numerosas partes do mundo através de expedições coloniais europeias (BROWN, 1993).

Por outro lado, a batata-doce (*Ipomoea batatas*) tem sua origem controversa. Relatos apontam a região andina como precursora, porém há evidências de origem na região de Lucatão no México. A batata-doce foi levada para a região do pacífico por volta do século XVI por exploradores espanhóis e portugueses que difundiram a cultura para África e Índia.

Posteriormente, a batata-doce chegou à Nova Guiné e a ilhas no lado leste do Pacífico. Estendeu-se à China e ao Japão, onde é cultivada extensivamente até a atualidade (O'BRIEN, 1972).

Já a difusão do inhame pelo mundo, segundo registros, ocorreu de três maneiras distintas. As espécies asiáticas foram as primeiras a se propagarem pelo mundo (*Dioscorea alata*, *Dioscorea esculenta*, *Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea apposita*), logo, as espécies africanas (*Dioscorea cayenensis-rotundata*, *Dioscorea dumetorum* e *Dioscorea schimperiana*) e por fim, a espécie americana *Dioscorea trifida* com desenvolvimento independente umas das outras (SIQUEIRA, 2009).

E por fim o taro (*Colocasia esculenta*), o qual é popularmente conhecido, em diversas regiões do mundo, por inúmeros nomes (inhame-coco, inhame-dos-açores, taioba, taiova e taioba-de-são-tomé) teve sua origem datada há mais de dois mil anos na Índia e no sudoeste da Ásia, onde se espalhou também para o Egito e posteriormente para países da Europa, oeste africano e América tropical. Outra espécie com características similares ao taro (*Colocasia esculenta*) é a *Xanthosoma sagittifolium*. Esta é oriunda da América do Sul e espalhou-se rapidamente do Caribe para o continente africano. Comumente as duas espécies são cultivadas de forma mútua e pela similaridade são confundidas e identificadas pelos mesmos nomes populares (MACHARIA et al., 2014).

Desde o começo da domesticação de espécies tuberosas por civilizações humanas que fixaram território, ocorreu o cultivo de forma significativa não apenas como fonte de energia e nutrientes, mas associado também a peculiaridades culturais, inerentes às tradições e aos distintos modos de vida das sociedades consumidoras (LEBOT, 2019).

As civilizações pré-colombianas na América do Sul, especialmente da região dos Andes, foram descritas como civilizações do inhame. Foram responsáveis pela domesticação de diferentes espécies de batatas e outras espécies de raízes menos utilizadas. O cultivo destas, sempre esteve associado ao desenvolvimento social (COURSEY, 1967).

Atualmente, as raízes e tubérculos representam o segundo conjunto mais importante de alimentos, atrás apenas dos cereais. Trata-se de um grupo de alimentos produzidos com reduzidas quantidades de insumos, que propiciam importante fonte de renda e emprego, sobretudo em países subdesenvolvidos (CARMO, 2002).

Presente na alimentação humana há milênios, as raízes e tubérculos são consideradas plantas do passado. Porém, dada à possibilidade de produção local, são consideradas plantas do futuro, promissoras na produção de carboidratos que podem substituir os cereais que muitas vezes são importados e muito mais caros (SANTANA; MEIRELES, 2014).

Segundo Rosegrant, Cai e Cline (2002), a população humana mundial que hoje possui aproximadamente 6 bilhões de indivíduos, irá ultrapassar os 8 bilhões até o ano de 2025. Portanto, há a real necessidade de aumentar o aporte de carboidratos, uma vez que o potencial de produção das áreas dedicadas ao cultivo de cereais em breve não atenderá a demanda. A situação de escassez de alimentos é mais crítica na região dos trópicos onde vive a maioria da população mundial (ROSEGRANT; CAI; CLINE, 2002).

Em tempos de mudança climática global, pode ocorrer uma alteração no padrão produtivo agrícola, com aumento da produção de raízes e tubérculos tropicais. Sobretudo se alguns países decidirem destinar a produção de cereais para a produção de biocombustíveis, ou ainda se o custo da energia continuar a subir, inflacionando o preço dos alimentos (PESAKOS et al., 2019).

Em geral, as raízes e tubérculos tropicais são muito eficientes e adaptáveis ao manejo em áreas marginais e degradadas. Seu cultivo atua como forma de apoio à áreas em expansão ou que precisam ser desenvolvidas, e embora a maioria das espécies pertençam as diferentes famílias botânicas, estas são frequentemente encontradas de forma agrupada, o que torna o seu cultivo amplamente difundido, ocorrendo em todo mundo (EHLERS, 2017; LEBOT, 2019).

Existem diversas formas de manejo agrônomo, mas devido à sua rusticidade, as raízes e tubérculos tropicais se adaptam facilmente a mudanças ambientais. Muitas vezes são cultivadas em consórcio com outras culturas dentro do mesmo terreno, o que possibilita um melhor aproveitamento das áreas de plantio e aumenta a disponibilidade de matéria orgânica, propiciando maior fertilidade para o solo (EHLERS, 2017).

Embora com notória importância, as raízes e tubérculos são sub-pesquisadas, mesmo apresentando potencial econômico comparável à outras culturas de importância equivalente. Os países em desenvolvimento que não produzem as principais commodities do agronegócio com a tecnologia requerida pelo mercado acabam muitas vezes não recebendo do governo a atenção merecida às culturas alimentares (SIQUEIRA, 2009).

Na natureza, muitas são as espécies vegetais comestíveis, porém grande parte destas são subaproveitadas para a alimentação humana, por fatores diversos, tal como peculiaridades etnoculturais e interesses econômicos em atender nichos específicos de mercado. Neste contexto, as plantas alimentícias não convencionais (PANC'S) podem contribuir para ampliar o abastecimento de alimentos, especialmente para populações que convivem com insegurança alimentar (KINUPP; LORENZI, 2014).

Existem preconceitos por parte do etnocentrismo ocidental amplamente difundido, o qual acaba induzindo a uma negligência relacionada à segurança alimentar, em razão da falta

de interesse no cultivo de PANC's. Mesmo se tratando de espécies abundantes e perenes na natureza, as cultivares não recebem a atenção adequada por entidades competentes (MELO, 2007; SIQUEIRA, 2009).

Ao contrário da maioria das culturas, as raízes e tubérculos tropicais não são cultivadas por seus frutos ou sementes e sua biologia reprodutiva é muitas vezes desconhecida pelos agricultores. Os principais traços relacionados à seleção são avaliados visualmente, o que torna o processo de domesticação peculiar em comparação a outras culturas. Nas suas formas selvagens acumulam metabólitos secundários como defesa natural contra predadores e a domesticação implica na redução desses compostos antinutricionais, aumentando a segurança para o consumo (BARANDICA et al., 2016).

Como estas culturas são principalmente cultivadas por pequenos agricultores, os pesticidas são raramente utilizados. De maneira racional, sistemas integrados de manejo de pragas e doenças tendem a recomendar técnicas muito semelhantes às antigas, nas quais diferentes variedades ou consórcios estão misturados, criando assim obstáculos à expansão dos patógenos nos sistemas agroflorestais sustentáveis (CHAVARRIA et al., 2007)

Por outro lado, em regiões urbanizadas, desenvolvidas economicamente, onde predomina a alimentação moderna, como fast foods, tecnologias de processamento adequado para as culturas de raízes e tubérculos tropicais ainda são inexistentes, o que resulta na restrição do desenvolvimento dessas culturas para esse público (AKINOSO; ABIODUN, 2016).

Outro ponto relevante, que dificulta a propagação do uso destas cultivares, consiste na falta de uniformidade dos órgãos subterrâneos de reserva, o que torna difícil o descascamento mecânico. Ainda há uma variação na uniformidade de cor e textura, além de grande escassez de dados referentes a caracterização dos amidos, dificultando sua utilização mais ampla (AKINOSO; ABIODUN, 2016).

Por outro lado, tendo em vista a crescente substituição dos cereais e as novas necessidades do mercado, há o interesse em fontes alternativas de amido, que apresentem perfis nutricionais distintos, que possam servir como matéria-prima para produtos processados. Além disso, novos produtos com características bioativas, contendo carotenoides e antocianinas, poderão ser obtidos, devido às elevadas concentrações desses compostos presentes em raízes e tubérculos tropicais (BEHERA et al., 2018; LEONEL; CEREDA, 2002; MISHRA et al., 2011; SAUTOUR; MITAINE-OFFER; LACAILLE-DUBOIS, 2007)

2 PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS TUBEROSAS TROPICAIS COMO FONTE DE AMIDO ALTERNATIVO AOS COMERCIAIS MODIFICADOS

A globalização tem impulsionado a expansão do agronegócio, o qual ocasiona a crescente produtividade de commodities agrícolas com base na monocultura. Com o aumento das áreas de cultivo a homogeneidade da biodiversidade é comprometida (BUAINAIN; SOUSA; NAVARRO, 2017; ROE; SEDDON; ELLIOTT, 2019).

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), no último século, 75% das variedades agrícolas desapareceram. A modernização das técnicas de manejo agrônômico, associado ao uso indiscriminado de insumos e água, tem causado a degradação de ecossistemas e prejudicado áreas com potencial agroecológico (KRAJEWSKI, 2016).

Além disso, a industrialização de alimentos vem sendo aprimorada nas últimas décadas, o que ocasiona a redução da variedade vegetal empregada como matéria-prima. Como consequência, há um aumento nos casos de desnutrição, devido à dieta muitas vezes pobre do ponto de vista nutricional (ANGELO, 2017).

Por outro lado, o Brasil é considerado o país com a maior biodiversidade do mundo, com cerca de 55 mil espécies de plantas que representam 22% do total aproximado de 250 mil existentes no mundo (BRASIL, 2002). Mesmo com parte da base alimentar da população brasileira ainda concentrada em espécies exóticas, as espécies comerciais exploradas em grande escala vêm ampliando áreas de cultivo, dominando áreas até mesmo de preservação ambiental (GUERRA; ROCHA; NODARI, 2015; MAYER et al., 2018).

Entre as culturas com maior potencial econômico, produzidas em território brasileiro estão a cana-de-açúcar e o café, que conferem ao Brasil a posição de maior exportador mundial destas e de derivados como açúcar e álcool (FREDERICO, 2013; IBGE, 2017).

Em razão do avanço biotecnológico na seleção, desenvolvimento e exploração de variedades vegetais com alta produtividade, o Brasil perdeu variedades nativas, como o exemplo ocorrido com a cultura da mandioca. Situação semelhante foi constatada em países da Ásia Oriental, com milhares de variedades de arroz (AKIMOTO; SHIMAMOTO; MORISHIMA, 1999; SANTONIERI; BUSTAMANTE, 2016).

Na América do Sul ocorre também o desaparecimento de variedades rústicas e adaptadas a condições locais, como milho, amendoim, batata inglesa e tomate. Embora a produtividade destas tenha aumentado em alguns casos, por outro lado tem ocorrido a chamada

erosão genética, que consiste na padronização de variedades com elevada produtividade, mas menos resistentes (BRUSH, 1982; GADE, 2002).

Antes da colonização, as populações indígenas da América do Sul mantinham uma gama muito mais variada de recursos alimentícios do que a população atual (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989). O modelo agrícola hegemônico brasileiro segue uma tendência do mercado internacional que visa manter a estabilidade da balança comercial com base na monocultura agrícola de exportação (WILKINSON et al., 2015). Hoje o Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e possui cerca de 22 milhões de hectares cultivados, distribuídos sobre os biomas, desde o Pampa até o Cerrado e região amazônica, impactando áreas de maneira irreversível (DOMINGUES; BERMANN; MANFREDINI, 2014; KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018; MACHADO et al., 2004).

A manutenção da agrobiodiversidade é fundamental para a preservação da soberania e segurança alimentar. Diversas espécies vegetais importantes na alimentação, como as raízes e tubérculos, estão presentes em áreas habitadas pela agricultura familiar e grupos de agricultores cooperados, que de forma tradicional praticam em seu cotidiano a agricultura voltada à subsistência. Muitas vezes em meio ou no entorno a centros urbanos, buscam na agricultura alternativas para permanecem no campo (MEKBIB; DERESSA, 2016; OLER; AMOROZO, 2017).

A exploração de espécies e variedades vegetais com diferentes tolerâncias a diversidades ambientais e climáticas pode contribuir para a preservação da agrobiodiversidade e fomentar a demanda de nutrientes, inacessíveis a grande parcela da população humana. Isto porque, em decorrência da má gestão dos recursos naturais, mudanças ambientais vêm acontecendo e resultam em desequilíbrios biológicos, como ataques de pragas e instabilidades climáticas (CASTAÑEDA-ÁLVAREZ et al., 2016; LEONEL; OLIVEIRA; FILHO, 2005).

Como alternativa para minimizar os impactos ambientais gerados pela monocultura agrícola, faz-se necessário implementar sistemas agroecológicos e diversificar as culturas agrícolas produzidas, respeitando as áreas de incidência populacional vegetal relativas a cada espécie (EHLERS, 2017). Em meio a um cenário de mecanização, esvaziamento populacional do campo e redução progressiva da diversidade agrícola, territórios indígenas, quilombolas e assentamentos constituem ambientes onde a preservação da agrobiodiversidade pode ser respeitada e fomentada, além de possibilitar a autossuficiência alimentar desta população e daquelas que residem próximos a estas áreas (BESSA, 2017; DOS SANTOS; GARAVELLO, 2016).

As raízes e tubérculos são frequentemente encontrados em espaços de cultivo em pequena escala, como roças e quintais. Configuram excelente alternativa para melhorar a renda de agricultores que não estão inseridos no modelo tradicional de agronegócio (MEKBIB; DERESSA, 2016).

No cultivo de culturas tuberosas, o ritmo de colheita é ditado pelo homem e não pela planta. Dessa forma, o abastecimento de alimentos pode ser garantido para o ano todo, dispensando sistemas artificiais de armazenamento agrícola, pois se colhe à medida que se utiliza. Ou ainda, beneficiar na forma de produtos como farinha ou amido, para atender o consumo direto ou a produção de alimentos processados (SIQUEIRA, 2009).

O manejo de espécies e variedades vegetais alternativas, tal como raízes e tubérculos, pode gerar o desenvolvimento sustentável de regiões subdesenvolvidas, se houver a conscientização e os incentivos corretos por parte de entidades governamentais que estimulem o beneficiamento da produção agrícola, via agroindústrias, fixando a renda nas regiões em questão, contribuindo de forma positiva para a sustentabilidade econômica de famílias em situação vulnerável (SIQUEIRA, 2009)

Matérias-primas inexploradas como raízes e tubérculos, provenientes de plantas alimentícias não convencionais locais, podem reduzir custos e alavancar a industrialização. Como exemplo, o fornecimento de novos amidos ao mercado, poderia atender às mais variadas aplicações, reduziria o custo de importação e transporte, além de promover pesquisas, desenvolvimento tecnológico e agregar valor aos produtos (LEONEL; OLIVEIRA; FILHO, 2005; SANTANA; MEIRELES, 2014).

Uma vez extraído de maneira adequada, de acordo com o que preconiza a legislação (BRASIL, 2005), o amido pode ser utilizado para diversos fins, em várias indústrias, como em indústrias de papel, têxtil, e, de alimentos, onde são empregado na forma nativa ou modificados pelas vias química, física ou enzimática ou associação das mesmas. Como ingrediente em alimentos processados, sendo esta uma de suas principais áreas de aplicação (LUALLEN, 2018).

As indústrias de alimentos e os produtores agrícolas estão interessados na identificação e no desenvolvimento de espécies que produzam amidos nativos com características físico-químicas especiais. Esses amidos poderiam substituir amidos modificados quimicamente ou abrir novos mercados para amidos (LEONEL; CEREDA, 2002).

Nos últimos anos, muitos amidos foram introduzidos para uso alimentar. Esses amidos ou já são comercializados, mas não são utilizados no setor alimentar, ou provêm de plantas híbridas, desenvolvidas por suas características únicas. Na primeira categoria encontram-se os

amidos de arroz, trigo e amaranto, e na segunda estão os amidos *waxy* ou cerosos e os de alto teor de amilose (LUALLEN, 2018).

As razões para o desenvolvimento desses amidos estão em suas propriedades particulares, ausentes nos amidos tradicionais. Por outro lado, muitos setores alimentares estão procurando amidos mais naturais, que não foram alterados quimicamente. Esses amidos devem apresentar propriedades semelhantes às dos amidos quimicamente modificados, tais como uma maior claridade de pasta, estabilidade a ciclos de congelamento – descongelamento (LEONEL; CEREDA, 2002).

Os amidos modificados quimicamente são considerados aditivos alimentares e devem ser declarados nos rótulos, ao contrário dos amidos nativos para os quais não há limites de uso e que permitem identificar os alimentos como naturais (BRASIL, 1997).

É crescente o número de empresas que optam pelo uso de amidos não convencionais, como é o caso da Nestlé[®], que considerou a aplicação do amido da mandioca salsa (*Arracacia xanthorrhiza*), na forma nativa em substituição a amidos modificados, no preparo de alimentos para bebês (LEIDI et al., 2018).

A empresa *National Starch* lançou a linha de amidos *Novation*, composta de mistura física de amidos naturais, com característica de amidos modificados. Os amidos dessa linha diferem dos amidos modificados tradicionais por sua maciez e reologia “curta” e não pastosa. O uso dos amidos da linha *Novation* permite realçar o sabor e aroma, obter qualidade superior na textura do produto, melhor tolerância no processamento, maior resistência ao corte e a pH baixo (MESSENGER, 1997).

3 SELEÇÃO E APRESENTAÇÃO DAS CULTIVARES

A seleção das cultivares a serem estudadas teve como princípio: a rusticidade de espécies amiláceas subaproveitadas com elevada produtividade (*Dioscorea bulbifera* e *Canna edulis*), bem como a problemática da proliferação de plantas invasoras em culturas agrícolas rentáveis. A maioria das amostras investigadas no presente estudo (*Cyperus esculentus*, *Hedychium coronarium* e *Xanthosoma sagittifolium*) são consideradas daninhas e as práticas para o combate, contribuem para o desequilíbrio ambiental (ZENNI; ZILLER, 2011).

O aporte energético que plantas amiláceas inexploradas podem proporcionar, quando inseridas na nutrição humana, representam uma alternativa no combate a fome, tendo em vista o paradoxo da abundância de espécies vegetais não convencionais presentes em regiões onde há inanição (NAYAR, 2014).

O domínio territorial de plantas invasoras compromete o espalhamento de espécies nativas e a falta de manejo adequado pode acarretar em erosão genética. Portanto, encontrar alternativa para agregar valor às espécies invasoras pode resultar em benefícios à manutenção da biodiversidade (FOLLAK et al., 2015).

Diversas espécies vegetais de fontes locais apresentam potencial nutricional adequado para serem introduzidas na dieta de muitas etnias e contribuem para a redução da desnutrição (PADULOSI; THOMPSON; RUDEBJER, 2013).

Um fator importante que limita a utilização alimentar de muitas plantas tropicais é a ocorrência de uma gama diversificada de compostos naturais capazes de produzir efeitos deletérios a quem consome. As culturas vegetais alimentares regularmente consumidas têm muitos nutrientes benéficos, mas há vestígios de componentes antinutricionais, como cianoglicosídeos, oxalatos, ácido fítico, fenólicos, inibidores de protease, metais pesados, dentre outros que devem ser investigados (ARINATHAN; MOHAN; MARUTHUPANDIAN, 2009).

A grande maioria das espécies vegetais que apresentam baixa expressão comercial, são subjugadas e/ou desprezadas, sendo as mesmas eliminadas com o uso de técnicas agrícolas associadas muitas vezes ao emprego de agroquímicos, nocivos ao meio ambiente. Na perspectiva de inibir a competitividade biológica e liberar áreas para o cultivo de espécies ou variedades economicamente já destacadas, observa-se o desequilíbrio da biodiversidade e a gradual extinção de espécies nativas (EHLERS, 2017).

O amido está presente na maioria dos alimentos, sendo responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados (LUALLEN, 2018). Para a caracterização de uma matéria-prima amilácea não basta que a planta possua um órgão rico em amido. É preciso que, além disso, essa planta seja de boa produtividade e fácil cultivo e, principalmente, que seu conteúdo em amido seja fácil de extrair, como ocorre com a mandioca (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

3.1 *Canna edulis*

Canna edulis é uma espécie vegetal pertencente à família Cannaceae, monocotiledônea da ordem Zingiberales. Trata-se de uma angiosperma perene nativa dos Andes na América do Sul, que possui rizomas ricos em amido, utilizados na alimentação básica de populações indígenas há mais de 4000 anos (IMAY, 2008; UGENT; POZORSKI; POZORSKI, 1984).

A *C. edulis* é conhecida por nomes populares como "achira", "sagu", "arawac", "imocoma", "chisgua", "maraca", "capacho", entre outros, que variam de acordo com a cultura de cada região (KURODA, 2000).

Na literatura pode ser encontrada a denominação *Canna indica* para a espécie cultivada no Vietnã e em outros países do Sudeste Asiático. Porém, de acordo Hermann, Quynh e Peters (1997) que realizaram estudos genéticos e analisaram resultados de análise de DNA polimórfica amplificada aleatoriamente, trata-se de um sinônimo, que apresenta intervalos estreitos de variação quando comparado a *C. edulis*.

O primeiro registro da *C. edulis* foi realizado pelo capitão espanhol Diego Palomino em expedição ao continente americano no ano de 1549. O mesmo relatou para o então rei da Espanha Carlos I, o cultivo e consumo dos rizomas por habitantes do vale do Chuquimayo no Perú (UGENT; POZORSKI; POZORSKI, 1984).

Posteriormente, o escritor e missionário jesuíta espanhol Frei Bernabe Cobo em visita a Cusco no Perú no ano de 1609 fez a primeira descrição da *C. edulis* ao reino espanhol, relatando características botânicas da planta e informando detalhes de como ela servia para sustentar os índios locais. Somente no ano de 1823 ocorreu o reconhecimento de distinção e nomeação da *C. edulis*, pelo botânico britânico John Bellenden Ker Gawler (UGENT; POZORSKI; POZORSKI, 1984).

A *C. edulis* representa uma das 25 fontes amiláceas mais consumidas nos países tropicais. Com crescimento vegetativo que pode alcançar até três (3) metros de altura, apresenta grandes folhas ovais oblongas, sobre uma haste, sem ramificações, com inflorescências vermelhas e copa alta que resulta em uma grande biomassa, que em países andinos costuma ser utilizada como forragem verde para alimentar gado e suínos (KURODA, 2000). Os rizomas da *C. edulis* são esféricos, fibrosos e com elevada deposição de amido, os quais são orientados paralelamente à superfície do solo (Figura 1) (UGENT; POZORSKI; POZORSKI, 1984).

Figura 1 - Imagens do rizoma e da planta de *Canna edulis*.



Fonte: imagens retiradas da internet (www.lamaisondubananier.com)

A área de cultivo de *C. edulis* estende-se do México ao sul da Argentina e Brasil, porém na Colômbia a produção é mais expressiva, uma vez que o amido é popularmente utilizado na produção de biscoitos tradicionais, conhecidos como biscoitos de achira (HERMANN; QUYNH; PETERS, 1997).

A *C. edulis* foi introduzida em outros continentes, como África e Oceania, mas especialmente na Ásia, em países como China, Vietnã, Taiwan e Tailândia foram onde o amido passou a ser utilizado na indústria de alimentos, na produção de macarrão, espessantes para molhos, condimentos, sopas instantâneas e também na indústria farmacêutica e no desenvolvimento de biofilmes (THITIPRAPHUNKUL et al., 2003a).

O cultivo de *C. edulis* resulta em altos rendimentos, os quais podem estar relacionados à fácil adaptabilidade a diferentes climas, que possibilita o cultivo em diferentes regiões do mundo. Suporta diferentes níveis de rusticidade, como terrenos áridos, pobres em nutrientes. No entanto, costuma ser produzida em planaltos subtropicais com altitudes de 1000-2500 metros acima do nível do mar (IMAY, 2008).

O ciclo de produção da *C. edulis* pode variar de 10 a 12 meses e a colheita pode ser realizada após 6 a 8 meses a partir do plantio. O rendimento em rizomas pode alcançar 30 t/ha (PÉREZ; LARES; GONZÁLEZ, 1997).

No Brasil, a *C. edulis* ainda tem sido cultivada apenas como planta ornamental. Entretanto, ao longo da última década, o Centro de Pesquisa de Amidos Tropicais CERAT/UNESP (São Paulo) vêm desenvolvendo estudos, com diferentes variedades da espécie, as quais foram adaptadas ao solo e clima local (LEONEL, 2007; LEONEL; OLIVEIRA; FILHO, 2005).

Os estudos do CERAT/UNESP revelaram que a *C. edulis* produzida em solo brasileiro apresentou grande potencial produtivo, quanto ao crescimento vegetativo. Porém foi verificado baixo rendimento quanto à produção de amido (cerca de 12 g de amido / 100 g de rizomas frescos). Tais resultados suscitam a necessidade de novos estudos a cerca da produção, manejo e adaptação da cultivar em território brasileiro (LEONEL, 2007; LEONEL; OLIVEIRA; FILHO, 2005).

A *C. edulis* produzida em regiões andinas, costuma apresentar rizomas com teores abundantes de amido (70-80 g/100 g de rizoma seco), que tem como peculiaridade a característica de ser mais digerível do que outros tipos de amido (ZHANG; WANG; YANG, 2010).

Os grânulos de amido dos rizomas da *C. edulis* são predominantemente grandes (~10-100 µm) e com teor de amilose relativamente alto (~33-39 %) (THITIPRAPHUNKUL et al., 2003b; CISNEROS; ZEVILLANOS; CISNEROS-ZEVALLOS, 2009). Apresentam alta tendência a retrogradação e baixa resistência à hidrólise pela α -amilase (THITIPRAPHUNKUL et al., 2003b; VAN HUNG; MORITA, 2005).

Assim como outros amidos, o amido da *C. edulis* na forma nativa pode apresentar desempenho limitado quando empregado em determinadas aplicações tecnológicas, como a baixa resistência a meios ácidos e elevada resistência à tração (GARCIA; LEONEL, 2005b).

Estudo realizado por Pérez, Breene e Bahnassey (1998) revelou que o amido de *C. edulis* produz pastas estáveis em altas temperaturas, mais claras e com viscosidades elevadas quando comparado ao amido de mandioca na mesma concentração. Estes resultados revelam características de interesse para a indústria de alimentos a qual têm buscado os mesmos atributos em amidos modificados quimicamente.

Dentre os minerais encontrados nos rizomas da *C. edulis*, o fósforo costuma apresentar destaque quanto ao maior teor. Este atua como precursor na produção de oligossacarídeos fosforilados (PO), que exercem em impacto nas propriedades funcionais de gelatinização e retrogradação (KARIM et al., 2007; LIU et al., 2017).

Os rizomas da *C. edulis* são normalmente ricos em compostos fenólicos, que costumam apresentar elevada qualidade nutracêutica, frente a outros rizomas (PIYACHOMKWAN et al., 2002).

Na medicina popular de povos andinos, as folhas e rizomas da *C. edulis* são empregados na formulação de medicamentos populares, utilizados como diurético, emoliente, na limpeza de úlceras, no tratamento de reumatismos. Ou aplicadas na forma *in natura* como emplastos com o intuito de combater inflamação e dores de ferimentos cutâneos. Também são utilizadas em rituais religiosos em sessões de cura espiritual (AL-SNAFI, 2016; ROTH et al., 2002).

Alguns compostos orgânicos de interesse tecnológico para a indústria de alimentos e farmacologia foram isolados em rizomas da *C. edulis*. Dentre estes estão: fenilpropanóides (ácido cafeico, ácido rosmarínico, ácido cafeoil-4'-hidroxifeniláctico, ácido salvianólico) e três ésteres de sacarose fenilpropanóides (YUN et al., 2004).

A riqueza de compostos químicos presentes nos rizomas da *C. edulis* demonstra o potencial dessa planta, a qual pode ser empregada como matéria-prima para uma vasta gama de produtos, como fonte de amidos especiais, agentes emulsionantes, aditivos alimentares e na

produção de medicamentos, devido às características bioativas relatadas (ROTH et al., 2002; ZHANG; WANG; YANG, 2010).

3.2 *Cyperus esculentus*

O *Cyperus esculentus*, representa uma espécie subaproveitada com notório potencial produtivo. Trata-se de uma planta cosmopolita, apreciada por seus tubérculos com sabor adocicado e conhecida praticamente no mundo todo (EJOH; DJOMDI; NDJOUENKEU, 2006).

Diversos nomes populares são atribuídos a *C. esculentus* e variam de acordo com a nacionalidade. Como por exemplo: tiririca, bibi, tiririca-amarela, capim coco, cotufa, tamascal, amêndoa-da-terra, junça-doce, junça, juncinha e cípero-comestível (Brasil); chufa (Espanha); earth almond, rush nut, yellow nutsedge, nutgrass, zulu nut e ground almond (Países de língua inglesa); erd mandel (Alemanha); coquilo, tule e tutillo (México); hab-el-samar (Árabia Saudita); yang di li e shat-tsan (China); juncinha avelanada (Portugal); jordmandel (Dinamarca); aardmndel (Holanda); choufa, amante de terre e souchet comestible (França); chichoda (Índia); kwentti (Etiópia); zigolo Dulce, doldichini e babbagiggi (Itália); e moskoi sitnik (Rússia) (DEFELICE, 2002; KINUPP, 2007).

A origem da *C. esculentus* é controversa, apresenta os primeiros registros na Índia, leste da África, Egito e demais países do mediterrâneo. Trata-se de uma planta com ampla distribuição no planeta, encontrada em mais de 92 países e considerada uma das espécies vegetais com maior amplitude de distribuição territorial (DE CASTRO et al., 2015; ZEVEN; ZHUKOVSKY, 1975).

A *C. esculentus* está presente em todos os países de clima tropical, subtropical e também em muitos países de clima temperado. No hemisfério norte ocorre a partir do sul dos Estados Unidos e em toda a Europa. A incidência aumenta quanto mais próximo ao trópico (FOLLAK et al., 2015; SÁNCHEZ-ZAPATA; FERNÁNDEZ-LÓPEZ; PÉREZ-ALVAREZ, 2012).

A família *Cyperaceae* possui cerca de 70 gêneros e mais de 3.500 espécies. O maior gênero é o *Carex* com 2000 espécies, seguido por *Cyperus* com cerca de 600 espécies (GOETGHEBEUR, 1998).

C. esculentus é uma gramínea perene, que pertence a família *Cyperaceae* e ao gênero *Cyperus*. Apresenta elevada rusticidade e resiste a períodos prolongados de restrição hídrica e, por esta razão é considerada indicadora de baixa qualidade do solo (LINSSEN; COZIJNSEN; PILNIK, 1989).

A estatura média da *C. esculentus* é de 20-90 cm, possui inflorescências agrupadas em espiguetas, as quais sustentam uma ou mais flores reduzidas como sua unidade reprodutiva básica. A estrutura, arranjo, quantidade de flores masculinas e femininas são importantes para a sistemática do grupo (PASCUAL et al., 2000).

A *C. esculentus* possui frutos do tipo aquênio, folhas laminares e lineares basais de coloração verde-brilhante com inervação paralelinérvea. Possui caule de haste triangular com ramos aéreos bastante rígidos e caule subterrâneo (rizomas) com raízes que terminam em tubérculos ovalados e negros que apresentam alto poder regenerativo (Figura 2) (MOREIRA; BRAGANÇA, 2011).

Figura 2 - Imagens do tubérculo e da planta de *Cyperus esculentus*.



Fonte: imagens retiradas da internet (www.afloresta.com.br)

A polinização da *C. esculentus* é realizada pelo vento (anemofilia), estratégia esta comum a membros da família *Cyperaceae*, que raramente são polinizadas por insetos (entomofilia) (BLANCO, 2006).

As variedades pertencentes a família *Cyperaceae* costumam ser encontradas geralmente em ambientes abertos, com terrenos brejosos, úmidos ou alagados, em solos das mais diferentes texturas (BLANCO, 2006).

A *C. esculentus* é resistente a condições severas, tolera solos com diferentes graus de fertilidade e variados espectros de pH, porém adapta-se melhor em locais com climas quentes e secos, em períodos sazonais ou permanentes. Também podem ser encontradas em ambientes florestais ou de transição campo-mata (MOREIRA; BRAGANÇA, 2011).

Aproximadamente 32% das espécies da família *Cyperaceae* utilizam mecanismo fotossintético do tipo C4. A *C. esculentus* é uma dessas espécies e a característica desse tipo de mecanismo é a capacidade de fixar CO₂ junto à ácidos orgânicos (principalmente ácido málico) nas folhas, antes que ocorra a captação pela enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase

oxigenasse, abreviada como RuBisCO (responsável pela atividade carboxilase ou oxigenase em células vegetais) (AYENI; JIMOH; SAHEED, 2015).

O mecanismo fotossintético C4 é favorecido pela atividade enzimática na captação de dióxido de carbono da atmosfera e de um açúcar existente nas células dos mesófilos chamado ribulose difosfato (RuDP), que origina duas moléculas de fosfoglicerato ou ácido fosfoglicérico (PGA), constituído por 3 carbonos. Estas duas moléculas são fosforiladas pelo trifosfato de adenosina (ATP) e posteriormente reduzidas pela nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADPH), fase dependente da luz. Estas reações formam o aldeído fosfoglicérico (PGAL). Para cada doze moléculas de PGAL formadas, dez são utilizadas para regenerar a ribulose (ocorrendo a fosforilação de 6 ATPs e retornando ao ciclo inicial) (SOROS; BRUHL, 2000).

A *C. esculentus* por utilizar o mecanismo fotossintético C4, apresenta elevada eficiência na absorção de CO₂ atmosférico em condições de estresse hídrico, altas temperaturas e alta intensidade de luz, que resulta em destaque quanto à sobrevivência e persistência vegetativa. Razão pela qual são consideradas plantas daninhas em diversas culturas comerciais, como exemplo nas lavouras de cana-de-açúcar e algodão (BRUHL, 1995; METCALFE, 1969).

A *C. esculentus* tem oferecido grande resistência aos métodos convencionais de controle (químico e mecânico), pois em condições propícias, apresenta uma estratégia de reprodução bastante intensa e rápida. Situação a qual têm estimulado pesquisadores a desenvolverem novas tecnologias para o combate. Nos últimos anos é verificado um aumento exponencial do uso de herbicidas em lavouras. Que resulta em drásticas perdas da biodiversidade e desequilíbrio ambiental (ERASMO; ALVES; KUVA, 1994).

Embora, o modelo agrícola tradicional ainda preconize combater plantas nativas presentes em áreas de cultivo de monocultura, é crescente o número de iniciativas voltadas a valorização de sistemas de cultivo baseados na multicultura (BUAINAIN; SOUSA; NAVARRO, 2017; MBURU et al., 2016).

Com a perspectiva de exploração sustentável dos recursos naturais, é possível aproveitar fontes vegetais comercialmente inexploradas, como plantas alimentícias não convencionais. Como por exemplo, a *C. esculentus* tendo em vista a riqueza nutricional e fitoquímica que seus tubérculos apresentam (BELEWU; ABODUNRIN, 2008; SÁNCHEZ-ZAPATA; FERNÁNDEZ-LÓPEZ; PÉREZ-ALVAREZ, 2012).

Existem evidências de que tubérculos de *C. esculentus* serviram como fonte de alimento na antiguidade. Vestígios pré-históricos de tubérculos secos foram encontrados em tumbas aos arredores do rio Nilo no Egito há cerca de 6000 a.C (NABIL EL HADIDI, 1985; ZOHARI, 1986).

No velho mundo, os tubérculos de *C. esculentus* eram empregados além da alimentação humana, no preparo de perfumes e medicamentos. A polpa dos tubérculos e caules eram utilizados como material para a produção de papiros. Tais evidências foram eternizadas através de relatos de pensadores e filósofos como Teofrasto, Plínio e Dioscórides (DEFELICE, 2002; NUNN, 2002).

Os tubérculos da *C. esculentus* apresentam riqueza energética devido a elevados teores de amido, lipídios, açúcares e proteínas. Representam uma adequada fonte de minerais úteis para o metabolismo humano como fósforo, cálcio e potássio, além de possuírem as vitaminas E e C (BELEWU; ABODUNRIN, 2008; COKUNER et al., 2002).

Outra característica da *C. esculentus* é que seus tubérculos apresentam pH próximo da neutralidade. Esta característica pode tornar seu uso promissor do ponto de vista tecnológico, como na incorporação em alimentos processados (BELEWU; ABODUNRIN, 2008; SÁNCHEZ-ZAPATA; FERNÁNDEZ-LÓPEZ; PÉREZ-ALVAREZ, 2012).

A porção lipídica dos tubérculos da *C. esculentus* é rica em ácido oleico (75% da gordura total) e ácido linoleico (9-10% da gordura total). Quanto à composição proteica, a arginina é o principal aminoácido, seguido pelo ácido glutâmico e ácido aspártico. Com exceção da histidina, os teores de aminoácidos essenciais costumam ser mais elevados do que a quantidade recomendada para adultos pela FAO/OMS (ETESHOLA; ORAEDU, 1996; GLEW et al., 2006; LANGEVELD et al., 2000; MORELL; BARBER, 1983)

Os tubérculos de *C. esculentus* possuem uma ampla gama de compostos com potencial bioativo, como ácidos fenólicos e flavonoides. Costumam apresentar diversos antioxidantes naturais, como: ácido p-hidroxibenzoico, ácido vanílico, p-hidroxibenzaldeído, vanilina, ácido p-trans-cumárico, ácido trans-ferúlico, ácido p-cis-cumárico, ácido cis-ferúlico, entre outros (EKEANYANWU et al., 2010; EZEH; NIRANJAN; GORDON, 2016).

A possibilidade de extrair compostos bioativos dos tubérculos da *C. esculentus* com o uso de processos adequados representa uma oportunidade para obter novos ingredientes para uso em uma variedade de produtos alimentícios de alto valor nutricional (EZEH; NIRANJAN; GORDON, 2016).

As formas de utilização de *C. esculentus* são diversas em todo o mundo, com variações etnobotânicas que vão desde alimentação animal (tubérculos, rizomas e partes aéreas), confecção de utensílios (fibras), usos sociais (religiosos, ornamentais), ambiental (contenção de erosão, inseticida natural), medicinais e até mesmo em processos industriais, como na fabricação de papel, nas indústrias têxtil e alimentícia (GOETGHEBEUR, 1998; SIMPSON; INGLIS, 2001). A espécie foi recentemente sugerida como matéria-prima para a produção de

biodiesel, devido ao elevado teor de ácidos graxos presente nos tubérculos (cerca de 26 a 36%) (GIWA; OGUNBONA, 2014; OFOEFULE et al., 2013).

Na China, ainda é utilizado na cozinha tradicional, enquanto na África Ocidental as “chufas” ou “nozes de tigre” (como os tubérculos de *C. esculentus* popularmente são chamados), são utilizados como sedativo, tônico, adoçante alimentar e na medicina popular no tratamento de doenças cardíacas (AL-SNAFI, 2016; RANJANI et al., 2013). Na Itália e Egito o óleo extraído dos tubérculos é utilizado para a fabricação de sabão (OLADELE; AINA, 2007).

Em Portugal, os tubérculos de *C. esculentus*, são conhecidos pelos nomes populares: “juncinha”, “junça-brava” e “junça-de-conta” e seu uso é destinado à alimentação de suínos (DEFELICE, 2002). Na Índia e Vietnã os tubérculos frescos da *C. esculentus* são empregados em tratamentos dermatológicos, aplicados em úlceras de pele. Também são utilizados como diurético e contra os sintomas de cefaleia (KURIAN, 2012). No Quênia, as espécies da família Cyperaceae são utilizadas como forragem que serve de pastagem para rebanhos de animais e na Tailândia é utilizado na produção de tapetes (SIMPSON; INGLIS, 2001).

Em vários países da região do mar mediterrâneo, especialmente na Espanha, os tubérculos da *C. esculentus* são conhecidos como “amêndoas da terra” e apreciados pelo sabor amendoado. São utilizados para fazer uma bebida (extrato hidrossolúvel) refrescante e não alcoólica chamada “horchata de chufa”, de aspecto leitoso (MORELL; BARBER, 1983; SÁNCHEZ-ZAPATA et al., 2009).

A horchata de chufa é um produto tradicional, com notória importância econômica por vários séculos na Espanha. Representa talvez a mais rentável aplicação dos tubérculos da *Cyperus esculentus* na área de tecnologia em alimentos (BENEYTO et al., 2000; PASCUAL-SEVA et al., 2013).

Originalmente elaborada por muçulmanos, a horchata de chufa obteve na Espanha o maior destaque, mais especificamente na região de Valência. Difundindo-se para vários outros países europeus como Reino Unido, França, Portugal e também para países do continente americano, como Estados Unidos da América e Argentina (PASCUAL et al., 2000).

Alguns produtos já foram elaborados a partir da horchata de chufa como chocolates, geleias, cervejas e licores em países da Europa. Também utilizada como fonte alternativa ao leite de vaca, em produtos fermentados e iogurtes em países africanos (ASANTE, 2018).

Anualmente na Espanha, principalmente durante o verão, são comercializados aproximadamente 40 milhões de litros de horchata de chufa, que resulta no faturamento anual de aproximadamente 3,3 milhões de euros. Para tal, entorno de 1.200 ha de *C. esculentus* são

plantados, e colhidos em média 10.000 Kg/ha (SÁNCHEZ-ZAPATA; FERNÁNDEZ-LÓPEZ; PÉREZ-ALVAREZ, 2012).

Acredita-se que a chegada da *C. esculentus* no Brasil tenha ocorrido no período colonial por navios mercantes portugueses. Atualmente no nordeste brasileiro agricultores produzem essa cultura o ano todo e a mesma contribui como reforço da alimentação e geração de renda (ELOI et al., 2015; MARX; KERR, 1985).

Os tubérculos são apreciados devido ao sabor levemente adocicado e são comercializados em feiras locais e mercearias da região nordeste brasileira, principalmente em cidades do Ceará. São consumidos de forma *in natura*, ou processados, no preparo de doces tradicionais. Utilizados também popularmente por supostas propriedades antiofídicas e potencial afrodisíaco (MATOS et al., 2008).

Devido à riqueza dos compostos fitoquímicos, os tubérculos da *C. esculentus* são utilizados em quase todos os países onde há cultivo, de forma empírica, na prevenção e tratamento alternativo de doenças e enfermidades como doenças cardíacas, úlcera gástrica, trombose e no tratamento clínico de artrite (AL-SNAFI, 2016; RANJANI et al., 2013).

São atribuídos poderes terapêuticos à *C. esculentus* como agente ansiolítico, no tratamento de diarreia, febre, dor, vômito e como promotor de ativação da circulação sanguínea. Também, no controle de problemas femininos, como irregularidades menstruais e amenorréia. Contribui ainda para a redução de risco de câncer de cólon, atuando como analgésico, sedativo, antiespasmódico e anti-inflamatório (GAMBO; DA'U, 2014; RANJANI et al., 2013).

Todas as propriedades farmacológicas relatadas foram investigadas e confirmadas em estudos especializados na área, os quais atribuem os efeitos à influência de flavonóides, taninos, glicosídeos, furocromonas, monoterpenos, sitosterol, alcalóides, saponinas, terpenóides, óleos essenciais e outros metabólitos secundários, presentes nos tubérculos de espécies da família Cyperaceae (EZEH; NIRANJAN; GORDON, 2016).

Biologicamente ativos, os tubérculos da *C. esculentus*, podem servir como matéria-prima para a produção de extratos hidrossolúveis, óleos e amidos carregados com diferentes teores de compostos bioativos com vistas a produção de novas drogas (AL-SNAFI, 2016).

Ekeanyanwu et al. (2010) avaliaram a possível relação entre a composição química dos tubérculos de *C. esculentus* e efeitos anti-nutricionais, e concluíram após estudos *in vivo* utilizando ratos, que apesar do elevado teor de fitoquímicos potencialmente nocivos, não foi verificado efeito negativo.

A composição fitoquímica das espécies vegetais pode variar de acordo a singularidade de cada cultivar, características químicas do solo e variáveis relacionadas ao manejo. Para

minimizar riscos, o processamento térmico, como a torrefação, pode configurar uma estratégia interessante na redução de possíveis compostos antinutricionais, devido à instabilidade térmica dos mesmos (ADEMAKANMI et al., 2009).

3.3 *Dioscorea bulbifera*

A família *Dioscoreáceae* foi reconhecida inicialmente por Brown no ano de 1819 e compreende trepadeiras herbáceas monocotiledôneas que como característica comum possuem órgãos subterrâneos ou aéreos que armazenam carboidratos (principalmente amido) como reserva energética (JINRENG; ZHIZUN; HUIZHEN, 1994). Distribuída em regiões tropicais, subtropicais e temperadas, as espécies que compõem a família *Dioscoreáceae* representam importantes fontes alimentares em diversas áreas do planeta (BURKILL, 1960).

Nas últimas décadas, a informação sobre a quantidade de gêneros pertencentes à família *Dioscoreáceae* foi sendo atualizada na medida em que novos gêneros foram sendo reconhecidos (FRODIN, 2004). Knuth em 1924, subdividiu as espécies que compõem a família *Dioscoreáceae* em 4 gêneros (*Dioscorea*, *Stenomeris*, *Tacca* e *Trichopus*). Posteriormente, em 1972, Purseglove descreveu a família em seis gêneros, os quais, segundo o autor, com aproximadamente 650 espécies. Atualmente, são reconhecidos 8 gêneros, com cerca de 850 espécies, de acordo com Marbberley em 2000 (FRAGA; COUTO, 2018; FRODIN, 2004; PURSEGLOVE, 1972).

Cerca de 95% das espécies que integram a família *Dioscoreáceae* pertencem ao gênero *Dioscorea*, que possui cerca de 600 espécies subdivididas em 5 principais sessões (*Enantrophyllum*, *Lasiophyton*, *Opsophyton*, *Combilium* e *Macrogynodium*) (CASTRO et al., 2012). As espécies do gênero *Dioscorea* que apresentam maior importância na alimentação humana e animal no mundo são: *D. cayennensis*, *D. rotundata*, *D. alata*, *D. trifida* e *D. esculenta* e *D. bulbifera* (LEBOT, 2019).

Todas as espécies do gênero *Dioscorea* costumam apresentar elevada rusticidade quanto ao manejo agrônomo. Não apresentam a necessidade de renovação periódica de sementes, são tolerantes à seca, pouco exigentes quanto ao tipo de solo, resistentes a pragas/doenças, portanto dispensam adubação, aplicação de fungicidas e inseticidas, o que justifica serem cultivadas em diversas áreas do planeta (RUBATZKY; YAMAGUCHI, 1997; ZÁRATE et al., 1998)

A origem do gênero *Dioscorea* é controversa, porém especula-se que tenha ocorrido em regiões tropicais da África, Ásia ou América. Território onde atualmente está distribuída a

maioria das espécies do gênero, tanto na forma silvestre, quanto cultivada (PURSEGLOVE, 1972).

O “cará”, como popularmente é conhecido, pode ser considerado um sinônimo para várias espécies do gênero *Dioscorea*. Isso ocorre devido à similaridade taxonômica, que resulta em confusão na identificação empírica das espécies (PEDRALLI et al., 2002).

As espécies detentoras da nomenclatura generalizada, “Cará”, são utilizadas na alimentação básica de habitantes nativos de regiões tropicais e subtropicais, e se destacam quanto à importância comercial e social que representam (RUBATZKY; YAMAGUCHI., 1997).

De acordo com Coursey (1967) o gênero *Dioscorea* teve ampla disseminação pelo mundo a partir do final do período Cretáceo. Os diferentes cursos tomados pela civilização em correntes migratórias no velho e novo mundo, culminaram para o surgimento de espécies diferentes.

De modo geral, as espécies do gênero *Dioscorea* possuem componentes nutricionais relevantes para a dieta de quem as consome, com destaque para o elevado valor energético, devido à alta concentração de amido. Embora a composição centesimal revele baixos teores de proteínas e lipídios, o conteúdo de minerais costuma ser elevado (K, Na, Mg, Ca, Cu, Zn, P e Fe) (BHANDARI; KASAI; KAWABATA, 2003).

Compostos químicos importantes podem ser encontrados na maioria das espécies do gênero *Dioscorea*, tais como: precursores de vitaminas A (α -Caroteno, β -Caroteno e retinol), B (tiamina, riboflavina, niacina e piridoxina) C (ácido ascórbico) e D (ergocalciferol), além de taninos, sapogeninas esteroidais e alcaloides que em concentrações adequadas podem apresentar efeitos benéficos à saúde (OKWU; NDU, 2006; SAUTOUR; MITAINE-OFFER; LACAILLE-DUBOIS, 2007).

Os compostos químicos presentes nos órgãos de reserva energética das espécies do gênero *Dioscorea* podem apresentar riscos de toxicidade, quando ingeridos em dosagens indiscriminadas, ou quando não são aplicadas técnicas de eliminação como cocção e lavagem (COURSEY, 1967; PEDRALLI et al., 2002).

Os órgãos de armazenamento amiláceo, tanto subterrâneos, quanto aéreos (como os bulbilhos da *D. bulbifera*), depois de colhidos possuem a capacidade de permanecerem estocados por longos períodos, em torno de 4 a 6 meses, sem que ocorra degradação das suas propriedades (RANDRIAMBOAVONJI et al., 2013).

A longa durabilidade de órgãos de armazenamento amiláceo contribui para a segurança alimentar dos consumidores, pois proporciona aporte nutricional durante estações

chuvosas, períodos em que geralmente é escassa a disponibilidade de alimentos frescos (ARNAU et al., 2010; MONTEIRO; PERESSIN, 2002).

Além de alimento, o gênero *Dioscorea* apresenta espécies que são utilizadas na medicina popular, as quais são atribuídas propriedades diuréticas e também depurativas, sendo empregadas em enfermidades cutâneas, no tratamento de furúnculos e infecções (BHANDARI; KAWABATA, 2004; RUBATZKY; YAMAGUCHI, 1997; SAUTOUR; MITAINE-OFFER; LACAILLE-DUBOIS, 2007).

Algumas espécies do gênero *Dioscorea* são utilizadas como base para a formulação de produtos de uso farmacológico e industrial, a exemplo da diosgenina (substância cristalina esteroideal), empregada na síntese da cortisona, hormônios sintéticos e contraceptivos orais. Além de outros compostos como corticosteroides, empregados na fabricação de cosméticos e pomadas, úteis para tratamentos alergênicos (ESPEJO et al., 1982; SAUTOUR; MITAINE-OFFER; LACAILLE-DUBOIS, 2007).

No Brasil, as espécies do gênero *Dioscorea* são cultivadas de forma regionalizada e heterogênea, muitas vezes sem expressão econômica, mas com notória importância na agricultura tradicional (CARMO, 2002; CHU; FIGUEIREDO-RIBEIRO, 1991).

Um exemplo de espécie subutilizada é a *D. bulbifera*, tipo de inhame de origem africana, que foi trazida para o Brasil durante o período escravocrata e produz túberas aéreas (bulbilhos) que possuem elevado conteúdo nutricional e agradável sabor, porém detém baixa importância comercial (MARTIN, 1974).

O cará-moela (*D. bulbifera*) é uma planta trepadeira, robusta, de caule herbáceo cilíndrico, estriado, que se enrola no sentido anti-horário e possui folhas inteiras e cordiformes. Recebe esse nome devido à semelhança que as túberas aéreas apresentam quando comparadas à moela de frango, porém também pode ser encontrado com o nome de cará-borboleta, cará-do-ar e cará-de-corda (MARTIN, 1974; PEDRALLI et al., 2002).

Os bulbos, túberas ou bulbilhos produzidos pela *D. bulbifera*, são encontrados nas partes aéreas da planta (mais especificamente nas axilas das folhas). Estes possuem coloração marrom, com tamanho e formas variadas (chegando a 0,5 kg) e apresentam lóculo com duas sementes aladas na parte inferior, responsáveis pela principal forma de reprodução da planta (Figura 3) (MARTIN, 1974).

Figura 3 - Imagens do bulbo e da planta *Dioscorea bulbifera*.



Fonte: imagens retiradas da internet (www.atanatural.com.br)

Evidências arqueológicas apontam a utilização de *D. bulbifera* L. na alimentação humana por populações pré-históricas em regiões tropicais da África e Ásia (COURSEY, 1967). Atualmente, a espécie ainda é largamente distribuída em regiões da África, Ásia e em países da Oceania, como exemplo da Austrália, onde foi introduzida e adaptada, porém é descrita pelos aborígenes nativos como venenosa aos que não sabem prepará-la (WEBSTER; TERNA; BECK, 1984; YEN, 1973).

As práticas de tratamento que visam à retirada de compostos tóxicos e/ou anti-nutricionais da *D. bulbifera* variam, mas de modo geral são similares em todas as partes do mundo. Envolvem o fracionamento das túberas em fatias, cocção e posterior imersão em água corrente durante algumas horas para que ocorra a lixiviação dos compostos químicos indesejáveis (COURSEY, 1967).

Embora as túberas aéreas da *D. bulbifera* apresentem compostos químicos com potencial tóxico responsáveis por envenenamento de animais em alguns países, excepcionalmente nas variações da espécie produzidas no Brasil e nas Antilhas, estes compostos parecem não existir (CORRÊA, MANOEL PIO; DE AZEREDO PENNA, 1984).

Leonel e Cereda (2002) verificaram que as túberas da *D. bulbifera* apresentam potencial nutricional e produtivo superior quando comparadas à outras plantas tropicais tuberosas como a batata, a mandiocinha, entre outras.

No Brasil, são poucas as instituições envolvidas com pesquisas relacionadas à cultura da *D. bulbifera* mesmo sendo uma cultura de grande importância, principalmente com relação à agricultura familiar e à agricultura de subsistência, por apresentar alta qualidade nutritiva e importantes propriedades medicinais, como já relatado (SIQUEIRA, 2009).

3.4 *Hedychium coronarium*

Popularmente conhecida como lírio do brejo, lírio borboleta, jasmim do brejo, são José, gengibre branco, napoleão, narciso e olímpia a *Hedychium coronarium* é uma planta encontrada em áreas de brejo. Muito utilizada como planta ornamental e apreciada pelas perfumadas flores brancas que produz (KISSMANN; GROTH, 1991; VIEIRA; ALBUQUERQUE, 2018).

Originária do Nepal, a cultivar *H. coronarium*, se espalhou pelo mundo e atualmente é possível encontrá-la de forma nativa em diversos países do continente asiático, em regiões da Ásia tropical que vão desde o Himalaia até a China. No continente americano ocupam regiões litorâneas desde a costa dos Estados Unidos até a Argentina, incluindo o Brasil, onde se adaptou bem devido à elevada capacidade de proliferação (ASCHERI et al., 2009).

Pertencente à família Zingiberaceae, a *H. coronarium* é uma monocotiledônea macrófita, aquática que apresenta porte entre 90 a 250 cm de altura, com caule ereto, cilíndrico, avermelhado na base e folhas coriáceas, de distribuição lanceolada com presença de língula (Figura 4). Apresenta também rizomas com elevada concentração de carboidratos (principalmente amido) e compostos químicos diversos (UMA; MUTHUKUMAR, 2014).

Figura 4 - Imagens do rizoma e da planta de *Hedychium coronarium*.



Fonte: imagens retiradas da internet (www.agrolink.com.br)

O vertiginoso crescimento e a capacidade de disseminação em meio a regiões agrícolas e vegetação nativa, coloca a *H. coronarium* em posição de planta potencialmente invasora (ZENNI; ZILLER, 2011).

A reprodução da *H. coronarium* pode ser do tipo sexuada, pela produção de flores, frutos e sementes. Mas também ocorre de forma assexuada através da formação de hastes aéreas clonais a partir do rizoma, ou de fragmentos do rizoma que se dispersam nas águas, no leito dos rios, que formam novas populações com vários indivíduos de mesma característica genética, denominados clones (BARRAT-SEGRETAIN, 1996; SANTOS; PEDRALLI; MEYER, 2005).

Após a fase reprodutiva da *H. coronarium* ocorre a morte das partes aéreas, e estas se renovam durante os períodos chuvosos, época em que também ocorre a produção expressiva de matéria orgânica que será utilizada pelas próximas gerações, que possibilitam o crescimento dos brotos jovens e a recomposição vegetativa (SANTOS; PEDRALLI; MEYER, 2005).

Assim como para diversas outras plantas invasoras, os trabalhos de pesquisa científica estão voltados na sua grande maioria, para o combate e erradicação da *H. coronarium*. Há um grande interesse dos produtores e entidades ligadas ao agronegócio em preservar a hegemonia das culturas produzidas em larga escala, porém são poucos os trabalhos que abordem a utilização sustentável e valorização das espécies ditas invasoras (RODRIGUES; LOPES, 2006; SHARMA; CHIRANGINI; KISHOR, 2011; ZENNI; ZILLER, 2011).

A exploração econômica da espécie *H. coronarium*, está relacionada apenas à comercialização por floriculturas para fins ornamentais. Também de forma incipiente na fabricação de papel e derivados, devido ao elevado teor de celulose (em torno de 43 a 48%) encontrado nas partes vegetativas aéreas da planta (CHAN; WONG, 2015; LIM; LIM, 2014).

De forma regional, em países asiáticos como China e Nepal, são encontrados relatos que apontam o uso dos rizomas da *H. coronarium* na medicina popular, devido às diversas propriedades terapêuticas atribuídas aos compostos químicos presentes (LIM; LIM, 2014).

Os principais usos fitoterápicos dos rizomas da *H. coronarium* são: no tratamento de vômitos, tosse, problemas pulmonares, cefaleia, inflamações, apoptose, irregularidades menstruais e pedras no trato urinário. Também são atribuídas, propriedades anti-hipertensiva, antifúngica, antimicrobiana, diurética e vem sendo estudado de forma promissora no tratamento de câncer (BEHERA et al., 2018; JOY; RAJAN; ABRAHAM, 2007; LIM; LIM, 2014; VERMA; BANSAL, 2010).

O possível caráter bioativo dos compostos químicos presentes nos rizomas da *H. coronarium*, suscita a possibilidade de explorar técnicas de extração e aplicação de amido e farinha, visando o desenvolvimento de alimentos funcionais e nutracêuticos (BENTO et al., 2019; SINGH et al., 2012).

O conjunto de características físicoquímicas e reológicas pertinentes aos amidos extraídos dos rizomas da *H. coronarium*, podem revelar propriedades funcionais tecnológicas específicas, de interesse para a indústria de alimentos (ASCHEI et al., 2010).

O elevado teor de carboidratos, como amido (cerca de 22% em base seca) encontrados nos rizomas da *H. coronarium*, associado a abundante disponibilidade da espécie nas áreas incidentes, justificam a necessidade de novos estudos que abordem a sua aplicação voltada a

alimentação humana, tendo em vista os dados alarmantes de estudos que apontam para o aumento progressivo da fome no mundo (ASCHERI et al., 2010).

3.5 *Xanthosoma sagittifolium*

A espécie *Xanthosoma sagittifolium* é uma planta nativa da região sul do continente americano, porém foi difundida e bem adaptada em áreas tropicais de países da África e Ásia. É reconhecida pelos nomes populares taioba, taió, tânia e taoiá, tanier, yatuia, cocoyam ou malanga, dentre outros (CARVALHO; CORDEIRO, 1990; LEBOT, 2019).

Apreciada pelos caules e tubérculos volumosos, dotados de grande concentração de carboidratos (principalmente amido), a *X. sagittifolium* representa importante fonte energética na alimentação tradicional em diversas regiões no mundo, mas principalmente da população nativa do litoral atlântico (LEBOT, 2019).

Membro da família Araceae (a qual possui cerca de 109 gêneros e 4000 espécies), a *X. sagittifolium* é uma espécie folhosa, robusta, monocotiledônea, perene, rizomatosa, cujo porte pode variar entre 1 a 2 metros de altura (VALADARES; MARTINS; COELHO, 2012).

A planta é constituída por folhas que apresentam limbos grandes, carnosos, cerosos e com nervuras marcantes, além de caules modificados (feculentos), raízes abundantes do tipo fasciculadas. A propagação convencional ocorre principalmente de forma vegetativa, a partir de um tubérculo principal, com pequenas ramificações laterais que se propagam (Figura 5) (DE LIMA; KRUPPEK, 2016; LU et al., 2005; SEGANFREDO et al., 2001).

Figura 5 - Imagens do tubérculo e da planta de *Xanthosoma sagittifolium*.



Fonte: imagens retiradas da internet (<http://www.museucasadeportinari.org.br/>)

Existe uma confusão por parte de alguns produtores, consumidores e até mesmo por membros da comunidade científica, no que diz respeito à diferenciação das espécies da mesma

família, *X. sagittifolium* e *Colocasia esculenta*, popularmente conhecida como Taro (DE LIMA; KRUPPEK, 2016).

Embora um olhar pouco criterioso possa apontar semelhança entre as duas espécies, estas apresentam diferenças quanto à morfologia foliar. Diferentemente da *Colocasia esculenta*, ao observar as folhas da *X. sagittifolium*, é possível perceber na superfície, a presença de uma linha que contorna toda a borda e na parte interna, seiva de coloração esbranquiçada (PEDRALLI et al., 2002).

Outra característica que ocorre apenas na *X. sagittifolium* é que a fusão das folhas ocorre exatamente no talo. Condição esta que também não é verificada nas folhas da espécie *Colocasia esculenta* (DE LIMA; KRUPPEK, 2016), como pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 - Diferença entre folhas da *Xanthosoma sagittifolium* (esquerda) e *Colocasia esculenta* (direita).



Fonte: imagem retirada da internet (www.superbotanica.com)

Embora *X. sagittifolium* apresente rusticidade quanto ao cultivo, a espécie necessita solos bem hidratados e clima quente para ser produzida com condições adequadas. O ciclo completo de produção que compreende o plantio até colheita leva em torno de 10 meses. Porém no Brasil devido às condições ambientais, esse ciclo pode ocorrer no período de 4 a 5 meses (MANGAN et al., 2008).

No Brasil a produtividade agrícola dos tubérculos da *X. sagittifolium* é de aproximadamente 30 ton/ha, e rendimento médio de 20% de amido (em relação ao peso inicial do tubérculo). Representa potencial produtivo de amido que pode chegar até aproximadamente 10 ton/ha (GARCIA; LEONEL, 2005a).

As regiões das Antilhas e América Central apresentam uma vasta população da espécie *X. sagittifolium*, porém existem muitas outras espécies de *Xanthosoma* que são utilizadas como fonte de alimento, como *Xanthosoma maffafa* e *Xanthosoma robustum*, ambas cultivadas e bem adaptadas no litoral do continente africano e nos Estados Unidos, mais especificamente na região da Flórida (DE LIMA; KRUPPEK, 2016; MONTALDO, 1991).

No Brasil, as espécies *X. sagittifolium* (taioba comum) e a *Xanthosoma violaceum* (taioba roxa), apresentam destaque em produtividade quando comparadas a demais espécies da família Araceae, as quais também são cultivadas, porém denotam menor expressão quanto ao cultivo (UTERMÖHL; GONÇALVES, 2007).

A utilização dos tubérculos da *X. sagittifolium* inclui a cocção para a elaboração de receitas tradicionais para consumo imediato, bem como a produção de farinha para produção de panificados, além da extração de amido que configuram alternativas para aumentar a estabilidade frente à deterioração microbiana, tendo em vista o elevado teor de umidade dos tubérculos *in natura* (DE LIMA; KRUPÉK, 2016).

Com notória importância no aporte energético, devido ao elevado teor de carboidratos nos órgãos subterrâneos, principalmente amido (em torno de 20%), a *X. sagittifolium* possui a maior concentração de amido dentre os aróides comestíveis (GARCIA; LEONEL, 2005a).

Por séculos os tubérculos da *X. sagittifolium* contribuem para a manutenção da subsistência de considerável parte da população nativa da América do Sul. Como pode ser constatado em registros que revelam vestígios de cultivo em antigas ruínas peruanas (TRÈCHE, 1996). Atualmente em países da África, como Gana, *X. sagittifolium* ocupa o terceiro lugar na produção de tubérculos, ficando atrás apenas da mandioca e do inhame (KARIKARI, 1971).

As folhas da *X. sagittifolium* são utilizadas na elaboração de pratos típicos nas regiões norte e nordeste do Brasil, principalmente nos estados: Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, onde são destinadas por pequenos produtores à nutrição de animais ruminantes (MADEIRA et al., 2015; MELO, 2007; SEGANFREDO et al., 2001).

Os tubérculos e folhas da *X. sagittifolium* são considerados fonte de vitamina A e C, além de apresentarem teores consideráveis de minerais como cálcio, ferro, fósforo, magnésio, manganês, cobre, zinco e potássio, nutrientes estes, importantes para a manutenção do organismo e que muitas vezes apresentam-se inacessíveis a extratos populacionais de baixa renda (IWUOHA; KALU, 1995; OLIVEIRA; WOBETO; ZANUZO, 2013).

As partes da *X. sagittifolium* aproveitáveis para o consumo, como tubérculos e folhas, apresentam elevadas concentrações de compostos anti-nutricionais que variam de acordo com a maturidade vegetal (DE LIMA; KRUPÉK, 2016).

Os compostos químicos que são encontrados nos tubérculos e folhas da *X. sagittifolium*, muitas vezes não apresentam toxicidade, porém reduzem o potencial de absorção de nutrientes pelo organismo. Como o caso dos inibidores de tripsina, inibidores de amilase (malonato e oxaloacetato), alcaloides, glicosídeos cianogênicos, saponinas, fitatos e fenóis. São

encontrados ainda, oxalatos na forma de oxalatos de cálcio que quando consumidos podem causar edemas nas regiões da boca até a garganta (DE LIMA; KRUPPEK, 2016).

Os compostos químicos indesejáveis presentes nos tubérculos da *X. sagittifolium* podem ser reduzidos em processo de cocção, onde são carregados para o meio aquoso, tornando o alimento seguro para o consumo (IWUOHA; KALU, 1995).

O amido da *X. sagittifolium* apresenta-se como uma alternativa promissora, frente aos amidos comerciais convencionais existentes no mercado, como milho, trigo, batata e mandioca, devido à elevada produtividade e alto rendimento de extração. Fato este, que justifica a necessidade de maior notoriedade quanto aos estudos que envolvam tecnologias à cerca da compreensão da natureza físico-química, processos de extração, caracterização, modificação e aplicação (LU; CHEN; CHANG, 2005; MELO, 2007).

4 CITOTOXICIDADE AGUDA

A composição dos nutrientes e antinutrientes está diretamente relacionada a efeitos benéficos ou prejudiciais à saúde quando consumidos (SINHA et al., 2017). Casos de toxicidade aguda podem ocasionar disfunções metabólicas como hiperlipidemia, ganho excessivo de peso, hiperglicemia, carotenemia, constipação, cálculos renais, odor corporal, mau hálito, alergias, diarreia, micção frequente e acne (MITHÖFER; MAFFEI, 2016; RYAN et al., 2019).

Na maioria desses efeitos colaterais, os parâmetros bioquímicos e hematológicos são geralmente alterados. Para um alimento ser considerado seguro para saúde humana e animal, o seu efeito sobre estes parâmetros precisam ser investigados para entender o potencial nutricional e segurança de tais alimentos, bem como para determinar a sua viabilidade de consumo (EKEANYANWU et al., 2010).

A ampla gama de compostos químicos presentes em raízes e tubérculos pode oferecer riscos quando consumidos *in natura* ou em derivados como farinhas e amido cuja extração tenha sido ineficiente. São poucos os trabalhos que abordam possíveis efeitos de toxicidade aguda em matérias-primas amiláceas (DE LIMA; KRUPPEK, 2016; WEBSTER; TERNA; BECK, 1984).

Distintos materiais vegetais são conhecidos por possuir distintos níveis de toxicidade, que depende principalmente dos níveis de antinutrientes inerentes às plantas. Investigações preliminares sobre a toxicidade aguda do extrato de tubérculo de *C. esculentus* em camundongos demonstrou não ser tóxico para ratos nas concentrações administradas

(CHUKWUMA; OBIOMA; CRISTOPHER, 2010), não existindo relatos de toxicidade para este produto.

5 AMIDOS: ASPECTOS GERAIS, ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DOS GRÂNULOS

5.1 ASPECTOS GERAIS

Depois da celulose, o amido é o polímero mais abundante da natureza. É o principal carboidrato de reserva do reino vegetal, sintetizado pelas plantas superiores e armazenado como fonte energética em sementes, raízes, tubérculos, leguminosas e cereais (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

O amido atende a cerca de 70-80% das calorias ingeridas na dieta humana em geral e atua como combustível em processos metabólicos das células no organismo (ELIASSON, 2017; TETCHI et al., 2007). De acordo com estudos arqueológicos, estima-se que o consumo de amido pelo homem, bem como o uso de técnicas de processamento de matérias-primas amiláceas ocorra há cerca de 2 milhões de anos. Possivelmente está entre os registros mais antigos da história da humanidade (LOY; SPRIGGS; WICKLER, 1992).

Em vasta amplitude territorial do planeta foram localizados depósitos de amido, tanto na forma de grânulos isolados, como em tubérculos dessecados ou fossilizados (COPELAND; HARDY, 2018). Os registros arqueológicos revelam que o amido fazia parte do cotidiano de povos pré-históricos, sendo encontrado conservado em pães, como parte de resíduos em vasos cerâmicos, aderidos em bordas de ferramentas de pedra, dentro de coprólitos e dentro de cálculos dentários. Todos os casos encontrados em ambientes abertos como jardins e florestas, ou cavernas secas e túmulos (TORRENCE; BARTON, 2016).

O amido é um biopolímero de alta massa molecular, formado pela polimerização de unidades monoméricas de D-glicose por meio de ligações glicosídicas $\alpha(1-4)$ e $\alpha(1-6)$, que originam dois polissacarídeos macromoleculares, amilose e amilopectina, os quais estão associados entre si por ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas das referidas unidades (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

Produto da biossíntese que ocorre no interior dos amiloplastos e cloroplastos, o amido é resultado da ação combinada de enzimas que catalisam a polimerização utilizando como material básico a glicose produzida na fotossíntese (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

Os grânulos de amido além de abundantes são considerados polímeros renováveis, insolúveis em água fria e podem ser facilmente extraídos. Por essas razões, as indústrias produtoras de amido movimentam anualmente bilhões de dólares produzindo ingredientes e aditivos que são utilizados nos mais variados produtos (GARCIA, 2013; WURZBURG, 1986).

A expansão das aplicações dos amidos nas últimas décadas tem conduzido o setor à crescente valorização econômica no mercado internacional, em diversos campos de atuação, com predomínio nas indústrias de alimentos, papel, produtos químicos, farmacêuticos e têxteis (ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017; GOLDEN et al., 2018).

A produção de amidos e derivados em países da União Europeia aumentou de 8,7 milhões de toneladas em 2004 para 10,8 milhões de toneladas em 2017. Cerca de 95% desse total é produzido pelo grupo *Starch Europe*, o qual é formado por 26 empresas que possuem 75 unidades processadoras em atividade, presentes em 20 dos 28 membros federados que compõem o bloco (STARCH EUROPE, 2019).

O consumo anual de amidos e derivados pelos países integrantes da União Europeia é de aproximadamente 9,4 milhões de toneladas. Deste total, cerca de 58% são destinados à indústria de alimentos, 2% empregados na nutrição animal e 40% aplicados em atividades não alimentícias, principalmente na fabricação de papel (STARCH EUROPE, 2019).

Os amidos de milho, batata, trigo e mandioca são nessa ordem os mais utilizados na indústria internacional de alimentos. Fornecem além do valor calórico, atributos funcionais, devido à características químicas e físicas, as quais não são encontradas em outros carboidratos. Dessa forma, desempenham um importante papel no controle das propriedades tecnológicas de um grande número de alimentos processados, tais como: espessantes, estabilizadores de colóides, agentes gelificantes e de volume, adesivos retentores de umidade, texturizantes e substitutos de gordura (SHRESTHA; HALLEY, 2014; WATERSCHOOT et al., 2015).

O amido, de forma geral, é utilizado em todos os países do mundo e seu consumo aumenta com o grau de desenvolvimento econômico. No Brasil, o aquecimento da economia das últimas décadas tem ampliado a demanda de alimentos prontos e semi-prontos. Por esse motivo, cerca de 98% de toda produção nacional de amidos nativos e modificados da última década tem sido destinada ao consumo interno (FELIPE, 2018).

O Brasil está no ranking dos maiores produtores de amido do mundo e ocupa a quarta posição como maior produtor de mandioca. No ano de 2016 foram colhidos 21,08 milhões de toneladas da raiz, grande parte destas, destinadas à produção de amidos, derivados e farinhas. A Nigéria atualmente é a maior produtora mundial de mandioca e computou 57,13 milhões de toneladas de raiz no mesmo ano (CONAB, 2018).

Além da mandioca, o Brasil tem produção expressiva de outras culturas amiláceas, como cereais, porém na grande maioria destinadas à exportação. Existem ainda, culturas tuberosas amiláceas inexploradas, que apresentam grande potencial para utilização como fontes de amidos comerciais, como por exemplo, a mandioquinha-salsa, batata-doce, cará e inhame. Dentre muitas outras que são produzidas, consumidas e até comercializadas de maneira suplementar ou incipiente (CONAB, 2018; LEONEL; CEREDA, 2002; RUBATZKY; YAMAGUCHI, 1997).

5.2 ORGANIZAÇÃO, TAMANHO, E DISTRIBUIÇÃO DOS GRÂNULOS DE AMIDO

A síntese do amido ocorre tanto para suprir a demanda energética de rápida utilização (produto final da fotossíntese, nas organelas fotossinteticamente ativas, como cloroplastos), quanto para estocagem de energia por longo prazo (onde é sintetizado nos amiloplastos de partes vegetais que não executam a fotossíntese, como sementes, raízes e tuberosidades) (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; GOTT et al., 2016).

Para que ocorra a síntese do amido, uma molécula de glicose é ativada a partir de um açúcar nucleotídico. Neste caso o ADP-glicose, o qual é formado pela condensação da glicose-1 fosfato com um ATP em uma reação essencialmente irreversível pela ação da enzima pirofosfatase inorgânica, presente nos plastídios. Os resíduos de ADP-glicose formados na síntese pela ação da enzima pirofosfatase, são transferidos para moléculas de amido preexistentes, os quais por meio da enzima sintase são depositados em camadas em estruturas denominadas grânulos (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; GOTT et al., 2016).

O amido é organizado na forma de grânulos (insolúveis em água fria), sua estrutura é construída a partir da superposição de camadas das macromoléculas amilose e amilopectina ao redor de um ponto denominado hilum (central ou deslocado lateralmente), que é considerado o ponto original de crescimento do grânulo. A forma de camadas, em que ocorre a deposição do amido, revela um ritmo diário de produção. Onde o material recentemente sintetizado deposita-se na superfície repetidas vezes e ocasiona dessa forma o crescimento do grânulo (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

Embora quimicamente os grânulos de amido sejam sempre iguais, estes apresentam características distintas quanto ao tamanho (entre 2 a 100 μm), forma (redonda, oval e poliédrica), composição química (lipídeos, proteínas e cinzas), organização (graus de ordenamento estrutural), características físicas (perfil reológico e morfológico), proporção de amilose, amilopectina e suas respectivas estruturas moleculares (ZHU; XIE, 2018).

De acordo com a origem botânica, estágio de desenvolvimento vegetal, condições de cultivo, modo de extração e purificação é possível obter amidos com diferentes propriedades físico-químicas e funcionais (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

Os grânulos de amido podem ser classificados como simples, quando cada plastídeo contém um grânulo (trigo, milho, cevada, centeio e sorgo), ou compostos (arroz e aveia), quando muitos grânulos estão dentro de cada amiloplasto (GISMONDI et al., 2019).

Aspectos relacionados à proporção entre amilose, amilopectina e à organização física destas macromoléculas para formar a estrutura granular, estão diretamente relacionados com a funcionalidade do amido e a importantes fatores que determinam o seu uso (LIN et al., 2012).

5.3 AMILOSE E AMILOPECTINA

De modo geral, os amidos contêm cerca de 20 a 30% de amilose e 70 a 80% de amilopectina. Porém alguns genótipos mutantes de cereais como milho, cevada e arroz, podem ser classificados como alto teor de amilose por apresentar até 70% deste polímero, enquanto outros genótipos denominados cerosos podem apresentar menos de 1% de amilose (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; REIS; ASCHERI; DEVILLA, 2010).

Alguns amidos com alto teor de amilose apresentam moléculas ramificadas de menor massa molecular e cadeias mais longas até mesmo que a amilopectina, sendo estas consideradas componentes intermediários. A amilose apresenta massa molecular entre $1,0 \times 10^5$ - $2,0 \times 10^6$ g/mol e tamanho médio da cadeia de aproximadamente 10^3 unidades de glicose. A distribuição das massas moleculares das moléculas de amilose pode variar de acordo com a origem botânica e também com a forma de extração. (WANG et al., 2019).

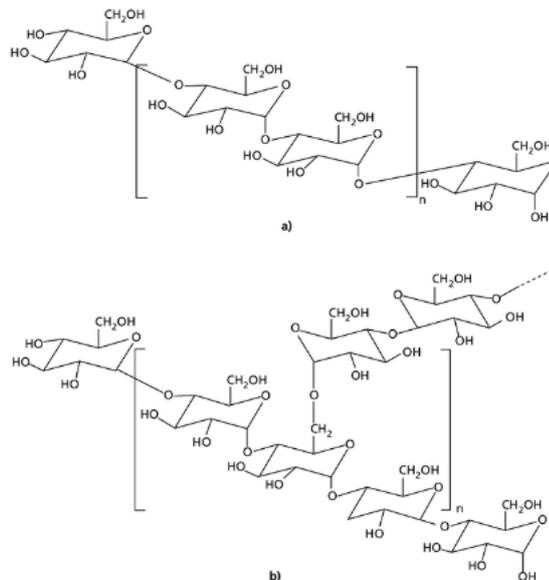
De acordo com Buléon et al. (1998) as massas moleculares das frações ramificadas da amilose são de 1,5 a 3 vezes maiores que as frações lineares e não há variações significativas entre a média das massas moleculares de amiloses de cereais quando comparadas com as de raízes ou tubérculos.

Macromolécula predominantemente linear, a amilose é constituída de 250 a 300 resíduos de D-glicopirranose unidos por ligações glicosídicas do tipo α -(1-4) (Figura 7), que tendem a assumir um arranjo helicoidal com interior hidrofóbico. Pode apresentar um ínfimo número de ramificações (cerca de 2 a 8 pontos por molécula) formadas por ligações do tipo α -(1-6) (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

O percentual de amilose costuma variar entre 15 a 30% da massa total do amido, com variações que podem ocorrer de acordo com a fonte botânica, maturidade fisiológica, condições

de solo e clima em que a matriz amilácea é produzida. Fatores como distribuição das massas moleculares, bem como o grau de polimerização, e condições de processamento empregadas na extração também podem influenciar no conteúdo de amilose (BULÉON et al., 1998; GARCIA, 2013).

Figura 7 - Estrutura química de amilose (a) e amilopectina (b).



Fonte: Corradini et al. (2005)

A configuração e natureza linear da amilose permitem algumas propriedades únicas, como a capacidade de formar filmes e complexos com álcoois, lipídeos e ácidos. Apresenta instabilidade em soluções aquosas diluídas, com a formação de retículo pela propriedade de retrogradação (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

Muitas propriedades da amilose podem ser explicadas pela sua habilidade em formar diferentes estruturas moleculares. A maioria das metodologias preconizadas para determinação desse tipo de amido baseia-se no fato de que, em soluções aquosas neutras, a estrutura normal de espiral possui a capacidade de interagir com iodo, produzindo complexo de inclusão helicoidal com aproximadamente seis moléculas de amilose por giro, no qual o iodo se encontra na cavidade central da hélice (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

De acordo com Gérard et al. (2001) o teor de amilose é comumente medido por métodos que envolvem a reação com iodo, como potenciométricos, amperométricos, ou espectrofotométricos pela medida da absorbância da cor azul (comprimentos de onda de 620 a 680 nm).

Em cada extremidade da molécula de amilose existe uma unidade terminal de glicose com uma hidroxila primária, além de duas hidroxilas secundárias e um grupamento aldeído de um lado (final redutor da molécula) e na extremidade oposta, três hidroxilas secundárias (final não redutor). As outras unidades de glicose da cadeia polimérica apresentam uma hidroxila primária e duas secundárias (WURZBURG, 1986).

As moléculas de amilose em amidos nativos (que não sofreram modificação) podem se apresentar complexadas a lipídios. Mudanças moleculares ocasionadas por tratamentos térmicos podem potencializar a formação do complexo amilose-lipídio (LAM - lipid-amylose complexes) (ELIASSON, 2017).

As mudanças moleculares recorrentes, resultantes da complexação da amilose com lipídios nas áreas superficiais do grânulo, inibem a degradação do grânulo por enzimas como fosforilase, α e β -amilase. Outros complexos de inclusão helicoidal podem ser formados com a amilose, estes incluem álcoois e ácidos orgânicos (ELIASSON, 2017).

A amilopectina é a outra macromolécula polimérica que compõe o amido, a qual é formada por cadeias curtas de amilose (moléculas de D-glicose em ligações α -(1-4)) ligadas entre si (Figura 7). Esta apresenta como característica um expressivo número de ramificações, que em média estão na ordem de uma a cada 18 ou 28 unidades de glicose na cadeia da amilose. As ramificações da amilopectina podem apresentar comprimento médio de cadeia de 17 a 25 unidades de D-glicose unidas em α -(1-4), sendo fortemente ramificada, com 4% a 6% das ligações em α -(1-6) (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012)

Considerada uma das maiores biomoléculas encontradas na natureza, a amilopectina pode apresentar um grau de polimerização (DP) de cerca de 10^4 - 10^5 unidades de resíduos de glicose, massa molecular com variação entre 50 e 500×10^6 Daltons e cadeias individuais que podem variar entre 10 e 100 unidades de glicose (ELIASSON, 2017; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).

De modo geral, a amilopectina encontra-se em maior proporção no grânulo de amido, em média, de 70 a 85%, sendo este o componente que parece ser responsável pela cristalinidade e birrefringência. As cadeias externas da amilopectina costumam se organizar na forma de dupla hélice e algumas formam estruturas cristalinas, responsáveis por manter a estrutura do grânulo e controlar o comportamento do amido quando em contato com a água, como poder de inchamento (SRICHUWONG et al., 2005).

Um dos principais fatores que determinam as propriedades do amido é o arranjo das moléculas lineares e ramificadas distribuídas dentro do grânulo (SRICHUWONG et al., 2005). No amido nativo, as moléculas de amilopectina são orientadas radialmente dentro do grânulo,

e à medida que o raio do grânulo de amido aumenta, aumentam o número de ramificações necessárias para preencher os espaços vazios dentro do grânulo, com a consequente formação de regiões concêntricas alternadamente amorfas e cristalinas (BERTOFT, 2004).

As camadas cristalinas e amorfas da amilopectina são organizadas dentro de estruturas maiores mais ou menos esféricas chamadas bloquetes. O diâmetro desses bloquetes seria de 20 a 500 nm dependendo do tipo de amido e sua localização no grânulo e teria um papel importante na maior ou menor resistência dos amidos a ação enzimática (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

Assim, a amilopectina estaria localizada no grânulo em regiões cristalinas e semi-cristalinas e nesta última os bloquetes seriam menores, e a cristalinidade da amilopectina seria reduzida, principalmente devido a seu maior envolvimento com a amilose. Na região semi-cristalina os bloquetes seriam menores (20-50 nm de diâmetro) indicando organização cristalina menor. O tamanho do bloquete parece ser fator importante na resistência dos grânulos de amido à degradação enzimática, no entanto, outros fatores como teor de amilose, localização e interação com amilopectina também são relevantes (GALLANT; BOUCHET; BALDWIN, 1997).

A distribuição do comprimento de cadeias ramificadas da amilopectina é um dos parâmetros mais importantes no entendimento da relação entre a estrutura química e as propriedades funcionais do amido (SRICHUWONG et al., 2005).

Na presença de iodo, a amilopectina apresenta coloração avermelhada. Em soluções aquosas diluídas, a amilose é instável com a formação de um retículo devido à sua propriedade de retrogradação, enquanto que a amilopectina é menos instável (MANNERS; MATHESON, 1981).

6 PROPRIEDADES DOS AMIDOS

O amido apresenta além da importância nutricional, diversas características que o tornam úteis e até indispensáveis para aplicações tecnológicas na área de alimentos. Estas aplicações podem contribuir para a manutenção da identidade e qualidade de produtos nas áreas de panificação, confeitaria, produtos lácteos e cárneos (LUALLEN, 2018).

A utilização do amido é vasta e avança na medida em que novas necessidades tecnológicas surgem. Atualmente, tem-se explorado uma gama de aplicações para amidos nativos e modificados em produtos alimentícios, como substituto de gordura em produtos de origem animal e para auxiliar na textura em pratos congelados ou produtos instantâneos como

sopas e sobremesas. Também são utilizados para a produção de biomateriais e como agente encapsulante de aromas e compostos bioativos (LEWICKA; SIEMION; KURCOK, 2015; PENG; YAO, 2017)

Os amidos exercem propriedades funcionais tecnológicas de importância sobre os alimentos processados, como solubilidade, inchamento, absorção de água, viscosidade e gelatinização. Portanto, é necessário conhecer as propriedades específicas de cada amido nativo, de modo a melhorar e ampliar a utilização dos mesmos (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

O potencial das diferentes matrizes amiláceas presentes na natureza, tem impulsionado nos últimos anos, pesquisas voltadas a caracterização dos biopolímeros que compõem o amido (amilose/amilopectina), com o intuito de compreender a influência das diferentes estruturas nas propriedades funcionais tecnológicas e relacionar com possíveis aplicações em alimentos (LEONEL; CEREDA, 2002).

6.1 PADRÃO DE CRISTALINIDADE DO AMIDO

As ligações de hidrogênio que atuam na união das macromoléculas amilose e amilopectina, permitem que estas se associem paralelamente, o que resulta no aparecimento de regiões cristalinas (micelas). Entre as camadas alternadas, além das regiões cristalinas encontram-se também as não cristalinas (amorfas) (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

São as áreas cristalinas do amido que mantêm a estrutura do grânulo, controlam o seu comportamento na presença de água e os tornam mais ou menos resistentes aos ataques químicos e enzimáticos. A zona amorfa dos grânulos de amido é a região menos densa, mais suscetível aos ataques e absorve mais água em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

A cristalinidade pode ser classificada de acordo com sua organização dentro do grânulo de amido, onde são aplicadas as letras A, B e C para categorizar as disposições moleculares, relativas às duplas hélices organizadas em um empacotamento cristalino tridimensional na forma de *clusters* principalmente das cadeias ramificadas da amilopectina, que pode ser revelado por difração de raio-X (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015; WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

O tipo A de cristalinidade é constituído de uma cadeia não redutora de unidades de glicose que formam duplas hélices unidas por ligações α -(1,4) sem ramificações, que podem ser ligadas a cadeias do tipo B ramificadas, por meio de ligações α -(1,6) (CEREDA; VILPOUX;

DEMIATE, 2003; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015; WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

As cadeias do tipo B são formadas por unidades de glicose ligadas em α -(1,4) e α -(1,6), contendo uma ou várias cadeias tipo A e podem conter cadeias tipo B unidas por meio de um grupo hidroxila primário (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015; WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

A cadeia C é única em uma molécula de amilopectina, composta por ligações α -(1,4) e α -(1,6), com grupamento terminal redutor, sendo esta, considerada uma mistura das cadeias do tipo A e B, que pode ser sub-classificada ainda como C_a, C_b e C_c, de acordo com sua proximidade com as estruturas típicas do tipo A e B (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

6.2 PODER DE INCHAMENTO E SOLUBILIDADE DOS GRÂNULOS

O amido apresenta a característica de ser insolúvel em água fria. No entanto, nessa condição, pode absorver quantidades limitadas de água, de forma reversível a partir das regiões amorfas do grânulo (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

O poder de inchamento pode ser definido como a capacidade de absorção de água dos grânulos de amido. Ao fornecer calor aos grânulos, acima da temperatura de empastamento em excesso de água (> 60%), ocorre a hidratação e conseqüente expansão, de forma irreversível. Como resultado, tem-se a perda da estrutura cristalina dos grânulos de amido (WATCHARATEWINKUL et al., 2009).

Após o processo de gelatinização e a perda da cristalinidade dos grânulos de amido, uma ordem indefinida é verificada no grânulo gelatinizado, possivelmente ocasionado por forças associativas não covalentes entre as moléculas no interior dos grânulos (AI; JANE, 2015).

A elevada capacidade de ligação com a água quente está relacionada à perda de associação das cadeias macromoleculares que compõem o amido. A energia térmica empregada no aquecimento ocasiona a clivagem dos pontos de ligação de hidrogênio entre as moléculas. Dessa forma, os grupos hidroxilas e os átomos de oxigênio presentes em cada monômero de glicose tornam-se sítios de ligação com a água (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

A absorção de água quente resulta em inchamento, aumento de volume e também parcial solubilização do grânulo de amido. Esse fenômeno pode ocorrer em diferentes magnitudes, que variam em função do tipo de amido e temperatura utilizada. Conforme

aumenta a temperatura no sistema, ocorre a gradual mobilidade molecular que permite a penetração da água (TETCHI et al., 2007).

O inchamento do grânulo de amido está diretamente relacionado com a força e a natureza da rede micelar (forças associativas) existentes. As forças associativas são determinadas pela razão amilose/amilopectina, massa molecular e distribuição dos polímeros, quantidade de ramificações, conformação, bem como o comprimento das cadeias ramificadas da amilopectina. Substâncias não amiláceas, presentes no amido, como fosfolipídios e fosfato monoéster, podem limitar a expansão e solubilização dos grânulos de amido (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

O poder de inchamento ou a capacidade de hidratação de um grânulo de amido pode ser mensurado pelo peso do grânulo de amido intumescido e pelo percentual de água oclusa. O intumescimento resulta no aumento da solubilidade, transparência e viscosidade de pasta do amido (SAARTRAT et al., 2005). Amidos de tubérculos como a mandioca e a batata por apresentarem elevado teor de amilopectina, costumam inchar muito quando cozidos em água e são instáveis frente a agitação mecânica (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012). Amidos com elevada concentração de amilose, costumam revelar grânulos com inchamento limitado. Apresentam rigidez devido a forte associação intermolecular e por esta razão os grânulos de amido não incham o suficiente para formar pastas viscosas (SHAO et al., 2007).

6.3 PROPRIEDADES DE PASTA

Qualquer tipo de amido, seja nativo ou modificado, em suspensão aquosa quando submetido ao aquecimento e ação mecânica, produz espectro de gelatinização e formação de pasta variável de acordo com a fonte botânica da qual o amido é oriundo, bem como de acordo com o pH ao qual a suspensão é submetida (AI; JANE, 2015).

As propriedades de pasta dos amidos podem ser verificadas em análise de perfil viscoamilográfico, realizadas em equipamentos como viscoamilógrafo Brabender e o *Rapid Visco Analyser* (RVA) (BALET et al., 2019).

De modo geral, a temperatura de gelatinização dos amidos provenientes de raízes e tubérculos, como a mandioca (52-65 °C) e a batata (58-65 °C), costumam ser inferiores aos amidos extraídos de cereais como milho (62-80 °C) e trigo (59-85 °C) (BAJAJ et al., 2018).

Durante o processo de gelatinização e retrogradação, os grânulos de amido passam por mudanças estruturais que resultam em características específicas que influenciarão no

comportamento de pasta, principalmente quanto à viscosidade durante o ciclo de aquecimento e resfriamento (AI; JANE, 2015).

Com o início da gelatinização, as moléculas de água adquirem energia cinética suficiente para associarem-se com as terminações hidrofílicas dos monômeros de glicose que compõe as cadeias macromoleculares da amilose e amilopectina. Com isso, os grânulos de amido são hidratados e intumescidos de forma gradual até que ocorra a expansão máxima e posterior rompimento, onde então a amilose é liberada para a fase aquosa (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

Os grânulos de amido gelatinizam em temperaturas diferentes, devido à distribuição heterogênea dos tamanhos dos cristais. Portanto, é possível dizer que o fenômeno de gelatinização representa uma soma de eventos individuais (BAJAJ et al., 2018).

Normalmente, grânulos maiores tendem a gelatinizar primeiro, pois geralmente apresentam regiões cristalinas constituídas por cristais pequenos que se desintegram com maior facilidade em temperaturas mais brandas do que grânulos pequenos (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

Com a gelatinização e a desintegração das regiões cristalinas dos grânulos de amido, ocorre o empastamento, onde a água encontra-se ainda oclusa no interior dos grânulos. Os quais aumentam de tamanho, mas encontram-se ainda na grande maioria intactos (AI; JANE, 2015).

A hidratação progressiva e o limite pelo qual os grânulos de amido resistem antes de romperem pode ser verificado em equipamento viscoamilográfico. Sensores do campo de atrito do instrumento detectam um pico de viscosidade, denominada viscosidade máxima e registram o valor de viscosidade atribuído por escala, tempo e temperatura em que ocorreu (BALET et al., 2019).

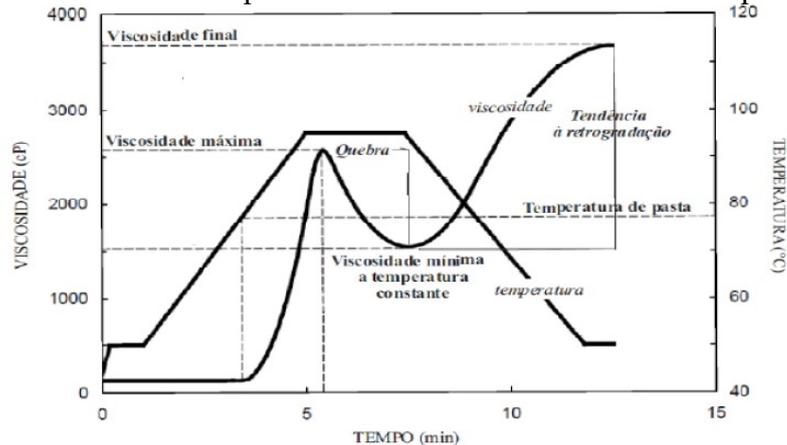
Quando se mantém os grânulos de amido dispersos em suspensão aquosa à temperatura de 95 °C por aproximadamente 6 minutos, sob agitação constante, ocorre a quebra e a solubilização dos polímeros, que resulta na diminuição abrupta da viscosidade, fase conhecida como quebra ou *breakdown* (TETCHI et al., 2007).

Assim que o ocorre o resfriamento, os polímeros de amilose e amilopectina que foram solubilizados iniciam um processo de reassociação. Com isso, um aumento na viscosidade novamente é registrado pelos sensores do viscoamilógrafo, fase conhecida como tendência a retrogradação ou *setback* (BALET et al., 2019).

Amidos com elevados teores de amilose costumam apresentar pastas opacas, são facilmente gelificados e apresentam elevada tendência a retrogradação (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

Os parâmetros de interesse para a interpretação das propriedades de pasta por meio do RVA são: viscosidade máxima (pico), quebra da viscosidade ou *breakdown* (diferença entre a viscosidade máxima e da pasta mantida a 95 °C por 5min), viscosidade final, temperatura de pasta e tendência a retrogradação (*setback*) (diferença entre as viscosidades final e da pasta a 50 °C por 5min), como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Curva de viscosidade típica em Analisador de Viscosidade Rápida (RVA)



Fonte: adaptado de Newport Scientific apud Oro (2013)

6.4 SINERESE

A sinerese pode ser compreendida como o efeito de expulsão de água durante a reassociação das cadeias poliméricas (amilose/amilopectina) gelatinizadas, principalmente da amilose durante a retrogradação do amido. Esta pode ocorrer a partir de um ponto de junção simples entre duas moléculas e culminar em progressiva reação em cadeia que resulta no surgimento de regiões ordenadas que promovem o aparecimento de uma estrutura cristalina (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

Conhecer a sinerese dos amidos é de suma importância para determinar a vida útil dos produtos elaborados a partir dos mesmos. Produtos alimentícios refrigerados, quando elaborados com amidos que apresentam elevada sinerese tendem a deteriorar, tendo em vista a maior expulsão de água durante o armazenamento, que favorece a proliferação microbiana (WANG et al., 2015).

O tempo de vida útil de um produto alimentício elaborado com amido é diretamente proporcional à percentagem de sinerese. A interação entre as moléculas de um amido gelatinizado proporciona o surgimento de zonas funcionais que forçam a saída da água do sistema (ZSOM et al., 2016).

Amidos oriundos de raízes e tubérculos costumam apresentar menor proporção de amilose quando comparados aos amidos obtidos de cereais regulares ou não cerosos (BAJAJ et al., 2018).

O tamanho e concentração dos grânulos de amido, bem como a presença de compostos não amiláceos como lipídios, podem influenciar diretamente no comportamento geral do amido e as conseqüentes características dos géis formados a partir destes, que podem apresentar diferenças quanto à rigidez com o passar do tempo (retrogradação) (WATCHARATEWINKUL et al., 2009).

Desde a produção até a comercialização, muitos alimentos passam por ciclos de congelamento e descongelamento, que podem causar alteração na textura, assim como a perda de fluídos que reflete diretamente na qualidade do produto final. Este efeito é indesejável principalmente em produtos prontos como pudins, flans, entre outros (YE et al., 2016).

6.5 CLARIDADE DE PASTA

A claridade de pasta pode ser considerada um dos principais atributos na escolha do tipo de amido a ser aplicado em alimentos. A utilização de amidos como espessantes em doces de frutas, recheios de torta, sopas, pudins e cremes, requerem pastas preferencialmente transparentes, visando produtos brilhantes, sem que ocorra a mudança da coloração inicial. Enquanto amidos utilizados em molhos para saladas devem ser opacos (LUALLEN, 2018).

A origem botânica dos amidos, bem como os processos de modificação aos quais este possa ter sido submetido, influenciam diretamente na claridade de pasta. Além dos fatores de aceitação visual por parte dos consumidores, a claridade de pastas dos amidos está relacionada com outras características tecnológicas. Geralmente, amidos que apresentam pastas mais opacas, revelam elevados teores de amilose e tendência à retrogradação, com formação de géis firmes (LUALLEN, 2018; ZHU; XIE, 2018).

As características visuais de pastas de amido podem ser classificadas de acordo com a estrutura e o comportamento da luz. Onde, pastas extremamente transparentes apresentam pouca ou nenhuma estrutura granular, não refletem a luz e pode-se visualizar objetos através destas. Pastas moderadamente transparentes podem ser brancas e também apresentam pouca ou nenhuma estrutura granular, porém irão refletir ou dispensar uma quantidade significativa de luz em razão da reassociação das cadeias. Já as pastas opacas permitem a refração da luz em diferentes extensões e distorce imagens, devido à estrutura granular que permanece preservada (WANG et al., 2015; ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017).

A percentagem de transmitância está diretamente relacionada à claridade da pasta do amido. Quando a luz passa através de uma solução sem que ocorra absorção, a absorbância é zero e a transmitância é 100%. No entanto, quando toda a luz é absorvida, a transmitância é zero e a absorbância é infinita. Quanto maior for a transmitância, maior será a claridade de pasta (menor turbidez) (MENDES; DEMIATE; MONTEIRO, 2018)

Muitos são os fatores que podem influenciar na claridade de pasta. Concentração, pH, extensão e tipo de modificação, são os principais. Pastas opacas costumam apresentar estrutura granular organizada, com maior associação entre as cadeias, o que dificulta a passagem de luz (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

Existe uma relação entre a claridade de pasta e a solubilidade, onde os amidos mais solúveis costumam apresentar maior transparência de pasta (PÉREZ; BREENE; BAHNASSEY, 1998).

6.6 CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E ÓLEO

Os grânulos de amido são insolúveis em água fria, porém podem absorver pequenas quantidades e expandir em torno de 10 a 20% do tamanho original devido à difusão e absorção de água dentro das regiões amorfas, entretanto, esta expansão é reversível pela secagem (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

Em água fria, as zonas que expandem são geralmente amorfas, formadas principalmente por amilose e em menor proporção por amilopectina. A expansão é limitada, pois as camadas essencialmente cristalinas da amilopectina precisam de energia térmica específica para que sejam perturbadas e, são severamente restritas à hidratação em temperaturas brandas (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

As moléculas de água adsorvidas pelas macromoléculas que compõem o amido são denominadas “água ligada” e revelam a habilidade de uma superfície molecular em formar ligações fracas, não covalentes, com a água. O percentual de água ligada, oclusa nos grânulos de amido, influencia nas características de expansão dos mesmos (STEPHEN; PHILLIPS, 2016).

A capacidade de ligação dos amidos com a água está relacionada à perda de associação dos polímeros que formam os grânulos (ZHU; XIE, 2018). Os sítios hidrofílicos disponíveis nos monômeros de glicose que compõem as macromoléculas do amido são os grupos hidroxila e seus átomos de oxigênio (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

A habilidade do amido em absorver óleo, está relacionada à capacidade de aprisionamento físico de estruturas químicas apolares no interior do grânulo de amido. A complexação do óleo ocorre principalmente no interior da amilose e apresenta arquitetura condensada em forma de hélice, onde no centro da hélice se depositam os radicais hidrofóbicos (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

O amido com baixa capacidade de absorção de água é apropriado como ingrediente em produtos que requerem tanto baixa retenção de água quanto de gordura, melhorando a textura, por exemplo, a crocância do produto (WURZBURG, 1986). A propriedade da capacidade de absorção de óleo tem grande importância na formulação de alimentos como massas de bolos, e outros molhos, participando para a palatabilidade e retenção de sabor (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

A capacidade de absorção de água (CAA) e a capacidade de absorção de óleo (CAO) são medidas pela relação entre a massa do sedimentado em gramas e a massa seca da amostra de amido (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

6.7 TEXTURA DOS GÉIS

A gelificação é o fenômeno que ocorre durante o resfriamento e o armazenamento da pasta de amido. Em uma solução o solvente corresponde à fase contínua, enquanto o polímero encontra-se dissolvido e representa a fase dispersa. Em um gel a lógica é oposta, pois o polímero corresponde à fase contínua enquanto o solvente constitui a fase dispersa. A arquitetura do gel é composta por uma estrutura na forma de uma rede tridimensional e dentro das malhas desta rede se encontra o solvente disperso (MORRIS, 1990).

Com o estudo das propriedades reológicas dos diversos tipos de amido é possível ampliar o conhecimento que envolve os fenômenos relacionados à natureza e estrutura dos diferentes géis. Possibilita também entender o mecanismo básico que envolve o processo de transferência de calor, características estas que podem tornar a escolha do amido mais assertiva em aplicações tecnológicas (ORFORD et al., 1987).

Os géis de amido são considerados fluidos não-newtonianos e podem exibir tensão de cisalhamento inicial com baixas taxas de deformação. Assim como a maioria dos alimentos, as dispersões de amidos gelatinizados apresentam comportamento pseudoplástico, mas também podem se comportar como fluido dilatante, característica que gera grande interesse para as indústrias de alimentos (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; KEETELS; VLIET; WALSTRA, 1996).

A concentração das soluções de amido e a velocidade do resfriamento influenciam diretamente na formação de precipitados microcristalinos. Soluções concentradas, quando resfriadas rapidamente tendem a formar géis, enquanto soluções mais diluídas, deixadas em repouso, tendem a precipitar. Com o tempo, o gel formado se torna gomoso e tem a tendência de liberar água (sinerese), característica comumente encontrada em alguns produtos, como molhos em geral (MORRIS, 1990; ORFORD et al., 1987).

Os precipitados microcristalinos são formados no processo de gelificação pela agregação de cadeias poliméricas lineares (amilose), através da formação de ligações intermoleculares, quando a temperatura é diminuída após a gelatinização, fenômeno denominado de retrogradação (MORRIS, 1990; TOVAR et al., 2002; WANG et al., 2015).

A amilose é considerada o principal componente envolvido na produção da estrutura de rede densa que dá aos géis a firmeza durante o processo de resfriamento, visto que esta pode influenciar no poder de inchamento, índice de solubilidade e propriedades de formação de gel de amido. O número de ligações aumenta nos géis durante o período de repouso e torna a rede mais fina e compacta em diferentes graus, conforme o número, tamanho e distribuição das regiões micelares (LII; TSAI; TSENG, 1996).

Na amilopectina a gelificação ocorre de forma lenta ou é inexistente, com precipitação lenta, textura gomosa e coesiva, devido às ramificações que dificultam a associação intermolecular (KALICHEVSKY; ORFORD; RING, 1990; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015).

O tipo de ligação que une as moléculas do polímero permite definir a natureza do gel. Por exemplo, géis formados por alginatos, podem apresentar ligações covalentes ou iônicas, enquanto géis formados por amidos são constituídos por ligações físicas, de baixa energia, como as hidrofóbicas ou forças de Van der Waals (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

Ao esfriar, as moléculas de amido se reassociam parcialmente para formar uma estrutura ordenada. Dependendo da concentração das soluções e da velocidade do resfriamento, haverá formação de géis ou de precipitados microcristalinos (MORRIS, 1990).

A variação na fonte de amido, composição e estrutura, e as diversidades nas propriedades, torna o amido adequado para várias aplicações que contribuem para diferentes funcionalidades. Os amidos nativos têm utilização limitada na indústria de alimentos, devido à sua fraca estabilidade térmica e ácida, bem como alta tendência a retrogradação. Assim, os mesmos podem ser modificados visando adquirir maior estabilidade, melhoria das características reológicas das pastas, textura dos géis e retenção de água (ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017).

As pastas de amidos de milho, trigo ou arroz, que contêm teores relativamente elevados de amilose se tornam opacas e formam géis durante o resfriamento. Pastas obtidas de féculas de batata ou de mandioca, por outro lado, geralmente permanecem mais claras (menos opacas) e, embora ao resfriarem apresentem um certo aumento de viscosidade, não chegam a formar géis opacos. No caso de pastas de amido de milho ceroso, as mesmas se comportam como as obtidas de féculas (amidos de tubérculos e raízes), tendo inclusive menor tendência à retrogradação (KALICHEVSKY; ORFORD; RING, 1990; ORFORD et al., 1987).

O amido de mandioca apresenta cerca de 18 % de amilose, enquanto que os amidos de cereais possuem em torno de 22 %. Devido a essa diferença, os géis de amidos de cereais são mais rígidos, enquanto que os de tuberosas são mais viscosos e transparentes (BAJAJ et al., 2018; MATIGNON; TECANTE, 2017; PÉREZ; BREENE; BAHNASSEY, 1998).

As medidas reológicas podem envolver forças de grande ou pequena deformação (ensaios estacionários ou dinâmicos). As altas tensões de deformação causam desorientação das moléculas e alteração da estrutura dos grânulos de amido. Ensaio deste tipo são realizados, por exemplo, na indústria de panificação, onde são utilizados equipamentos como o farinógrafo, mixógrafo e extensiógrafo (WATANABE; BELL; BROCKWAY, 1998).

Os ensaios a baixa amplitude de deformação realizados em reômetro adequado não causam alteração da estrutura da amostra de amido desde que realizados na zona de comportamento viscoelástico linear, ou seja, são testes que consistem em analisar a amostra de maneira não destrutiva, muito utilizados para o estudo do comportamento de géis (ROLEE; LE MESTE, 1997).

6.8 RESISTÊNCIA A CICLOS DE CONGELAMENTO E DESCONGELAMENTO

A importância da avaliação da resistência dos amidos a ciclos de congelamento e descongelamento está no fato destes processos acelerarem drasticamente a retrogradação, pois a formação de cristais de gelo oriundos do processo de congelamento compromete a estrutura do amido. As consequências são em geral mudanças na textura, como endurecimento, que podem comprometer a aceitabilidade e a digestibilidade dos alimentos que contêm amido (ELIASSON, 2017; YE et al., 2016).

Um fator importante que deve ser levado em consideração na tomada de decisão de qual amido utilizar em produtos alimentícios é a resistência a ciclos de congelamento e descongelamento. Os amidos de mandioca e de milho ceroso são mais resistentes a estes ciclos

do que o amido de milho, tal conhecimento torna a escolha do amido mais assertiva (YUAN; THOMPSON, 1998).

As modificações químicas são empregadas como alternativa para superar limitações que os amidos nativos apresentam. Principalmente, para modificar as características de cozimento, diminuir a retrogradação, aumentar a estabilidade das pastas durante o congelamento/descongelamento, melhorar os grupamentos hidrofóbicos e introduzir poder de simular a ação mimetizante de gordura (TAO et al., 2016; WHITE; ABBAS; JOHNSON, 1989).

Amidos nativos provenientes de fontes não convencionais podem revelar características que propiciem resistência a ciclos de congelamento e descongelamento, como alternativa à dependência das modificações químicas empregadas para obtenção de tais funcionalidades (WHITE; ABBAS; JOHNSON, 1989).

7 MODIFICAÇÕES DE AMIDOS

Na indústria de alimentos, quando produtos são desenvolvidos, amidos com propriedades específicas são utilizados para conferir atributos que atendam às exigências de qualidade e vida útil. No entanto, amidos comerciais nativos, costumam apresentar características funcionais tecnológicas específicas de acordo com a origem que dificultam as aplicações, como elevada higroscopicidade, intumescimento rápido, perda de viscosidade, alta tendência a retrogradação, baixa resistência ao esforço de cisalhamento e a tratamentos térmicos e produzem pastas pouco espessas, elásticas e coesivas (WURZBURG, 1986).

Para transformar amidos comerciais nativos em ingredientes, os processos de modificação costumam ser realizados. As modificações empregadas podem gerar produtos amiláceos específicos e são realizadas pelas vias química, física, enzimática ou combinação das diferentes vias, permitindo “moldar” o amido de acordo com a finalidade desejada. Desta forma é possível conferir aperfeiçoamento e flexibilidade quanto às suas propriedades funcionais, tais como: temperatura de gelatinização, estabilidade ao aquecimento/resfriamento e a ciclos de congelamento/descongelamento, formação de géis com consistências desejáveis e obtenção de produtos com maior estabilidade às condições de armazenamento, com propriedades específicas, e que sejam capazes de resistir às condições adversas do processamento (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015; ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017).

Alterações nas propriedades tecnológicas dos amidos podem ser obtidas por meio de reações químicas como hidrólise ácida, succinilação, acetilação, intercruzamento das ligações,

dentre outras. Por processos físicos tais como tratamento térmico e exposição a radiações, ou ainda através do emprego de processos enzimáticos. Tais processos de modificação podem alterar características de cozimento (gomificação), diminuir a retrogradação e a tendência das pastas a formarem géis, aumentar a estabilidade das pastas ao resfriamento e descongelamento, alterar a transparência e adesividade, melhorar a textura e formação de filmes, além de adicionar grupamentos hidrofóbicos e introduzir poder mimetizante do comportamento de gorduras em pastas ou géis (LAWAL, 2005; LUAllen, 2018).

A modificação física do amido tem sido relacionada com o emergente conceito de “tecnologia verde” para aplicações ambientalmente amigáveis. Estas modificações não empregam reagentes químicos ou enzimas e não exigem tratamento de resíduos, além de apresentarem menores custos, quando comparados aos métodos químicos e enzimáticos. Também tornam-se mais atraentes, pois é muito difícil registrar qualquer novo amido modificado quimicamente ou geneticamente para aplicações alimentos (CHANDANASREE; GUL; RIAR, 2016; ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017).

Conforme a Portaria nº 540 (SVS/MS de 27 de outubro de 1997) os amidos naturais/nativos e modificados por modificação física devem ser mencionados na lista de ingredientes como amidos, já os amidos modificados quimicamente não são considerados como aditivos alimentares, devendo ser mencionados na lista de ingredientes como amidos modificados, e quando utilizados pela indústria de alimentos, deverão obedecer às especificações estabelecidas pelo *Food Chemical Codex* (última edição) (BRASIL, 1997).

Diversas modificações físicas e as suas combinações com algumas modificações químicas foram realizadas para criar novas propriedades e estrutura de amido. As mais conhecidas utilizam processos que fazem o uso do calor, radiações e cisalhamento, sendo o primeiro o mais importante, pois afeta o amido de diferentes formas, dependendo da umidade (LAWAL, 2005; LEWICKA; SIEMION; KURCOK, 2015).

A principal característica dos amidos modificados fisicamente é a obtenção de amidos pré-gelatinizados, os quais têm em comum a característica de serem dispersíveis em água fria, necessitando de menos energia para serem gelatinizados, quando comparados aos amidos nativos de mesma fonte botânica. Existe uma necessidade industrial de produtos instantâneos que dispersam prontamente, dando vários tipos de textura, sendo elas, lisa, polpuda ou granulada (BUTT; MOHSIN ALI; HASNAIN, 2018).

Existem inúmeros tratamentos físicos que conduzem a novas propriedades funcionais do amido, por meio da modificação da estrutura cristalina do grânulo de amido, enquanto a sua integridade é preservada. Entre eles, a técnica de *annealing* está entre as mais estudadas, em

condições variadas de processo. Outros tratamentos físicos também usados são: tratamento térmico de baixa umidade, moagem com bolas (*ball milling*), secagem em tambor (*drum drying*), extrusão e secagem por pulverização (*spray drying*) (BEMILLER; HUBER, 2015).

8 APLICAÇÃO DO AMIDO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DE GORDURA EM EMULSIONADOS CÁRNEOS EMBUTIDOS

Nos últimos anos, a gordura tem sido associada a doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer, diabetes mellitus e à expectativa de vida mais curta, visto que a maioria das doenças estão correlacionadas estatisticamente com a obesidade (AKOH, 1998). Tal associação motivou o interesse súbito por produtos alimentícios com menos ou com zero gordura (HAMILTON et al., 2000).

A obesidade mais do que duplicou desde 1980 em todo o mundo. Em 2014, mais de 1,9 bilhão de adultos com 18 anos ou mais estavam acima do peso. Desses, mais de 600 milhões eram obesos e 39% tinham excesso de peso. O número de pessoas consideradas obesas no mundo passa de 1 bilhão, sendo aproximadamente 650 milhões de adultos, 340 milhões de adolescentes e 39 milhões de crianças (MCCLEMENTS, 2015).

Quanto ao consumo de macronutrientes, o perfil dos brasileiros mostra que 59% das calorias estão representadas por carboidratos; 12%, por proteínas; e 29% por lipídeos. Nas regiões economicamente mais desenvolvidas (Sul, Sudeste e Centro-Oeste) e de modo geral, no meio urbano e entre famílias com maior poder aquisitivo, nota-se um consumo elevado de gorduras, em especial as saturadas. Esse padrão dietético se associa ao aumento do excesso de peso e, conseqüentemente, com a obesidade da população brasileira, que aumentaram continuamente ao longo dos anos (IBGE, 2009).

Para atender a essa demanda dos consumidores, a indústria de alimentos investiu na pesquisa e desenvolvimento de alimentos com baixo teor de gordura e características sensoriais que se assemelhassem aos produtos padrão, ou seja, aos alimentos com teor de gordura comercial. Deste modo, o conteúdo de gordura de um produto alimentício pode ser diminuído substituindo-a total ou parcialmente por um componente menos energético (LABARGE, 1988).

Os substitutos de gorduras devem ter analogia funcional às gorduras que substituem, serem livres de efeitos tóxicos e não produzir metabolitos diferentes daqueles produzidos pela gordura convencional, ou serem completamente eliminadas do organismo (SINGHAL; GUPA; KULKARNI, 1991).

De acordo com Almeida et al. (2014), em embutidos emulsionados a redução no teor de lipídeos está relacionada com o aumento no teor de água, se não forem adicionados substituintes de lipídeos na formulação, por isso o amido pode ser utilizado com esta função. Isso gera um produto com menor valor calórico, mais firme, mais coeso, mais suculento, mais escuro, com maior tempo de cozimento e menor quantidade de água exsudada na embalagem, se o conteúdo de proteína for suficiente.

A capacidade de retenção de água (CRA) dos alimentos é uma medida que envolve a interação entre as proteínas do alimento e a água. Dessa propriedade, dependem os atributos de maciez, suculência e textura dos produtos. A água livre está imobilizada pelas proteínas, podendo estar envolvidas ligações cruzadas e forças eletrostáticas entre as cadeias polipeptídicas (SGARBIERI, 1996). Quando os alimentos têm pouca CRA, a perda de peso durante o armazenamento é grande, além disso, representa perdas na palatabilidade e no valor nutricional do produto.

Assim como as fibras podem ser ingredientes utilizados em produtos cárneos com redução de gordura (ZHANG; WANG; YANG, 2010), amidos estáveis com alta CRA apresentam-se como ingredientes promissores para esta mesma função.

REFERÊNCIAS

- AI, Y.; JANE, J. Gelatinization and rheological properties of starch. **Starch - Stärke**, v. 67, n. 3–4, p. 213–224, 2015.
- ADEKANMI, O. K. et al. Influence of processing techniques on the nutrients and antinutrients of tigernut (*Cyperus esculentus* L.). **World J. Dairy Food Sci**, v. 4, n. 2, p. 88–93, 2009.
- AKIMOTO, M.; SHIMAMOTO, Y.; MORISHIMA, H. The extinction of genetic resources of Asian wild rice, *Oryza rufipogon* Griff.: A case study in Thailand. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 46, n. 4, p. 419–425, 1999.
- AKINOSO, R.; ABIODUN, O. A. Yam: technological interventions. **Tropical roots and Tubers: Production, Processing and technology**, p. 558–590, 2016.
- AKOH, C. C. Lipid-based synthetic fat substitutes. **Food Science and Technology**, p. 559–588, 1998.
- ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 35, n. 2, p. 215–236, 2015.
- ALLEM, A. C. **The origins and taxonomy of Cassava**. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTT, A. (Org.). *Cassava: biology, production and utilization*. [S.l.]: CABI, 2002. p. 1–16.
- ALMEIDA, C. M. et al. Production of low-fat emulsified cooked sausages using amorphous cellulose gel. **Journal of Food Quality**, v. 37, n. 6, p. 437–443, 2014.
- AL-SNAFI, A. E. A review on *Cyperus rotundus* A potential medicinal plant. **Journal Of Pharmacy**, v. 6, n. 7, p. 32–48, 2016.
- ALVES-PEREIRA, A. et al. Patterns of nuclear and chloroplast genetic diversity and structure of manioc along major Brazilian Amazonian rivers. **Annals of botany**, v. 121, n. 4, p. 625–639, 2018.
- ANGELO, M. J. Food security, industrialized agriculture, and a changing global climate: perspectives on the United States and Cuba. **Fla. J. Int'l L.**, v. 29, p. 131, 2017
- ARINATHAN, V.; MOHAN, V. R.; MARUTHUPANDIAN, A. Nutritional and anti-nutritional attributes of some under-utilized tubers. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 10, n. 2, p. 273–278, 2009.
- ARNAU, G. et al. *Yams. Root and Tuber Crops*. New York, NY: Springer New York, 2010. p. 127–148.
- ARROYO-KALIN, M. The Amazonian formative: crop domestication and anthropogenic soils. **Diversity**, v. 2, n. 4, p. 473–504, 2010.

ASANTE, F. A. **Process development and evaluation of tiger nut based chocolate products**. 2015. Tese de Doutorado. Kwame Nkrumah University of Science and Technology.

ASCHERI, D. P. R. et al. Caracterização Física e Físico-Química de Rizomas e Amido do Lírio-Do-Brejo (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 159–166, 2010.

ASCHERI, D. P. R. et al. Propriedades termodinâmicas de adsorção de água do amido de rizomas do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2009.

AYENI, O. B.; JIMOH, M. A.; SAHEED, S. A. Leaf anatomical characters in relation to the C3 and C4 photosynthetic pathway in *Cyperus* (Cyperaceae). **Nordic Journal of Botany**, v. 33, n. 3, p. 318-323, 2015.

BAJAJ, Ritika et al. Structural, morphological, functional and digestibility properties of starches from cereals, tubers and legumes: a comparative study. **Journal of food science and technology**, v. 55, n. 9, p. 3799-3808, 2018.

BALET, Sandra et al. Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physiochemical properties in cereals: A review. **Food Analytical Methods**, v. 12, n. 10, p. 2344-2360, 2019.

BARRAT-SEGRETAIN, M. H. **Strategies of reproduction, dispersion, and competition in river plants: A review**. *Vegetatio*. [S.l.]: Springer Netherlands, 1996

BECK, W.; TORRENCE, R. Starch pathways. In: **Ancient starch research**. Routledge, 2016. p. 53-74.

BEHERA, Shashikanta et al. Biotechnological intervention through tissue culture in *Hedychium coronarium*: a potential anticancer plant. In: **Anticancer Plants: Natural Products and Biotechnological Implements**. Springer, Singapore, 2018. p. 551-564.

BELEWU, M. A.; ABODUNRIN, O. A. Preparation of kunnu from unexploited rich food source: Tiger nut (*Cyperus esculentus*). **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 7, n. 1, p. 109–111, 2008.

BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. Physical Modification of Food Starch Functionalities. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 19–69, 2015.

BENEYTO, H. et al. Chemical characterization of the natural drink "horchata de chufa" in Alcoia and Comtat regions (Alicante). **Alimentación, Equipos y Tecnología**, v. 19, n. 4, p. 99-101, 2000.

BENTO, J. A. C. et al. Extraction, characterization and technological properties of white garland-lily starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 135, p. 422–428, 2019.

BERTOFT, E. On the nature of categories of chains in amylopectin and their connection to

the super helix model. **Carbohydrate Polymers**, v. 57, n. 2, p. 211-224, 2004.

BESSA, M. M. **Agrobiodiversidade E Sustentabilidade Na Produção Camponesa: O Caso Do Assentamento Vitoria No Município De Goianésia (Go)**. (DISSERTAÇÃO) Desenvolvimento territorial na América Latina e Caribe - Instituto de Políticas Públicas e Relações Internacionais, 2017.

BHANDARI, M. R.; KASAI, T.; KAWABATA, J. Nutritional evaluation of wild yam (*Dioscorea* spp.) tubers of Nepal. **Food Chemistry**, v. 84, n. 1, p. 619–623, 2003.

BHANDARI, M. R.; KAWABATA, J. Organic acid, phenolic content and antioxidant activity of wild yam (*Dioscorea* spp.) tubers of Nepal. **Food Chemistry**, v. 88, n. 2, p. 163–168, 2004.

BLANCO, F. **Invasoras**. Caderno Técnico. Cultivar Grandes Culturas, Pelotas, v. 90, p. 2–7, 2006.

BOOMGAARD, P. In the shadow of rice: roots and tubers in Indonesian history, 1500-1950. **Agricultural history**, p. 582-610, 2003.

BRASIL. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria da Vigilância Sanitária. Portaria n. 540, **Regulamento Técnico Aditivos Alimentares**, de 27 de outubro de 1997. Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404 p

BROWN, C. R. Origin and history of the potato. **American Potato Journal**, v. 70, n. 5, p. 363-373, 1993.

BRUHL, Jeremy J. Sedge genera of the world: relationships and a new classification of the Cyperaceae. **Australian Systematic Botany**, v. 8, n. 2, p. 125-305, 1995.

BRUSH, Stephen B. The natural and human environment of the central Andes. **Mountain Research and Development**, p. 19-38, 1982.

BUAINAIN, A. M; SOUSA, M. R.; NAVARRO, Z. **Globalization and agriculture: redefining unequal development**. Lexington Books, 2017.

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

BURKILL, F. L. S. I. H. The organography and the evolution of Dioscoreaceae, the family of the yams. **Journal of the Linnean Society of London, Botany**, v. 56, n. 367, p. 319, 1960.

BUTT, N. A.; MOHSIN ALI, T.; HASNAIN, A. A Comprehensive Review On Scope,

Characteristics And Applications Of Instant Starches In Food Products. **Annals. Food Science and Technology**, v. 19, n. 1, 2018.

CAGNATO, C.; PONCE, J. M. Ancient Maya manioc (*Manihot esculenta* Crantz) consumption: Starch grain evidence from late to terminal classic (8th–9th century CE) occupation at La Corona, northwestern Petén, Guatemala. **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 16, p. 276-286, 2017.

CARMO, C. DO. **Inhame e taro**: sistemas de produção familiar. Vitória, ES:Incaper, 2002

CARVALHO, E. F. DE; CORDEIRO, J. A. D. Um Método Alternativo E Eficiente De Propagação Vegetativa De Inhame (*Colocasia Esculeg Ta (L.) Schott*) E De Taioba (*Xanthosoma Sagittifolium (L.) Schott*). **Acta Amazonica**, v. 20, p. 11–18, 1990.

CASTAÑEDA-ÁLVAREZ, Nora P. et al. Global conservation priorities for crop wild relatives. **Nature plants**, v. 2, n. 4, p. 1-6, 2016.

CASTRO, A. P. et al. Etnobotânica das variedades locais do cará (*Dioscorea spp.*) cultivados em comunidades no município de Caapiranga, estado do Amazonas. **Acta Botanica Brasílica**, v. 26, n. 3, 2012.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I. M. **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v. 3, p. 246–332, 2003.

CHAN, E. W. C.; WONG, S. K. Phytochemistry and pharmacology of ornamental gingers, *Hedychium coronarium* and *Alpinia purpurata*: a review. **Journal of Integrative Medicine**, v. 13, n. 6, p. 368–379, 2015.

CHANDANASREE, D.; GUL, K.; RIAR, C. Effect of hydrocolloids and dry heat modification on physicochemical, thermal, pasting and morphological characteristics of cassava (*Manihot esculenta*) starch. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p. 175–182, 2016.

CHAVARRIA, Geraldo et al. Incidência de doenças e necessidade de controle em cultivo protegido de videira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 477-482, 2007.

CHU, E. P.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L. Native and exotic species of *dioscorea* used as food in brazil. **Economic Botany**, v. 45, n. 4, p. 467–479, 1991.

CHUKWUMA, E. R. et al. The phytochemical composition and some biochemical effects of Nigerian tigernut (*Cyperus esculentus L.*) tuber. **Pakistan Journal Of Nutrition**, v. 9, n. 7, p. 709-715, 2010.

CISNEROS, F. H.; ZEVILLANOS, R.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Characterization of starch from two ecotypes of Andean achira roots (*Canna edulis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 16, p. 7363-7368, 2009.

COKUNER, Y. et al. Physical and chemical properties of chufa (*Cyperus esculentus L*) tubers grown in the Çukurova region of Turkey. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n. 6, p. 625–631, 2002.

COPELAND, L.; HARDY, K. Archaeological starch. **Agronomy**, v. 8, n. 1, p. 4, 2018.

CORRÊA, MANOEL PIO; DE AZEREDO PENNA, L. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1984.

COURSEY, D. G. **Yam. An account of the nature, origins, cultivation and use of useful members of Dioscoreaceae**. [S.l: s.n.], 1967.

DE CASTRO, O. et al. A molecular survey concerning the origin of *Cyperus esculentus* (Cyperaceae, Poales): two sides of the same coin (weed vs. crop). **Annals of botany**, v. 115, n. 5, p. 733-745, 2015.

DE LIMA, G. A. S.; KRUPPEK, R. A. Caracterização morfológica, anatômica, e toxinas endógenas em *Colocasia esculenta* (L.) Schott e *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. **Luminária**, v. 18, n. 1, p. 31–40, 2016.

DEFELICE, M. S. Yellow Nutsedge *Cyperus esculentus* L.—Snack Food of the Gods 1. **Weed Technology**, v. 16, n. 4, p. 901–907, 2002.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C.; MANFREDINI, S. A produção de soja no Brasil e sua relação com o desmatamento na Amazônia. **Revista Presença Geográfica**, v. 1, n. 1, 2014.

DOS SANTOS, K. M. P.; GARAVELLO, M. E. de P. E. Segurança alimentar em comunidades quilombolas de São Paulo I. **Revista Segurança Alimentar e Nutricional**, 2016.

EHLERS, E. O que é agricultura sustentável. Coleção Primeiros Passos, Brasiliense: 2017.

EJOH, R. A.; DJOMDI; NDJOUENKEU, R. Characteristics of tigernut (*Cyperus esculentus*) tubers and their performance in the production of a milky drink. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 30, n. 2, p. 145-163, 2006.

EKEANYANWU, R. C. et al. The phytochemical composition and some biochemical effects of Nigerian tigernut (*Cyperus esculentus* L.) tuber. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 9, n. 7, p. 709-715, 2010.

ELIASSON, AC. Starch: Physicochemical and functional aspects. In: **Carbohydrates in food**. CRC press, 2017. p. 501-600.

ELOI, R. F. et al. Cultivo de *Cyperus esculentus* L. em sistema agroecológico. **IV Semana Acadêmica das Ciências Agrárias**, 2015.

ERASMO, E. K. A.; ALVES, P. L. C. A.; KUVA, M. A. Fatores que afetam a brotação de tubérculos de tiririca (*Cyperus rotundus* L.): I Qualidade da luz, concentração de CO₂, e temperatura. **Cultura Agrônômica**, v. 3, p. 55–65, 1994.

ESPEJO, O. et al. Precursores de diosgenina espirostânica de *Dioscorea composita* tubers. **Fitochemistry**, 1982.

ETESHOLA, E.; ORAEDU, A. C. I. Fatty acid compositions of tigernut tubers (*Cyperus esculentus* L.), baobab seeds (*Adansonia digitata* L.), and their mixture. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 73, n. 2, p. 255–257, 1996.

EZEH, O.; GORDON, M. H.; NIRANJAN, K. Tiger nut oil (*Cyperus esculentus* L.): A review of its composition and physico-chemical properties. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 116, n. 7, p. 783–794, 2014.

EZEH, O.; NIRANJAN, K.; GORDON, M. H. Effect of Enzyme Pre-treatments on Bioactive Compounds in Extracted Tiger Nut Oil and Sugars in Residual Meals. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 93, n. 11, p. 1541–1549, 2016.

FELIPE, F. I. **A Competitividade Da Indústria De Amido De Mandioca No Brasil E Na Tailândia**, 2018. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/a-competitividade-da-industria-de-amido-de-mandioca-no-brasil-e-na-tailandia.aspx>. Acesso em: 14 de dezembro de 2018

FOLLAK, S. et al. Reconstructing the invasion of *Cyperus esculentus* in Central Europe. **Weed Research**, v. 55, n. 3, p. 289–297, 2015.

FRAGA, F. R. DE M.; COUTO, R. S. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Dioscoreaceae. **Rodriguésia**, v. 69, n. 3, p. 1105–1111, 2018.

FREDERICO, S. Agricultura científica globalizada e fronteira agrícola moderna no Brasil. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia**, n. 17, 2013.

FRODIN, D. G. History and concepts of big plant genera. **Taxon**, v. 53, n. 3, p. 753–776, 2004.

GADE, D. W. Names for *Manihot esculenta*: Geographical variations and lexical clarification. **Journal of Latin American Geography**, v. 1, n. 1, p. 55–74, 2002.

GALLANT, D.; BOUCHET, B.; BALDWIN, P. M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, v. 32, n. 3–4, p. 177–191, 1997.

GAMBO, A.; DA'U, A. Tiger Nut (*Cyperus Esculentus*): Composition, Products, Uses and Health Benefits - A Review. **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 7, n. 1, p. 56, 2014.

GARCIA, A. C. D. B.; LEONEL, M.I. Effect of lactic acid concentration on expansion property of photochemically modified starches. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 629–634, 2005.

GARCIA, E. L. Composição dos tubérculos, extração e caracterização de amidos de diferentes cultivares de batata **Dissertação**. p. 82, 2013.

GÉRARD, C. et al. Amylose determination in genetically modified starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 44, n. 1, p. 19–27, 2001.

- GISMONDI, Angelo et al. Starch granules: a data collection of 40 food species. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 153, n. 2, p. 273-279, 2019.
- GIWA, S.; OGUNBONA, C. Sementes de amêndoa doce (*Prunus amygdalus*" *dulcis*") como uma matéria-prima potencial para o Projeto Nigeriano de Biodiesel Automotivo. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 1, p. 37-45, 2014.
- GLEW, R. H. et al. Amino acid, mineral and fatty acid content of pumpkin seeds (*Cucurbita* spp) and *Cyperus esculentus* nuts in the Republic of Niger. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 61, n. 2, p. 51–56, 2006.
- GOETGHEBEUR, P. **Cyperaceae**. Flowering Plants · Monocotyledons. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998. p. 141–190.
- GOLDEN, J. S. et al. **Indicators of the US biobased economy**. Washington, DC, USA: United States Department of Agriculture, 2018.
- GOTT, Beth et al. Biology of starch. In: **Ancient starch research**. Routledge, 2016. p. 35-46.
- GUERRA, M. P.; ROCHA, F. S.; NODARI, R. O. Biodiversidade, recursos genéticos vegetais e segurança alimentar em um cenário de ameaças e mudanças. **Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.
- HAMILTON, J. et al. Reduced fat products–Consumer perceptions and preferences. **British Food Journal**, 2000.
- HERMANN, M.; QUYNH, N. K.; PETERS, D. Reappraisal of edible canna as a high-value starch crop in Vietnam. **CIP Program report**, p. 415–424, 1997.
- HORNUNG, Polyanna Silveira et al. Enhancement of the functional properties of Dioscoreaceas native starches: Mixture as a green modification process. **Thermochimica acta**, v. 649, p. 31-40, 2017.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados do Censo Agro 2017**, Rio de Janeiro, Brasil, 2017.
- IMAY, K. Edible Canna: A Prospective Plant Resource from South America. **Japanese Journal of Plant Science**, v. 2, n. 2, p. 46–53, 2008.
- IWUOHA, C. I.; KALU, F. A. Calcium oxalate and physico-chemical properties of cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) tuber flours as affected by processing. **Food Chemistry**, v. 54, n. 1, p. 61–66, 1995.
- JINRENG, W.; ZHIZUN, D.; HUIZHEN, Q. A phytogeographical study on the family Dioscoreaceae. **Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica**, v. 14, n. 2, p. 128-135, 1994.
- JOAQUI BARANDICA, O. et al. Cassava breeding II: phenotypic correlations through the different stages of selection. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1649, 2016.

- JOY, B.; RAJAN, A.; ABRAHAM, E. Antimicrobial activity and chemical composition of essential oil from *Hedychium coronarium*. **Phytotherapy Research**, v. 21, n. 5, p. 439–443, 2007.
- KALICHEVSKY, M. T.; ORFORD, P. D.; RING, S. G. The retrogradation and gelation of amylopectins from various botanical sources. **Carbohydrate research**, v. 198, n. 1, p. 49-55, 1990.
- KARIKARI, S. K. et al. Cocoyam cultivation in Ghana. **World Crops**, v. 23, n. 3, p. 118-122, 1971.
- KARIM, A. A. et al. Effects of phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 2, 132-138, 2007.
- KEETELS, C. J. A. M.; VAN VLIET, T.; WALSTRA, P. Gelation and retrogradation of concentrated starch systems: 1 Gelation. **Food Hydrocolloids**, v. 10, n. 3, p. 343-353, 1996.
- KINUPP, V. F. Plantas Alimentícias Não-Convencionais da Região Metropolitana de Porto Alegre, RS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3, n. 3, p. 53–54, 2007.
- KINUPP, V. F., LORENZI, H: **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, São Paulo, Brasil (2014).
- KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. São Paulo: Basf Brasileira, p. 590- 593., 1991.
- KRAJEWSKI, P. Agricultural Biodiversity for Sustainable Development. **Problems of Sustainable Development**, v. 12, n. 1, p. 135–141, 2016.
- KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 31, p. 83-100, 2018.
- KURIAN, J. C. Ethno-medicinal Plants of India, Thailand and Vietnam. **Journal of Biodiversity**, v. 3, n. 1, p. 61–75, 2012.
- LABARGE, R. G. Water soluble compounds: The search for a low-caloric oil. **Food Technology**, p. 84-88, 1988.
- LANGVELD, S. M. et al. B-type granule containing protrusions and interconnections between amyloplasts in developing wheat endosperm revealed by transmission electron microscopy and GFP expression. **Journal Of Experimental Botany**, v. 51, n. 349, p. 1357–1361, 2000.
- LAWAL, O. S. Studies on the hydrothermal modifications of new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 37, n. 5, p. 268–277, 2005.
- LEBOT, V. **Tropical root and tuber crops**. Cabi, 2019.

- LEIDI, E. O. et al. Andean roots and tubers crops as sources of functional foods. **Journal of functional foods**, v. 51, p. 86-93, 2018.
- LEONEL, M. Analysis of the shape and size of starch grains from different botanical species. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 579–588, 2007.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 65–69, jan. 2002.
- LEONEL, M.; OLIVEIRA, M. Á. DE; FILHO, J. D. Espécies Tuberosas Tropicais como Matérias-Primas Amiláceas. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 1, n. 14, p. 49–68, 2005.
- LEWICKA, K.; SIEMION, P.; KURCOK, P. Chemical modifications of starch: microwave effect. **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, 2015.
- LII, CY.; TSAI, ML.; TSENG, KH. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. **Cereal chemistry**, v. 73, n. 4, p. 415-420, 1996.
- LIM, T. K.; LIM, T. K. **Hedychium coronarium. Edible Medicinal and Non Medicinal Plants**. [S.l.]: Springer Netherlands, 2014. p. 847–856.
- LIN, J. H. et al. Influence of molecular structural characteristics on pasting and thermal properties of acid-methanol-treated rice starches. **Food Hydrocolloids**, v. 26, n. 2, p. 441–447, 2012.
- LINSSEN, J. P. H.; COZIJNSEN, J. L.; PILNIK, W. Chufa (*Cyperus esculentus*): A new source of dietary fibre. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 49, n. 3, p. 291–296, 1989.
- LIU, J. et al. Determination of phosphoryl-oligosaccharides obtained from *Canna edulis* Ker starch. **Starch-Stärke**, v. 69, n. 1-2, p. 1500263, 2017.
- LOY, T. H.; SPRIGGS, M.; WICKLER, S. Direct evidence for human use of plants 28,000 years ago: Starch residues on stone artefacts from the northern Solomon Islands. **Antiquity**, v. 66, n. 253, p. 898–912, 1992.
- LU, T-J. et al. Properties of starches from cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) tubers planted in different seasons. **Food chemistry**, v. 91, n. 1, p. 69-77, 2005.
- LUALLEN, T. Utilizing starches in product development. In: **Starch in food**. Woodhead Publishing, 2018. p. 545-579.
- MACHADO, R. B. et al. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília, DF: [s.n.], 2004.
- MACHARIA, Mercy Wairimu et al. Genetic structure and diversity of East African taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott]. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, n. 29, 2014.

- MADEIRA, N. R. et al. Mangarito: sabor de tradição. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 3, 2015.
- MANGAN, F. X. et al. Production and marketing of vegetables for the ethnic markets in the United States. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 1, 2008.
- MANNERS, D. J.; MATHESON, N. K. The fine structure of amylopectin. **Carbohydrate Research**, v. 90, n. 1, p. 99–110, 1981.
- MARTIN, F. W. **Tropical Yams and Their Potential: Dioscorea Bulbifera**. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1974.
- MARX, F.; KERR, W. E. Junça (*Cyperus esculentus* Linné), bulbilho consumido no Maranhão e que possui bom valor nutritivo. **Acta Amazonica**, v. 15, n. 1–2, p. 265–268, 1985.
- MATIGNON, A.; TECANTE, A. Starch retrogradation: From starch components to cereal products. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 43–52, 2017.
- MAYER, T. DA S. et al. Diversidade de Espécies Vegetais para fins alimentares em Sistemas Agroflorestais Biodiversos na Região Sudoeste de Mato Grosso do Sul. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, 2018.
- MBURU, S. W. et al. Agrobiodiversity conservation enhances food security in subsistence-based farming systems of Eastern Kenya. **Agriculture and Food Security**, v. 5, n. 1, 2016.
- MCCLEMENTS, D. J. Reduced-fat foods: the complex science of developing diet-based strategies for tackling overweight and obesity. **Advances in Nutrition**, v. 6, n. 3, p. 338S–352S, 2015.
- MEKBIB, Y.; DERESSA, T. Exploration and collection of root and tuber crops in East Wollega and Ilu Ababora zones: Rescuing declining genetic resources. **Indian Journal of Traditional Knowledge**, 2016.
- MELO, P. C. T. Contribuições das hortaliças subutilizadas e ou negligenciadas à gastronomia brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 1–3, 2007.
- MELO, P. C. T. Contribuições das hortaliças subutilizadas e ou negligenciadas à gastronomia brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 1–3, 2007.
- MENDES, M. P.; DEMIATE, I. M.; MONTEIRO, A. R. G. Effect of individual and combined physical treatments on the properties of corn starch. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 40, 2018.
- MESSENGER, B. Going native. **Food processing**, p. 58–59, 1997.
- METCALFE, C. R. Anatomy as an aid to classifying the cyperaceae. **American Journal of Botany**, v. 56, n. 7, p. 782–790, 1969.
- MISHRA, T. et al. Antioxidative properties of *Canna edulis* Ker-Gawl. 2011.

- MITHÖFER, A.; MAFFEI, M. E. General mechanisms of plant defense and plant toxins. **Plant Toxins**, p. 3-24, 2017.
- MONTALDO, A. **Cultivo de r'aices y tub'erculos tropicales**. Agroamerica, 1991.
- MONTEIRO, D. A.; PERESSIN, V. A. Cultura do inhame. Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo: Fundação Cargill, p. 511–522, 2002.
- MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes**. São Paulo: [s.n.], 2011.
- MORELL, J.; BARBER, S. Chufa y horchata: características físicas, químicas y nutritivas. **Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia, Spain**, 1983.
- MORRIS, V. J. Starch gelation and retrogradation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 1, p. 2-6, 1990.
- NABIL EL HADIDI, M. **Food plants of prehistoric and predynastic Egypt**. Plants for Arid Lands. [S.l.]: Springer Netherlands, 1985. p. 87–92.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Lost Inca Crops: Little-Known Andean Plants Promising World Cultivation**. National Academies Press, 1989.
- NAYAR, N. M. The contribution of tropical tuber crops towards food security. **Journal of Root Crops**, v. 40, n. 1, p. 3-14, 2014.
- NUNN, John F. **Ancient egyptian medicine**. University of Oklahoma Press, 2002.
- O'BRIEN, P. J. The Sweet Potato: Its Origin and Dispersal 1. **American anthropologist**, v. 74, n. 3, p. 342-365, 1972.
- OFOEFULE, A. et al. Biodiesel Production from Tigernut (*Cyperus esculentus*) Oil and Characterization of its Blend with Petro-diesel. **Physical Review & Research International**, v. 3, n. 2, p. 145–153, 2013.
- OKWU, D.; NDU, C. Avaliação dos fitonutrientes, conteúdo mineral e vitamínico de algumas variedades de inhame (*Dioscorea* sp.). **Revista Internacional de Medicina Molecular**, 2006.
- OLADELE, A. K.; AINA, J. O. Chemical composition and functional properties of flour produced from two varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). **African Journal of Biotechnology**, v. 6, n. 21, 2007.
- OLER, J. R. L.; AMOROZO, M. C. de M. Etnobotânica e conservação on farm de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) na agricultura de pequena escala no Estado de Mato Grosso, Brasil. **Interações (Campo Grande)**, v. 18, p. 137-153, 2017.
- OLIVEIRA, D.; WOBETO, C.; ZANUZO, M. Mineral composition and ascorbic acid content in four non-conventional leafy vegetables species. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 472–475, 2013.

ONIS, Mercedes de. Prevenção do sobrepeso e da obesidade infantis. **Jornal de pediatria**, v. 91, p. 105-107, 2015.

ONWUEME, I. C. **Cassava in Asia and the Pacific**. In: ILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. (Org.). Cassava: biology, production and utilization. [S.l.]: CABI, 2002.

ORFORD, P. et al. Effect of concentration and botanical source on starch gelation and retrogradation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 39, n. 2, p. 169–177, 1987.

PADULOSI, S.; THOMPSON, J.; RUDEBJER, P. G. **Fighting poverty, hunger and malnutrition with neglected and underutilized species: needs, challenges and the way forward**. Bioersivity International, 2013, 60 p.

PASCUAL, B. et al. Chufa (*Cyperus esculentus* L. var. *sativus* Boeck.): Unconventional crop. Studies related to applications and cultivation. **Economic Botany**, v. 54, n. 4, p. 439–448, 2000.

PASCUAL-SEVA, N. et al. Furrow-irrigated chufa crops in Valencia (Spain). II: Performance analysis and optimization. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 1, p. 268–278, 2013.

PEDRALLI, G. et al. Uso de nomes populares para as espécies de Araceae e Dioscoreaceae no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 530-532, 2002.

PENG, X.; YAO, Y. Carbohydrates as Fat Replacers. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 8, p. 331–351, 2017.

PÉREZ, E. E.; BREENE, W. M.; BAHNASSEY, Y. A. Variations in the gelatinization profiles of cassava, sagu and arrowroot native starches as measured with different thermal and mechanical methods. **Starch/Staerke**, v. 50, n. 2–3, p. 70–72, 1998.

PÉREZ, E. E.; LARES, M.; GONZÁLEZ, Z. Some Characteristics of Sagu (*Canna edulis* Kerr) and Zulu (*Maranta* sp.) Rhizomes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 7, p. 2546–2549, 1997.

PETSAKOS, Athanasios et al. Understanding the consequences of changes in the production frontiers for roots, tubers and bananas. **Global food security**, v. 20, p. 180-188, 2019.

PIYACHOMKWAN, K. et al. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. **Industrial Crops and Products**, v. 16, n. 1, p. 11–21, 2002.

PURSEGLOVE, J. W. Dioscoreaceae. **Tropical Crops. Monocotyledons**, v. 97117, 1972.

RANDRIAMBOAVONJI, T. et al. Utilisation et conservation durable des ignames du corridor forestier Ambositra-Vondrozo, Madagascar. **Scripta Botanica Belgica**, v. 50, p. 341–348, 2013.

- RANJANI, S. et al. Medicinal uses and Pharmacological activities of *Cyperus rotundus* Linn-A Review. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 3, n. 5, 2013.
- REIS, R. C.; ASCHERI, D. P. R.; DEVILLA, I. A. Propriedades Físicas do Tubérculo e Propriedades Químicas e Funcionais do Amido de Inhame (*Dioscorea* sp.) Cultivar São Bento. **Revista Agrotecnologia - Agrotec**, v. 1, n. 1, p. 71–88, 2010.
- RODRIGUES, S. D.; LOPES, T. F. Biodiversidade: Contribuição ao estudo da planta medicinal *Hedychium coronarium* Roscoe (Zingiberaceae). **O Mundo Da Saúde**, v. 30, n. 4, p. 660–666, 2006.
- ROE, D.; SEDDON, N.; ELLIOTT, J. **Biodiversity loss is a development issue A rapid review of evidence**. IIED Issue Paper. IIED, London, 2019.
- ROLEE, A.; LE MESTE, M. Thermomechanical behavior of concentrated starch-water preparations. **Cereal chemistry**, v. 74, n. 5, p. 581-588, 1997.
- ROSEGRANT, M. W.; CAI, X.; CLINE, S. A. **Global Water Outlook to 2025: Averting an Imending Crisis**. International Food Policy Research Institute: Washington, USA, 2002.
- ROTH, I.; LINDORF, H. Introduction to South American Medicinal Plants. In: **South American Medicinal Plants**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. p. 1-69.
- RUBATZKY, V. E.; YAMAGUCHI, M. Yams, *Dioscorea*. In: **World Vegetables**. Springer, Boston, MA, 1997. p. 162-182.
- RYAN, E. T. et al. **Hunter's tropical medicine and emerging infectious diseases**. Elsevier Health Sciences, 2019.
- SAARTRAT, S. et al. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 61, n. 2, p. 211–221, 2005.
- SÁNCHEZ-ZAPATA, E. et al. Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk (“horchata”) byproducts and its physicochemical properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 17, p. 7719–7725, 2009.
- SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ALVAREZ, J. A. Tiger Nut (*Cyperus esculentus*) Commercialization: Health Aspects, Composition, Properties, and Food Applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 4, p. 366–377, 2012.
- SANDERSON, H. Roots and tubers. In: **The Cultural History of Plants**. Routledge, 2012. p. 66-81.
- SANTANA, Á.; MEIRELES, M. A. A. New starches are the trend for industry applications: a review. **Food and public health**, v. 4, n. 5, p. 229-241, 2014.
- SANTONIERI, L.; BUSTAMANTE, P. G. Conservação ex situ e on farm de recursos genéticos: desafios para promover sinergias e complementaridades. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 11, p. 677-690, 2016.

SANTOS, S. B.; PEDRALLI, G.; MEYER, S. T. Phenological and ecological aspects of *Hedychium coronarium* (Zingiberaceae) at the Tripuí ecological station, Ouro Preto-MG. **Planta daninha**, v. 23, n. 2, p. 175–180, 2005.

SAUTOUR, M.; MITAINE-OFFER, A.; LACAILLE-DUBOIS, M. The Dioscorea genus: a review of bioactive steroid saponins. **Journal of natural medicines**, v. 61, n. 2, p. 91-101, 2007.

SCOTT, G. J. **Roots and tubers in the global food system: A vision statement to the year 2020**. Lita, 2000.

SEGANFREDO, R. et al. Influence of the maturity stage at harvest on shelf-life of tannia leaf. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 316–319, 2001.

SGARBIERI, V. C. Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações e modificações. In: **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações e modificações**. 1996. p. 517-517.

SHAO, Y. Y. et al. Rheological properties of rice amylose gels and their relationships to the structures of amylose and its subfractions. **Food Chemistry**, v. 103, n. 4, p. 1324–1329, 2007.

SHARMA, G. J.; CHIRANGINI, P.; KISHOR, R. Gingers of Manipur: Diversity and potentials as bioresources. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, n. 5, p. 753–767, 2011.

SHRESTHA, A. K.; HALLEY, P. J. Starch modification to develop novel starch-biopolymer blends: State of art and perspectives. **Starch polymers**, p. 105-143, 2014.

SIMPSON, D. A.; INGLIS, C. A. Cyperaceae of economic, ethnobotanical and horticultural importance: a checklist. **Kew Bulletin**, v. 56, n. 2, p. 257, 2001.

SINGH, S. J. et al. Diversity of underutilized vegetable crops species in North-East. **NeBIO**, v. 3, n. 2, p. 87–95, 2012.

SINGHAL, R. S.; GUPTA, A. K.; KULKARNI, P. R. Low-calorie fat substitutes. **Trends in Food Science & Technology**, v. 2, p. 241-244, 1991.

SIQUEIRA, M. V. B. M. Inhame (*Dioscorea* spp.): uma cultura ainda negligenciada. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, 2009.

SOROS, C. L.; BRUHL, J. J. Multiple evolutionary origins of C4 photosynthesis in the Cyperaceae. **Monocots: systematics and evolution**, v. 1, p. 629–636, 2000.

SRICHUWONG, S. et al. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 4, p. 529–538, 2005.

STARCH EUROPE. Disponível em: <https://starch.eu/>. Acesso em: 15 de agosto de 2019.

- STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O. **Food polysaccharides and their applications**. CRC press, 2016.
- TAO, Han et al. Effect of freezing rate on rheological, thermal and structural properties of frozen wheat starch. **Rsc Advances**, v. 6, n. 100, p. 97907-97911, 2016.
- TETCHI, F. A. et al. Molecular and physicochemical characterisation of starches from yam, cocoyam, cassava, sweet potato and ginger produced in the Ivory Coast. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 10, p. 1906–1916, 2007.
- THITIPRAPHUNKUL, K. et al. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I. Chemical composition and physicochemical properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 53, n. 3, p. 317-324, 2003a.
- THITIPRAPHUNKUL, K. et al. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part II. Molecular structure of amylose and amylopectin. **Carbohydrate Polymers**, v. 54, n. 4, p. 489-498, 2003b.
- TORRENCE, R.; BARTON, H. (Ed.). **Ancient starch research**. Routledge, 2016.
- TOVAR, Juscelino et al. Resistant starch formation does not parallel syneresis tendency in different starch gels. **Food Chemistry**, v. 76, n. 4, p. 455-459, 2002.
- TRÈCHE, S. Tropical root and tuber crops as human staple wood. **Congresso Latino Americano de Raizes Tropicais**, v. 1, p. 10, 1996.
- TRECHE, S. Tropical root and tuber crops as human staple wood. In: **Congresso Latino Americano de Raizes Tropicais**. 1996. p. 10.
- UGENT, D.; POZORSKI, S.; POZORSKI, T. New evidence for ancient cultivation of *Canna edulis* in Peru. **Economic Botany**, v. 38, n. 4, p. 417–432, 1984.
- UMA, E.; MUTHUKUMAR, T. Comparative root morphological anatomy of Zingiberaceae. **Systematics and Biodiversity**, v. 12, n. 2, p. 195–209, 2014.
- UTERMOEHL, B.; GONÇALVES, P. Conservação Na Roça (In Situ) Da Agrobiodiversidade Guarani. **Cadernos de Agroecologia**, v. 2, n. 1, 2007.
- VALADARES, R. T.; MARTINS, M. L. L.; COELHO, M. A. N. Levantamento das espécies de Araceae ocorrentes no Morro do Convento da Penha, município de Vila Velha – ES, Brasil. **Natureza on line**, v. 10, n. 1, 2012.
- VAMADEVAN, V.; BERTOFT, E. Structure-function relationships of starch components. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 1-2, p. 55-68, 2015.
- VAN HUNG, P.; MORITA, N. Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam. **Carbohydrate polymers**, v. 61, n. 3, p. 314-321, 2005.
- VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical

behaviour: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, n. 3, p. 245–266, 2004.

VERMA, M.; BANSAL, Y. K. Butterfly Lilly (*Hedychium Coronarium* Koenig) : An Endangered Medicinal Plant. **Plant Archives**, v. 10, n. 2, p. 841–843, 2010.

VERMA, M.; BANSAL, Y. K. Butterfly Lilly (*Hedychium Coronarium* Koenig) : An Endangered Medicinal Plant. **Plant Archives**, v. 10, n. 2, p. 841–843, 2010.

VILPOUX, O. F.; BRITO, V. H.; CEREDA, M. P. Starch extracted from corns, roots, rhizomes, and tubers for food application. In: **Starches for Food Application**. Academic Press, 2019. p. 103-165.

WANG, K. et al. The size dependence of the average number of branches in amylose. **Carbohydrate Polymers**, v. 223, p. 115134, 2019.

WANG, S. et al. Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 5, p. 568–585, 2015.

WATANABE, E.; BELL, A. E.; BROCKWAY, B. E. The effect of protein disulphide isomerase on dough rheology assessed by fundamental and empirical testing. **Food Chemistry**, v. 61, n. 4, p. 481–486, 1998.

WATCHARATEWINKUL, Y. et al. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. **Carbohydrate Polymers**, v. 75, n. 3, p. 505–511, 2009.

WATERSCHOOT, J. et al. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 1-2, p. 14-29, 2015.

WEBSTER, J.; TERNA, B.; BECK, W. Toxicity and Bitterness in Australian *Dioscorea bulbifera* L. and *Dioscorea hispida* Dennst. from Thailand. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 32, n. 5, p. 1087–1090, 1984.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. (Ed.). **Starch: chemistry and technology**. Academic Press, 2012.

WHITE, P. J.; ABBAS, I. R.; JOHNSON, L. A. Freeze-Thaw Stability and Refrigerated-Storage Retrogradation of Starches. **Starch - Stärke**, v. 41, n. 5, p. 176–180, 1989.

WIDGREN, M. Mapping Pre-colonial African Agricultural Systems. In: **communication, 3rd European Conference on African Studies, Leipzig**. 2009.

WILKINSON, J. et al. Brazil, the Southern Cone, and China: **The agribusiness connection. Third World Thematics**, v. 2014, n. May, p. 1–31, 2015.

WURZBURG, O. **Modified starches-properties and uses**. Boca Raton: CRC Press, 1986.

YE, J. et al. Freeze-thaw stability of rice starch modified by improved extrusion cooking technology. **Carbohydrate polymers**, v. 151, p. 113-118, 2016.

- YEN, D. E. The origins of Oceanic agriculture. **Archaeology and Physical Anthropology in Oceania**, v. 8, n. 1, p. 68–85, 1973.
- YUAN, R. C.; THOMPSON, D. B. Freeze-thaw stability of three waxy maize starch pastes measured by centrifugation and calorimetry. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 4, p. 571-573, 1998.
- YUN, Young Sook et al. Phenylpropanoid derivatives from edible canna, *Canna edulis*. **Phytochemistry**, v. 65, n. 14, p. 2167-2171, 2004.
- ZÁRATE, N. A. H. et al. Produção De Clones De Cará (*Dioscorea Sp.*) Em Dourados (MS). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 28, n. 2, p. 13–17, 1998.
- ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. Visao geral das plantas exóticas invasoras no Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, p. 431-446, 2011.
- ZEVEN, A. C.; ZHUKOVSKY, P. M. **Dictionary of Cultivated Plants and Their Centres of Diversity**. Wageningen, Netherlands: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, p. 219, 1975.
- ZHANG, J.; WANG, Z.-W.; YANG, J.-A. Physicochemical Properties of *Canna edulis* Ker Starch on Heat-Moisture Treatment. **International Journal of Food Properties**, v. 13, n. 6, p. 1266–1279, 2010.
- ZHU, F.; XIE, Q. Structure and Physicochemical properties of starch. **Physical modifications of starch**, p. 1-14, 2018.
- ZIA-UD-DIN; XIONG, H.; FEI, P. Physical and chemical modification of starches: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2691-2705, 2017.
- ZOHARI, D. The origin and early spread of agriculture in the Old World. In: **Developments in Agricultural and Managed Forest Ecology**. Elsevier, 1986. p. 3-20.
- ZSOM, T. et al. Quality Changes of Pear during Shelf-Life. **Progress in Agricultural Engineering Sciences**, v. 12, p. 81–106, 2016.

CAPÍTULO 2

EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AMIDOS NATIVOS DE PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (Panc's)

RESUMO

Este capítulo apresenta a extração dos amidos de plantas alimentícias não convencionais (Panc's) (*Canna. edulis*, *Cyperus esculentus*, *Dioscorea bulbifera*, *Hedychium coronarium* e *Xanthosoma sagittifolium*) via delineamento experimental, com cálculo do rendimento das extrações, bem como a caracterização físico-química dos amidos (umidade, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos e amido total), cor, pH, teor de fósforo e teor de minerais; e ainda a avaliação da citotoxicidade aguda desses amidos. Como resultado do rendimento de extração, foram obtidos o maior e menor valor para a amostra *Cyperus esculentus* e *Hedychium coronarium*, respectivamente. Quanto ao teor de amilose, o amido de *Canna edulis* apresentou a maior quantidade, enquanto o menor teor foi verificado para a amostra de amido de mandioca (controle). De modo geral as amostras apresentaram conteúdo sólido não amiláceo abaixo de 1%, o que demonstra satisfatório grau de pureza dos amidos. Na caracterização da cor dos amidos as amostras *Xanthosoma sagittifolium* e controle apresentaram maior brilho, enquanto a maior intensidade dos componentes de cor vermelha (*a positivo) e de cor amarela (*b positivo) foram verificados para a amostra *Dioscorea bulbifera*. Dentre os minerais investigados, o potássio (K) foi o que apresentou os maiores teores nas amostras investigadas. O fósforo (P) é o mineral mais importante nos amidos de raízes e tubérculos e para este parâmetro foram verificados os maiores teores para as amostras *Dioscorea bulbifera* e *Hedychium coronarium*, enquanto os menores teores foram verificados para as amostras *Xanthosoma sagittifolium* e controle. A amostra *Xanthosoma sagittifolium* apresentou ainda o maior teor de cálcio (Ca) (2115,0 $\mu\text{g g}^{-1}$) dentre as amostras investigadas, resultado 73 vezes superior a amostra controle. Possivelmente isto esteja relacionado a presença de cristais de oxalato de cálcio, que costumam ser encontrados em grandes quantidades nesta matriz amilácea. Todos os amidos apresentaram-se seguros para o consumo humano e mostraram-se potenciais alternativas para diversas aplicações industriais.

Palavras-Chave – rendimento da extração, citotoxicidade, propriedades físico-químicas.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente as indústrias produtoras de amido costumam utilizar reagentes químicos no processo de extração, os quais podem ser nocivos ao meio ambiente, aos trabalhadores envolvidos, bem como podem na forma de resíduos resultar em impactos negativos à saúde dos consumidores (GREER, 2018; LEWICKA, SIEMION, KURCOK, 2015; LUALLEN, 2018).

Existe uma tendência das empresas produtoras de amidos a enquadrarem-se no conceito de *Green Chemistry*, onde tem-se buscado reduzir o uso de solventes químicos e por consequência reduzir os impactos relacionados. Métodos de extração de amidos, os quais utilizem apenas água requerem estudos, embora já venham sendo utilizados de forma arbitrária (LUALLEN, 2018).

A falta de informações que respondam a influência das variáveis envolvidas no processo de extração para cada tipo de fonte amilácea tuberosa frente ao parâmetro rendimento, justifica a necessidade de estudos que contemplem a resolução dessa problemática (BEMILLER; WHISTLER, 2009).

As matrizes amiláceas costumam apresentar características físico-químicas distintas, as quais podem resultar em diferenças de rendimento de amido a depender das condições empregadas no processo de extração. Aspectos extrínsecos às espécies, como fatores ambientais, podem representar em diferenças no conteúdo amiláceo de cada cultivar. Em regiões de clima temperado, por exemplo, como países do hemisfério norte, costuma ocorrer uma redução significativa nos teores de amido das cultivares tuberosas comerciais, quando comparado às mesmas espécies produzidas em países tropicais (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015; SANTANA; MEIRELES, 2014). Assim, a personalização e padronização do processo de extração para cada tipo de tubérculos, raízes tuberosas, rizomas, bulbos e/ou cormos tropicais inexplorados surge como uma possibilidade de agregar valor e possibilitar a inserção no mercado, para fins industriais, amidos nativos, que podem substituir amidos quimicamente modificados ou abrir novos mercados para amidos (FAN et al., 2016; LEONEL; CEREDA, 2002; LEONEL; OLIVEIRA; FILHO, 2005).

Plantas alimentícias não convencionais são plantas que apresentam baixa ou nenhuma exploração comercial, constituídas de partes comestíveis que podem enriquecer a dieta e ampliar a oferta de alimentos (KINUPP; LORENZI, 2014).

Considerando a biodiversidade brasileira e ausência de estudos que abordem a otimização do processo de extração de amidos extraídos de plantas alimentícias não convencionais (PANC's) tuberosas, a proposta de trabalho busca variedades vegetais que

apresentem potencial produtivo em larga escala (rendimento mínimo de extração de 15% de amido), e que possuam atributos funcionais de interesse para a indústria de alimentos, com características funcionais tecnológicas similares ao amido modificado comercialmente.

Além disso, o presente trabalho visa contribuir com o avanço da ciência e tecnologia, de modo a auxiliar no conhecimento da influencia das variáveis envolvidas no processo de extração de amido, frente a parâmetro rendimento, em processo ambientalmente amigável, utilizando apenas água na extração e utilizando cultivares que até então não se tem conhecimento sobre este tema.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAS

Neste estudo foram utilizados os rizomas de *Canna edulis* (Ca.E) e *Hedycum coronarium* (H.C), os tubérculos de *Cyperus esculentus* (C.E) e *Xanthosoma sagittifolium* (X.S) e o bulbo de *Dioscorea bulbifera* (D.B). As amostras foram coletadas em triplicata, nos anos 2017/18, como pode ser visualizado na Tabela 1 as amostras Ca.E e X.S foram coletadas na estação experimental agroflorestral do Centro de Ciências Agrárias (C.C.A) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A amostra C.E foi coletada na fazenda experimental da rressacada da mesma universidade, na cidade de Florianópolis, estado de Santa Catarina – Brasil. Enquanto as amostras D.B e H.C foram coletadas no sítio Flor de Ouro localizado no bairro Ratoes da mesma cidade. Como amostra controle (amido nativo) foi utilizado amido de mandioca comercial adquirido em comércio local da região de Florianópolis-SC.

A Tabela 1 apresenta o local de coleta das amostras de plantas alimentícias não convencionais (Panc's) utilizadas no trabalho.

Tabela 1 - Local de coleta das amostras de plantas alimentícias não convencionais (Panc's) e amostra controle (amido de mandioca), utilizadas no trabalho.

| Amostra | Local de coleta |
|--|--|
| Amido de mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) | Supermercado local (Florianópolis-SC) |
| <i>Canna edulis</i> (Ca.E) | Estação experimental agroflorestal do C.C.A (UFSC) |
| <i>Cyperus esculentus</i> (C.E) | Fazenda experimental da ressacada (UFSC) |
| <i>Dioscorea bulbifera</i> (D.B) | Sítio Flor de Ouro (Bairro Ratoões – Florianópolis-SC) |
| <i>Hedychium coronarium</i> (H.C) | Sítio Flor de Ouro (Bairro Ratoões – Florianópolis-SC) |
| <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (X.S) | Estação experimental agroflorestal do C.C. A (UFSC) |

Fonte: próprio autor

2.2 EXTRAÇÃO E RENDIMENTO DOS AMIDOS

Os amidos empregados no presente estudo foram extraídos segundo método descrito por Franco et al. (2006), com modificações. As massas dos tubérculos utilizados para extração variaram de acordo com a disponibilidade de cada cultivar nos pontos de coleta. Foram utilizados 646,19 g de rizomas de *C. edulis* (Ca.E); 504,10 g de tubérculos de *C. esculentus* (C.E); 1984,16 g de bulbilhos aéreos de *D. bulbifera* (D.B); 2016,53 g de tubérculos de *H. coronarium* (H.C); e 2052,20 g de tubérculos de *X. sagittifolium* (X.S). As tuberosidades amiláceas foram individualmente lavadas, descascadas, cortadas em cubos e imersas em solução de metabissulfito de sódio (2%) por 24 horas, visando evitar o escurecimento enzimático e a degradação microbiológica. Na sequência, as amostras foram trituradas em liquidificador industrial Urano, (UCB 950F, Rio Grande do Sul, Brasil), com água destilada na proporção de 1:2 (m/v), durante 40 segundos e a massa resultante foi filtrada em peneira granulométrica de 200 e 325 mesh.

Os resíduos retidos na peneira foram lavados com água destilada sucessivas vezes até que o líquido de saída se apresentasse translúcido. A fração decantada foi submetida à secagem em estufa, (SL-100, Piracicaba, Brasil) a 45 °C até atingir umidade entre 12 a 13 % (CHIANG et al., 1987). Os amidos resultantes foram pesados, etiquetados e armazenados a -18 ± 2 °C até o momento da realização das análises. As etapas de extração estão ilustradas na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma de extração dos amidos



Fonte: próprio autor

O rendimento da extração foi determinado com a pesagem do amido obtido após a secagem (b.s) e os resultados expressos em porcentagem, considerando 100 gramas de amostra utilizados para extração (b.s). O rendimento do processo de extração foi calculado através da Equação 01.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{massa de amido final (g)}}{\text{massa de tubérculo (g)}} \times 100 \quad (01)$$

2.2.1 Extração dos amidos via planejamento experimental

Visando determinar o nível de influência das variáveis que envolvem o processo de extração quanto à resposta rendimento, foi realizado um planejamento fatorial 2^4 para triagem de variáveis. As variáveis avaliadas foram: Mesh da peneira (200 e 325 Mesh); Concentração de metabissulfito de sódio; (0,2 e 0,6%), relação sólido/líquido (1:2 e 1:4 (m/v)) e tempo de trituração (5 e 15 minutos). Estas variáveis foram selecionadas como possíveis interferentes no rendimento da extração, pureza e claridade de pasta dos amidos obtidos.

Desse modo, a Tabela 2 apresenta o domínio experimental para a triagem das variáveis de maior influência no processo de extração dos amidos utilizados no presente estudo.

Tabela 2 - Domínio experimental para triagem de variáveis de maior influência sobre o rendimento do processo de extração dos amidos de *Canna edulis* (Ca.E), *Cyperus esculentus* (C.E), *Dioscorea bulbifera* (D.B), *Hedychium coronarium* (H.C) e *Xanthosoma sagittifolium* (X.S).

| Variáveis Independentes | Variáveis independentes codificadas | Níveis do planejamento | |
|--|-------------------------------------|------------------------|-----|
| | | (-) | (+) |
| Mesh de peneira (mm) | X1 | 200 | 300 |
| Concentração de metabissulfito de sódio (g L ⁻¹) | X2 | 0,2 | 0,6 |
| Relação sólido/líquido (m/v) | X3 | 1:2 | 1:4 |
| Tempo de trituração (min) | X4 | 5 | 15 |

Fonte: próprio autor

Uma vez que o domínio do planejamento experimental para a triagem de variáveis foi determinado, faz-se necessário a construção do design fatorial de modo a estabelecer os experimentos a serem executados. A Tabela 3 ilustra o design experimental para o planejamento fatorial 2⁴, referente a triagem de variáveis.

Tabela 3 – Design experimental codificado do planejamento fatorial 2⁴ para triagem de variáveis.

| Experimentos | Variáveis independentes | | | | Variável Resposta* | |
|--------------|-------------------------|----|----|----|--------------------|----------------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | Y _i | Y _j |
| 1 | - | - | - | - | Y _i | Y _j |
| 2 | + | - | - | - | Y _i | Y _j |
| 3 | - | + | - | - | Y _i | Y _j |
| 4 | + | + | - | - | Y _i | Y _j |
| 5 | - | - | + | - | Y _i | Y _j |
| 6 | + | - | + | - | Y _i | Y _j |
| 7 | - | + | + | - | Y _i | Y _j |
| 8 | + | + | + | - | Y _i | Y _j |
| 9 | - | - | - | + | Y _i | Y _j |
| 10 | + | - | - | + | Y _i | Y _j |
| 11 | - | + | - | + | Y _i | Y _j |
| 12 | + | + | - | + | Y _i | Y _j |
| 13 | - | - | + | + | Y _i | Y _j |
| 14 | + | - | + | + | Y _i | Y _j |
| 15 | - | + | + | + | Y _i | Y _j |
| 16 | + | + | + | + | Y _i | Y _j |

*Os termos de resposta Y_i e Y_j são referentes a duplicata de experimentos

Fonte: próprio autor

Após a execução completa, em duplicata, dos experimentos de triagem, foi realizado o procedimento de resolução do planejamento experimental, considerando equações lineares e quadráticas, bem como os efeitos de interação de segunda ordem. Neste sentido, é muito

importante a obtenção da variável resposta com réplica no intuito de estimar a qualidade do modelo matemático por meio de teste de falta de ajuste.

Uma vez calculado o planejamento fatorial proposto e, considerando a não falta de ajuste do modelo, foi observado qual das 3 variáveis (mesh da peneira, concentração de metabissulfito de sódio e tempo de trituração) apresentam significância sobre as variáveis respostas (rendimento de extração de amido e pureza do extrato).

Com objetivo de otimizar as melhores condições para as três variáveis, foi proposto a utilização de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). As Tabelas 4 e 5 ilustram o domínio experimental e o DCCR 2³ proposto, com os valores codificados e reais para o planejamento fatorial, os pontos axiais e os pontos centrais em triplicata.

Tabela 4 - Domínio experimental para a otimização das variáveis Mesh de peneira, Relação sólido/líquido e Tempo de trituração.

| Variáveis Independentes | Variáveis independentes codificadas | Níveis do planejamento | | |
|---|-------------------------------------|------------------------|-----|-----|
| | | (-) | 0 | (+) |
| Mesh de peneira (mm) | X1 | 200 | 250 | 300 |
| Concentração metabissulfito de sódio (g L ⁻¹) | X2 | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
| Tempo de trituração, min | X3 | 10 | 20 | 30 |

Fonte: próprio autor

Tabela 5 - Design experimental codificado do DCCR 2³ para otimização das variáveis para extração de amido das Panc's.

| Experimentos | Variáveis independentes codificadas | | | Variáveis independentes decodificadas | | | Variável Resposta Rendimento(%) | | Variável Resposta Pureza | |
|--------------|-------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------|------|-----|---------------------------------|----------------|--------------------------|----------------|
| | X1 | X2 | X3 | X1 | X2 | X3 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 200 | 0,2 | 10 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 2 | 1 | -1 | -1 | 300 | 0,2 | 10 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 200 | 0,6 | 10 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 300 | 0,6 | 10 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 200 | 0,2 | 30 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 6 | 1 | -1 | 1 | 300 | 0,2 | 30 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 7 | -1 | 1 | 1 | 200 | 0,6 | 30 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 300 | 0,6 | 30 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 9 | -1,68 | 0 | 0 | 165 | 0,4 | 20 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 10 | 1,68 | 0 | 0 | 335 | 0,4 | 20 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 11 | 0 | -1,68 | 0 | 250 | 0,06 | 20 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 12 | 0 | 1,68 | 0 | 250 | 0,7 | 20 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 13 | 0 | 0 | -1,68 | 250 | 0,4 | 3,2 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 14 | 0 | 0 | 1,68 | 250 | 0,4 | 37 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 250 | 0,4 | 20 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 250 | 0,4 | 20 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 250 | 0,4 | 20 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 250 | 0,4 | 20 | Y _i | Y _j | Y _m | Y _n |

*Os termos de resposta Y_i, Y_j, Y_m, e Y_n são referentes a duplicata de experimentos. Fonte: próprio autor

Destaca-se que, durante a resolução do DCCR, otimização das variáveis leva em conta duas variáveis resposta: rendimento da extração de amido e pureza do extrato. Porém, nem

todas as variáveis que apresentaram maior resposta foram consideradas as melhores, como é o caso da variável ‘mesh de peneira’. Neste caso, deve-se considerar previamente que um mesh de menor valor apresenta maior porosidade, o que permite a passagem de componentes maiores, o que pode influenciar positivamente na resposta de ‘rendimento’, porém negativamente na resposta ‘pureza’.

Com intuito de estimar qual a melhor granulometria em função de duas respostas (rendimento e pureza), foi proposto a construção de um gráfico de correlação de Pearson para indicar qual a correlação entre os valores observados para as respostas de ‘rendimento’ e ‘pureza’. Neste caso, a melhor correlação entre as respostas pode contribuir para estabelecer o valor ótimo da variável independente ‘mesh de peneira’.

2.3 COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata no laboratório de Ciência e Tecnologia de Cerais LABCAL-CCA-UFSC. Os amidos extraídos, bem como a amostra controle foram caracterizados quanto ao teor de umidade, cinzas, proteína, lipídeos, amido total, amilose, pH, cor, teor de fósforo e teor de minerais. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.3.1 Umidade

Para a determinação do teor de umidade as amostras foram colocadas em estufa a 105 °C por 8 horas até a obtenção de massa constante. Após esse período foram retiradas da estufa, colocadas em dessecador e posteriormente pesadas, segundo o método AOAC (2005). Os resultados foram expressos em percentagem.

2.3.2 Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas as amostras foram submetidas a combustão em forno mufla por 2 horas a 550 °C. Após esse período as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas posteriormente (AOAC, 2005). Os resultados foram expressos em base seca (g/100g).

2.3.3 Proteína

Para determinar o teor de nitrogênio foi utilizado o método de Kjeldahl, conforme AOAC (2005). O fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína bruta foi de 6,25. Os resultados foram expressos em base seca (g/100g).

2.3.4 Lipídeos

Para determinação do teor de lipídeos foram utilizados aproximadamente 3 g de cada amostra e um extrator Soxhlet, utilizando éter de petróleo para a extração, conforme metodologia descrita por AOAC (2005). Os resultados foram expressos em base seca (g/100g).

2.3.5 Carboidratos

Estimado por diferença, subtraindo, de 100%, o somatório de proteínas, de lipídeos, de cinzas, de umidade e de fibra alimentar total, sendo os resultados expressos em percentual, segundo normas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

2.3.6 Amido total

Determinado por método enzimático, utilizando as enzimas alfa-amilase e amiloglicosidase, contidas no kit da empresa Megazyme International Ltda (Wicklow, Irlanda). A leitura foi feita em espectrofotômetro em 510 nm, de acordo com o método 996.11 (AOAC, 2005).

2.3.7 Amilose

Determinado utilizando kit enzimático de amilose/amilopectina (K-AMYL) fornecido pela Megazyme International Ireland. As amostras de amido foram dispersadas em dimetil sulfóxido (DMSO). A amilose foi hidrolisada enzimaticamente por D-glicose e determinada colorimetricamente utilizando as enzimas glicose oxidase/peroxidase. A leitura foi feita em espectrofotômetro em 510 nm, (AOAC, 2005).

2.3.8 Cor

Os parâmetros de cor das amostras foram determinados utilizando sistema de visão computacional (CVS), seguindo a metodologia descrita por Cárdenas-Pérez et al. (2017) com adaptações. As fotografias foram tomadas sobre plano fundo escuro em triplicata com auxílio de uma câmera fotográfica digital (Nikon D5500, Nikon Corporation, Japão), com condições de distância e luminosidade fixas. As imagens foram salvas no formato RGB e posteriormente

tratadas com o software ImageJ v. 1.6.0 (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA), onde o plug-in do conversor de espaço de cores será utilizado para converter as cores do sistema RGB para a escala CIELab.

2.3.9 pH

Amostras de 10 g de amido foram suspensas em 100 mL de água destilada e agitadas (agitador magnético) por 05 min para que as partículas fiquem uniformemente suspensas (INSTITUTO ADOLF LUTZ, 2008) e o pH foi determinado em potenciômetro calibrado (Tecnal, modelo TEC-5, Piracicaba, Brasil).

2.3.10 Teor de fósforo (P)

Para análise de fósforo foi retirado 1 mL da solução composta por 4 mL de água destilada, 2 mL da mistura Molibdato de Amônio + Metavanadato de Amônio e deixado em repouso por 5 minutos. A absorvância foi medida em espectrofotômetro UV-VIS (FEMTO) a 420 nm. O conteúdo restante do extrato foi utilizado na determinação do teor dos demais minerais investigados. Os resultados de fósforo foram expressos em percentagem de acordo com Ranganna (1991).

2.3.11 Teor de minerais – Na, K, Ca, Zn, Mg e Fe

Os minerais foram determinados em espectrômetro de absorção atômica modelo 2380 (PERKIN ELMER) na central de análises do departamento de Química da UFSC, de acordo com metodologia descrita por Malavolta et al. (1974).

Foram pesadas 250 mg de cada amostra em tubos de digestão e adicionado 3 mL da solução nitro perclórica. Na sequência os tubos foram levados ao bloco digestor onde permaneceram até atingir a temperatura de 220 °C. O ponto ideal para as amostras estarem prontas foi evidenciado através de observação subjetiva da cor límpida do material. O extrato foi transferido para balão volumétrico de 50 mL e o volume ajustado com água deionizada. Para a realização das análises foi utilizado 1 mL do extrato, diluído em 9 mL de óxido de lantânio a 0,5%, a leitura foi feita diretamente na solução e os resultados expressos em mg kg⁻¹.

2.4 TESTE DE CITOTOXICIDADE AGUDA (VERMELHO NEUTRO)

A linhagem celular 3T3 nas concentrações de 2,5x10⁵ células/ mL foram semeadas em volumes de 0,2 mL nas microplacas de 96 poços de fundo chato. Estas foram então

incubadas por 24 horas, a 37 °C em atmosfera úmida com 5% de CO₂ para a formação de monocamada celular. Após este período, o meio de cultura foi desprezado e foi adicionado a cada poço 0,2 mL de meio contendo diluições das amostras a serem testadas e dos respectivos controles. Todas as diluições das amostras e dos controles foram testadas em triplicata. As placas foram novamente incubadas em estufa com 5% CO₂ a 37 °C por 24 horas.

Após o período de incubação o meio contendo as amostras foi desprezado e 0,2 mL de meio de Eagle sem soro, contendo 50 µg de vermelho neutro/ mL (2-amino-3-metil-7dimetil-amino-cloreto de fenanzina) foi adicionado a cada poço. Realizou-se a incubação das microplacas por três horas a 37 °C para permitir a captação do vermelho neutro pelas células vivas. Este meio foi preparado 24 horas antes e mantido em estufa a 37 °C durante a noite, sendo centrifugado a 1500 r.p.m. durante 15 minutos para eliminar os cristais formados. Após o tempo de captura, o meio foi removido e as células lavadas duas vezes com 0,2 mL de PBS pré aquecido a 37 °C e uma vez com 0,2 mL de solução aquosa 40% de formaldeído e 1% de CaCl₂, para remover o corante que não incorporou. A solução foi a seguir descartada e 0,2 mL de solução aquosa de 1% de ácido acético e 50% de etanol foi adicionada para extrair o corante. Após 10 minutos de agitação, foi realizado a leitura de densidade óptica das placas em leitor de microplacas da marca Organon Teknika Reader 530 com filtro de 540 nm.

Como controle positivo foi utilizado extrato de fragmentos de látex e como controle negativo extrato de papel de filtro atóxico. Os extratos foram preparados em meio de Eagle com 5% SFB na proporção de 0,1 g de latex/ mL e 4 cm² de papel de filtro/ mL incubados a 37 °C por 24 horas. Após este período, o extrato do controle positivo foi diluído na proporção de 2:1 e considerado como solução mãe, o extrato do controle negativo foi utilizado diretamente. Os controles foram avaliados nas concentrações de 30; 10; 3,0; 1,0; 0,3; 0,1; 0,03 mg/mL. O controle das células foi realizado adicionando-se apenas meio de Eagle com 5% de SFB. A porcentagem de viabilidade celular foi obtida com a divisão da média da densidade óptica de cada diluição pela média da densidade óptica do controle de células multiplicado por 100. O índice de citotoxicidade IC₅₀ foram calculados expressando os resultados em mg/Kg (BORENFREUND; PUERNER, 1984; DOYLE; GRIFFITHS; NEWELL, 1998).

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os experimentos foram realizados em triplicata com repetições independentes. Os dados são apresentados como média ± desvio padrão de três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi realizado para identificar

diferenças significativas entre os amidos obtidos. Médias com valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativas. Os dados foram analisados usando o software STATISTICA 13.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RENDIMENTOS DE EXTRAÇÃO

Os rendimentos de extração em bancada de laboratório do amido das plantas alimentícias não convencionais amiláceas estudadas variaram entre 10,0 e 23,0% (amostras H.C e C.E, respectivamente) em relação ao peso original das amostras (Tabela 6).

Tabela 6 - Rendimento de extração de amido extraído de diferentes cultivares de plantas alimentícias não convencionais (Panc's).

| Amostras | Rendimento (%) |
|---------------------------------------|---------------------------|
| <i>Canna edulis</i> (Ca.E) | 11,03 ± 0,23 ^c |
| <i>Cyperus esculentus</i> (C.E) | 22,95 ± 0,16 ^a |
| <i>Dioscorea bulbifera</i> (D.B) | 17,08 ± 0,18 ^b |
| <i>Hedychium coronarium</i> (H.C) | 10,09 ± 0,15 ^c |
| <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (X.S) | 21,33 ± 0,03 ^a |

Fonte: próprio autor

A diferença observada para cada amostra quanto ao teor de amido obtido na extração, possivelmente está relacionada a fatores específicos e inerentes a cada matriz amilácea, como teor de umidade, tamanho dos grânulos de amido, maturidade fisiológica dos cultivares, manejo agrônomico empregado, fatores climáticos, ambientais e método de extração empregado.

A amostra H.C apresentou o menor rendimento de extração, com teores de amido considerados inadequados (< 15 g/100g) para a exploração comercial. Contudo, a espécie apresenta ampla disseminação em regiões litorâneas e alagadiças, com fácil propagação, elevada rusticidade, sem que haja a necessidade de manejo. Tais características corroboram em considerar essa cultivar uma promissora fonte amilácea, com a possibilidade de exploração extrativista, com vistas à valorização econômica, uma vez que tal espécie é subutilizada, considerada invasora, e costuma apresentar grandes populações que competem por espaço, geram impacto negativo à biodiversidade de áreas invadidas, bem como danos econômicos em áreas de agricultura tradicional (DE CASTRO et al., 2016; SAULINO; TRIVINHO-STRIXINO, 2017).

Bento et al. (2018) encontraram $22,0 \pm 0,3\%$ de amido em relação ao peso original dos rizomas de *H. coronarium*, (os autores não relatam a época de colheita dos rizomas) valor este superior ao encontrado no presente trabalho. Por outro lado, os mesmos autores obtiveram rendimento de 6,9 % na extração de amido de rizomas quando coletados em janeiro. Os rizomas de H.C utilizados para a extração de amido foram coletados em fevereiro de 2019, período em que predomina elevada precipitação pluviométrica, condizente com o baixo rendimento observado por Bento et al. (2018). Estes resultados indicam a possível influência da época de colheita no rendimento da extração de amido de H.C. Sugere-se, assim, que a melhor época para a colheita seria durante a estação seca (entre os meses de junho e agosto), quando ocorre maior deposição do polissacarídeo de reserva nos rizomas.

O maior percentual encontrado (22,95%), referente ao teor de amido presente nos tubérculos de *C. esculentus* (amostra C.E), apresenta-se satisfatório do ponto de vista quantitativo, quando comparado a percentuais obtidos para outros tubérculos. De acordo com Guilbot, Mercier e Aspinall (1985) as matrizes tuberosas empregadas na extração comercial de amido, como a mandioca e batata doce, costumam apresentar entre a 15% a 35% de amido.

Ao se comparar os rendimentos de extração do amido de *C. esculentus* com os valores verificados no processamento de mandioca, percebe-se similaridade. No caso da mandioca, que apresentam processos industriais bem estabelecidos, os rendimentos obtidos chegam a 25% (SARMENTO; LEONEL; CEREDA, 1999).

Hurtado et al. (1997) mencionaram rendimentos teóricos entre 20 e 30 g/100 g. No entanto, quando realizada a extração em laboratório, os autores encontraram rendimentos que variaram entre 6 e 13%, valores inferiores aos encontrados neste estudo.

O potencial produtivo da *C. esculentus* varia entre 5-12 t/ha, valores estes elevados quando comparados aos apresentados por culturas comerciais, como a soja, que no Brasil rende em média 3,3 t/ha. Esta comparação demonstra que a *C. esculentus* pode ser até quatro vezes mais produtiva que o cultivar comparado (CONAB, 2018).

Grande parte dos trabalhos científicos que abordam o manejo da *C. esculentus*, destacam alternativas para o controle e combate da espécie. A utilização como fonte alternativa de amido não é incipiente, havendo uma carência de trabalhos que explorem condições específicas de extração, visando aperfeiçoar os processos.

A amostra C.E apresentou o menor tamanho de material extraível, no caso tubérculos. Para retirada da casca foi utilizado descascador manual, o qual pode ter limitado a padronização do processo. O rendimento da extração do amido em escala industrial possivelmente pode ser

ainda maior, tendo em vista que o uso de descascador com ação por fricção pode reduzir as perdas e resultar em rendimento ainda maior.

Os valores de rendimento de extração encontrados para a amostra D.B estão de acordo com o verificado por Jiang et al. (2012) que relatam ter encontrado teores de amido entre 9,88–23,94% ao avaliar diferentes espécies de *Dioscorea* L. Jadhav et al. (2006) ao extrair amido das cultivares *Dioscorea alata* e *Dioscorea bulbifera*, encontraram rendimento de 22,30 e 25,50% respectivamente para cada amostra, quando comparado ao peso original das amostras, valores estes superiores aos encontrados no presente trabalho.

Das amostras utilizadas no presente trabalho, a amostra D.B foi a que se apresentou mais trabalhosa. A presença de um muco-polissacarídico que forma gel durante a extração, dificultou a filtração e decantação. Devido a presença dessa mucilagem, foi necessário o uso de maior volume de água na lavagem, que retardou a decantação. Também pode ter ocorrido a sedimentação de parte da mucilagem junto com o amido, interferindo na pureza. Essa sedimentação de impurezas pode acontecer também em amidos com grânulos grandes, como a fécula de biri.

A amostra Ca.E, originária dos Andes, região de elevada altitude, apresenta escassez de trabalhos que abordem a investigação do rendimento de extração de amido, bem como parâmetros físico químicos, produção, manejo e adaptação da cultivar em território brasileiro (LEONEL, 2007). No Brasil, a *C. edulis* tem sido cultivada apenas como planta ornamental. Entretanto, o Centro de Pesquisa de Amidos Tropicais CERAT/UNESP (São Paulo) vem desenvolvendo estudos, com diferentes variedades as quais foram adaptadas ao solo e clima local. Os resultados encontrados, revelaram baixo rendimento na extração de amido, cerca de 12 g de amido por 100 g de rizomas frescos, valor este na mesma ordem de grandeza do verificado no presente trabalho (ANDRADE-MAHECHA; TAPIA-BLÁCIDO; MENEGALLI, 2012). Até o momento não foram encontrados estudos que abordem a quantificação do teor de amido em tubérculos de *C. edulis* produzidos em regiões de altitude à nível do mar.

O teor de amido verificado como produto da extração dos tubérculos de *C. edulis* (Ca.E), pode ser considerado similar ao obtido a partir da mesma cultivar produzida em região andina. De acordo com Piyachomkwan et al. (2002) o cultivo e a extração de amido realizada em território andino é predominantemente artesanal e o rendimento da extração não ultrapassa os 13%.

As raízes de *C. edulis* apresentam grande quantidade de fibras grandes, o que dificulta a separação do bagaço do amido, na passagem pela peneira. Portanto, existe a necessidade de

otimização das técnicas empregadas na extração, visando a padronização de identidade e qualidade do amido obtido.

A amostra X.S apresentou facilidade no processo de extração e o segundo maior rendimento (21,08%) dentre as amostras analisadas, confirmando teor adequado de amido para exploração comercial. Garcia e Leonel (2005) obtiveram rendimento prático de 24,69% de amido na extração de tubérculos de *X. sagittifolium*, teor este superior ao encontrado.

Sendo assim, observa-se que os resultados obtidos relativos aos teores de amido extraído no presente estudo, podem ter apresentado limitações quanto ao potencial máximo de rendimento pelo fato de terem sido realizados em processo de bancada, em escala experimental. Bemiller e Whistler (2009) relatam que a tecnologia empregada para a extração de amido, tem grande influência no rendimento final.

3.2 EXTRAÇÃO DOS AMIDOS VIA DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As variáveis dependentes relacionadas ao planejamento fatorial 2^4 devem ser analisadas de modo individual, uma a uma (Tabela 7). Deste modo, as equações podem ser ajustadas individualmente para cada coluna de resposta, ou seja, para cada amostra de PANC's.

Abaixo segue a resolução estatística do trabalho.

Tabela 7 - Variáveis resposta do rendimento de extração via delineamento experimental para extração de amido de *Canna edulis* (Ca.E), *Cyperus esculentus* (C.E), *Dioscorea bulbifera* (D.B), *Hedychium coronarium* (H.C) e *Xanthosoma sagittifolium* (X.S).

| Nº | Variáveis Independentes codificadas | | | | Variável resposta (Rendimento %) | | | | |
|----|-------------------------------------|---|-----|-------------|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| | Mesh | [] Na ₂ S ₂ O ₅ | m/V | Tempo (min) | Ca.E | C.E | D.B | H.C | X.S |
| 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 5,118 | 3,267 | 10,361 | 12,108 | 31,559 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1,335 | 2,393 | 6,701 | 5,665 | 21,166 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | -1 | 2,927 | 2,888 | 13,798 | 10,192 | 30,522 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1,933 | 3,014 | 9,070 | 10,817 | 31,514 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | -1 | 5,017 | 3,546 | 16,681 | 8,182 | 23,036 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 2,075 | 3,589 | 9,773 | 12,854 | 21,086 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | 3,774 | 4,036 | 9,788 | 7,871 | 22,882 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | -1 | 3,515 | 4,205 | 12,194 | 10,095 | 20,419 |
| 9 | -1 | -1 | -1 | 1 | 2,243 | 3,277 | 11,605 | 6,739 | 26,780 |
| 10 | 1 | -1 | -1 | 1 | 0,922 | 3,079 | 15,218 | 12,642 | 25,371 |
| 11 | -1 | 1 | -1 | 1 | 2,670 | 3,133 | 10,419 | 11,904 | 31,519 |
| 12 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1,879 | 3,821 | 7,218 | 8,849 | 34,920 |
| 13 | -1 | -1 | 1 | 1 | 0,951 | 4,278 | 9,266 | 11,269 | 21,818 |
| 14 | 1 | -1 | 1 | 1 | 0,861 | 4,067 | 9,782 | 9,625 | 20,143 |
| 15 | -1 | 1 | 1 | 1 | 4,071 | 3,453 | 13,408 | 10,649 | 20,309 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,506 | 4,999 | 21,522 | 10,641 | 23,006 |

Fonte: próprio autor

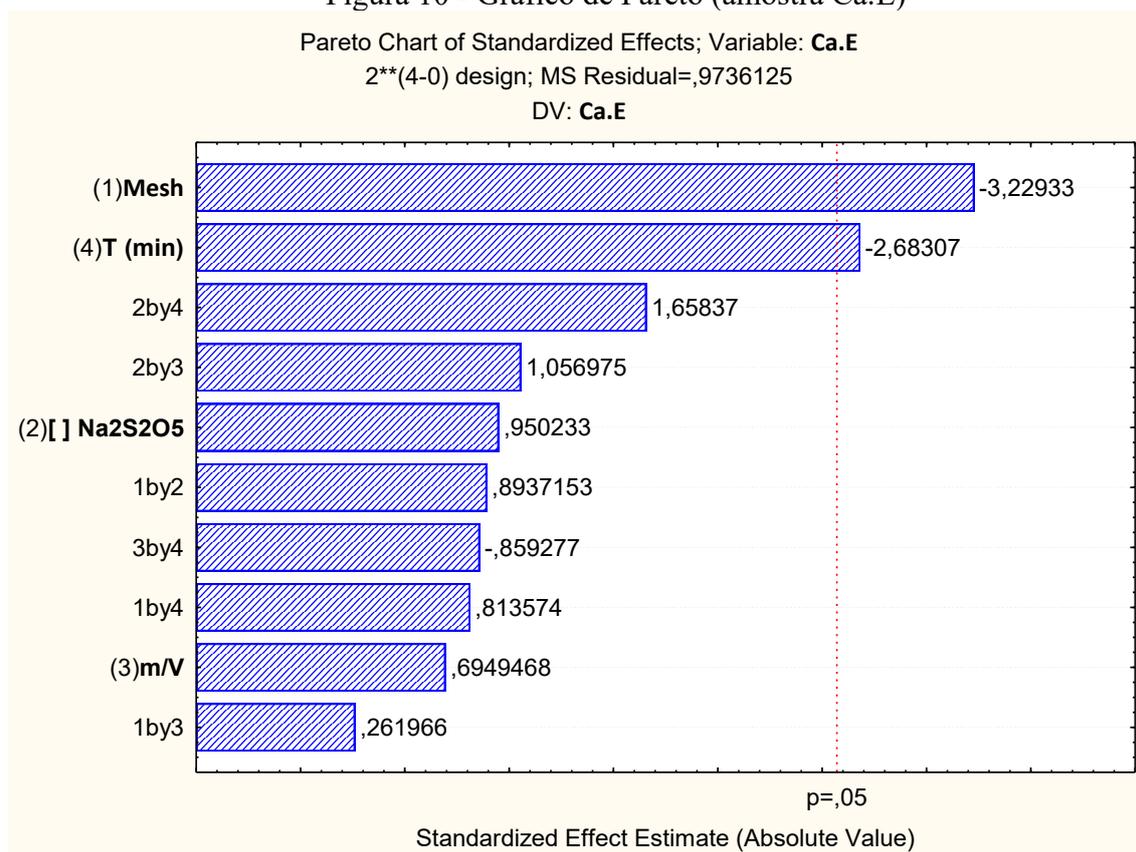
3.2.1 *Canna edulis* (Ca.E)

O gráfico de pareto (Figura 10) mostra as variáveis que foram significativas ($p < 0,05$). O maior valor encontrado foi observado para a variável mesh, ao utilizar a peneira com maior

número de mesh (325 μm). Isso pode ser justificado pela análise microscópica, a qual revelou que a amostra Ca.E apresenta grânulos grandes que variam entre 34 a 47 μm , os quais estão dentre os maiores grânulos de amido encontrados na natureza. Logo, é possível que parte dos grânulos de amido tenham sido retidos pela peneira de 200 mesh, impactando de forma significativa no rendimento.

A superior resposta (rendimento) foi verificada para a repetição a qual foi utilizado maior tempo de trituração. Esse resultado pode estar relacionado a dureza do rizoma, pois foi possível relacionar a dependência diretamente proporcional da energia mecânica aplicada na variável resposta durante a realização do trabalho. De acordo com Leonel e Cereda (2002) a umidade dos rizomas de *C. edulis* é baixo ($75,67 \pm 0,98$), situação a qual contribui para que as cadeias macromoleculares estejam mais compactadas.

Figura 10 - Gráfico de Pareto (amostra Ca.E)

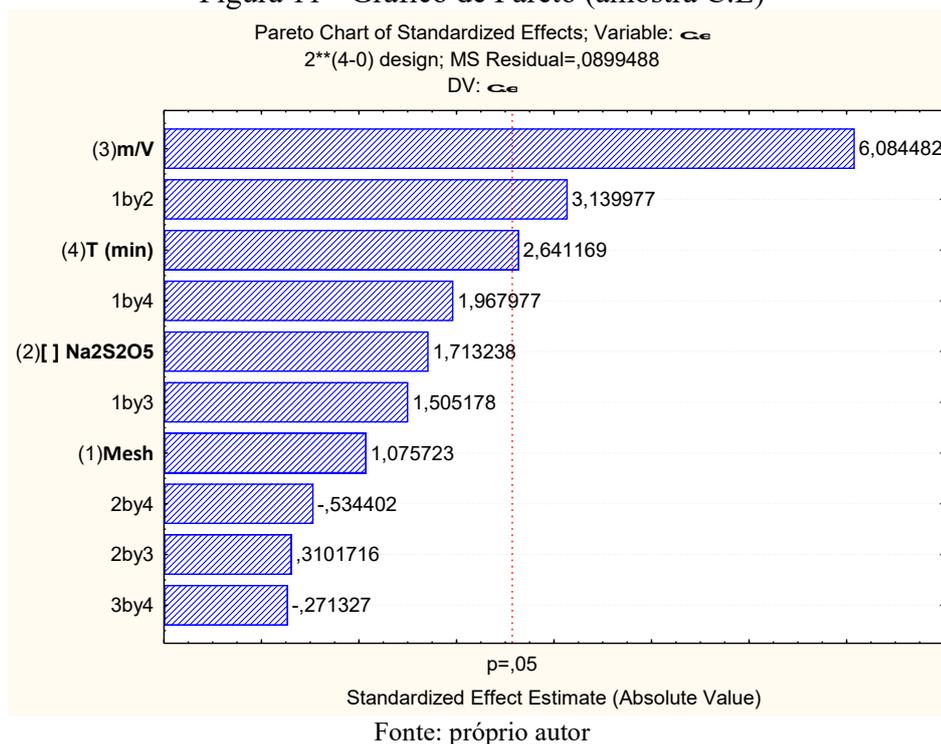


3.2.2 *Cyperus esculentus* (C.E)

A Figura 11 apresenta o gráfico de pareto para amostra C.E, indicando as variáveis significativas ($p < 0,05$). A influência significativa da variável independente m/V na variável

resposta (rendimento) para a amostra C.E pode estar relacionado ao tamanho dos tubérculos, os quais são menores dentre os estudados.

Figura 11 - Gráfico de Pareto (amostra C.E)



A menor superfície de contato dos tubérculos, devido ao tamanho, possivelmente resultou em menor atrito à área útil da lâmina do liquidificador industrial utilizado na extração, quando comparado as demais amostras nas mesmas condições operacionais. Além disso, o maior volume de água, pode proporcionar uma melhor relação disperso/dispersante, resultando em maior atrito dos sólidos à superfície da lâmina e conseqüentemente maior rendimento da extração.

A variável independente “tempo de extração” também demonstrou exercer efeito significativo na resposta rendimento. O maior tempo de trabalho pode ter possibilitado a maior ocorrência de atrito e cisalhamento, favorecendo a extração de amido em partes pequenas de tubérculos dispersos no solvente.

Verificou-se uma interrelação entre as variáveis independentes mesh de peneira e Na₂SO₅. Tal resultado pode estar relacionado ao fenômeno de solvatação ocasionado pelo

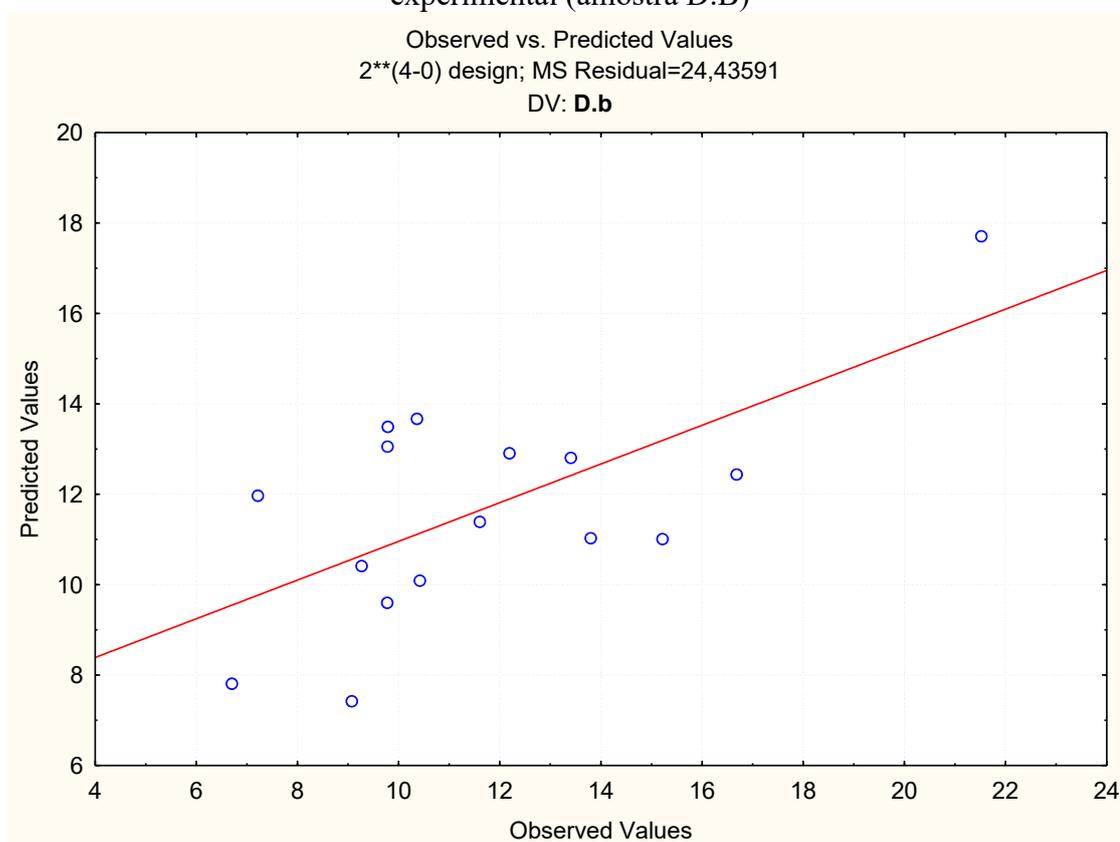
contato do antioxidante com as moléculas presentes na superfície dos tubérculos, que pode ter contribuído para a dissociação de grânulos de amido oclusos em corpos celulares.

3.2.3 *Dioscorea bulbifera* (D.B)

Para a amostra D.B foi observado falta de ajuste do modelo (Figura 12), não sendo possível maiores interpretações. A ocorrência da falta de ajuste para o modelo possivelmente pode ter relação com a elevada concentração de mucilagem presente nos bulbos de D.B. De acordo com Fu et al. (2002) as glicoproteínas compõem de forma majoritária a mucilagem presente nos bulbos de D.B e possuem maior densidade absoluta quando comparado ao amido. Essa diferença de densidade pode impedir fisicamente a sedimentação dos grânulos de amido (FU; HUNG; HUANG, 2014)

Além disso, o baixo rendimento de extração encontrado na amostra D.B (17,08%), associado a falta de ajuste do modelo, sugerem a necessidade de parâmetros personalizados, como maior relação solvente/soluto e maior tempo de extração, para superar as limitações operacionais evidenciadas.

Figura 12 – Valores encontrados vs. valores previstos para ajuste do modelo de delineamento experimental (amostra D.B)

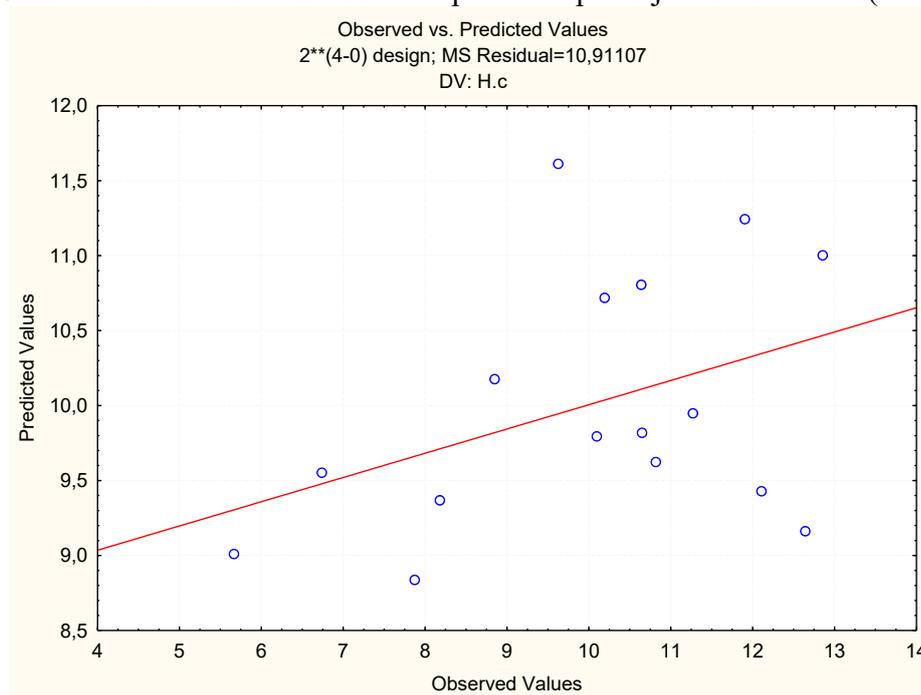


Fonte: próprio autor

3.2.4 *Hedychium coronarium* (H.C)

Para a amostra H.C foi observado falta de ajuste do modelo (Figura 13), não sendo possível maiores interpretações. Possivelmente devido à composição heterogênea da matriz amilácea.

Figura 13 - Valores observados vs. valores previstos para ajuste do modelo (amostra H.C)



Fonte: próprio autor

A presença de fibras longas dificulta a moagem dos rizomas, necessitando o emprego de maior tempo de energia mecânica para a desintegração das partes. Como resultado foi observado grande variação no rendimento de extração entre as repetições.

Outro fator possivelmente interferente é a presença de látex nos rizomas que dificulta a extração, pela ocorrência de bloqueio nos furos das peneiras, necessitando o emprego de maior quantidade de água para que ocorra a passagem do amido.

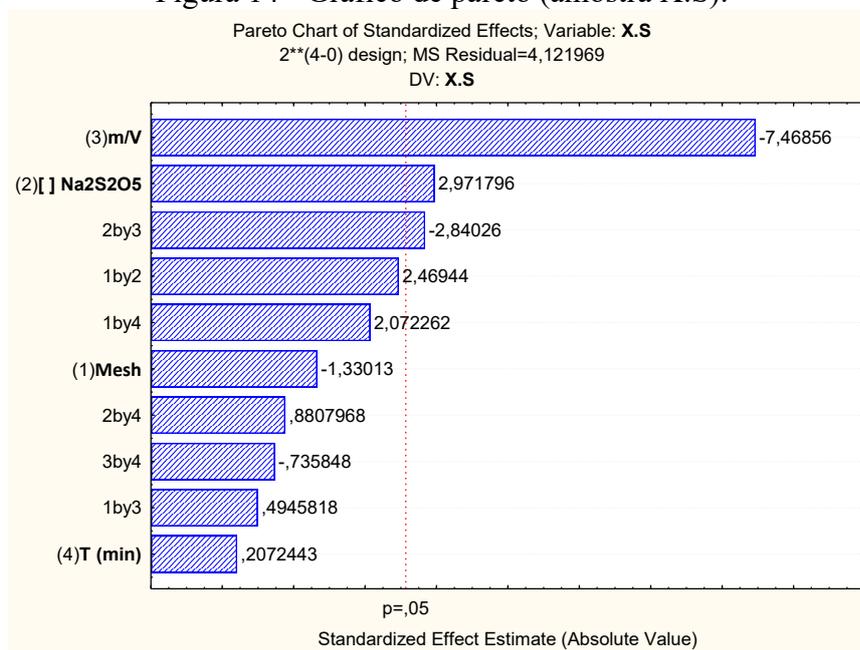
De acordo com Acheri et al. (2010) a presença de uma película constituída por látex nos rizomas de *H. coronarium* é um fator limitante, o qual torna esta matriz inadequada como matéria-prima amilácea.

3.2.5 *Xanthosoma sagittifolium* (X.S)

A Figura 14 apresenta o gráfico de pareto para amostra X.S, indicando as variáveis significativas ($p < 0,05$).

De acordo com Falade e Okafor (2013) os tubérculos de *X. sagittifolium* apresentam elevada concentração de matéria seca ($\geq 75\%$). Este fator possivelmente é o responsável pela interferência positiva na variável m/v, onde foi possível obter maior rendimento, quando aplicado maior quantidade de água na extração.

Figura 14 - Gráfico de pareto (amostra X.S).



Fonte: próprio autor

A baixa concentração de compostos químicos não amiláceos propicia carrear uma quantidade de amido diretamente proporcional à quantidade de água utilizada na extração.

A interferência significativa ($p < 0,05$) da variável concentração de Na₂S₂O₅ relacionada a m/v, indica ter ocorrido um possível auxílio na dissolução e/ou separação de compostos não amiláceos, que resultaram em maior rendimento de extração.

O amolecimento da matriz de proteína e paredes celulares promovidos por Na₂S₂O₅ facilitam a ruptura e liberação de amido durante a trituração, além de controlar a atividade enzimática e o desenvolvimento microbiano (LOOS; HOOD; GRAHAM, 1981).

3.3 TESTE DE CITOTOXICIDADE AGUDA

A incorporação dos extratos contendo amidos nativos das cultivares avaliadas foram calculadas de acordo com o protocolo da OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) e os valores de IC50 foram calculados e os resultados expressos em mg/Kg estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores de IC50 calculados e expressos em mg/Kg dos amidos nativos de mandioca (CONT), *Canna edulis* (Ca.E), *Cyperus esculentus* (C.E), *Dioscorea bulbifera* (D.B), *Hedychium coronarium* (H.C) e *Xanthosoma sagittifolium* (X.S).

| Amostras | IC50 mg/kg |
|----------|------------|
| CONT | 8467,36 |
| Ca.E | 2035,33 |
| C.E | 21514,85 |
| D.B | 5533,50 |
| H.C | 7304,42 |
| X.S | 4962,15 |

Fonte: próprio autor

De acordo com o protocolo OECD 129 os valores de IC50 quando inferiores à 2000 mg/Kg são considerados tóxicos. Todas as amostras apresentaram valores superiores para este parâmetro, sendo as mesmas consideradas seguras para o consumo humano de acordo com o método.

Os materiais vegetais são conhecidos por possuir distintos níveis de toxicidade, que depende principalmente dos níveis de antinutrientes inerentes às plantas. Investigações preliminares sobre a toxicidade aguda do extrato de tubérculo de *C. esculentus* em camundongos demonstrou não ser tóxico para ratos nas concentrações administradas (CHUKWUMA; OBIOMA; CRISTOPHER, 2010), não existindo relatos de toxicidade para este produto.

3.4 COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

A Tabela 9 apresenta a composição centesimal dos amidos isolados das espécies de plantas alimentícias não convencionais amiláceas (*C. esculentus*, *C. edulis*, *D. bulbifera*, *H. coronarium* e *X. sagittifolium*), e a comparação com o amido comercial de mandioca. Ao analisar os resultados da caracterização, verifica-se que as amostras apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$) para todos os parâmetros analisados dentre as variedades estudadas.

Tabela 9 - Composição centesimal dos amidos nativos de mandioca (CONT), *Canna edulis* (Ca.E), *Cyperus esculentus* (C.E), *Dioscorea bulbifera* (D.B), *Hedychium coronarium* (H.C) e *Xanthosoma sagittifolium* (X.S).

| Constituintes (g 100 g ⁻¹) | C | Ca.E | C.E | D.B | H.C | X.S |
|---|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Umidade | 8,62±0,01 ^c | 17,36±0,70 ^a | 9,26±0,16 ^{d,e} | 11,23±0,22 ^c | 9,81±0,06 ^d | 12,54±0,20 ^b |
| Lipídios | 0,18±0,06 ^{b,c} | 0,27±0,05 ^b | 0,44±0,07 ^a | 0,22±0,03 ^{b,c} | 0,12±0,03 ^c | 0,20±0,04 ^{b,c} |
| Cinzas | 0,07±0,05 ^d | 0,39±0,05 ^a | 0,23±0,05 ^{b,c} | 0,38±0,05 ^a | 0,48±0,04 ^a | 0,19±0,07 ^b |
| Proteína | 0,21±0,04 ^b | 0,18±0,05 ^b | 0,38±0,04 ^a | 0,18±0,07 ^{b,c} | 0,07±0,05 ^c | 0,12±0,04 ^{b,c} |
| Carboidratos | 90,92±0,17 ^a | 81,80±0,77 ^c | 89,69±0,26 ^b | 87,98±0,13 ^c | 89,52±0,09 ^b | 86,95±0,03 ^d |
| Amido total | 90,55±0,95 | 79,59±1,66 | 87,81±0,09 | 86,12±0,45 | 88,97±0,04 | 86,51±1,12 |
| Amilose | 16,56±1,44 ^e | 40,87±2,58 ^a | 30,13±3,65 ^b | 21,23±2,86 ^d | 28,36±2,58 ^e | 28,00±6,83 ^c |
| pH | 6,18±0,54 ^c | 6,79±0,32 ^a | 6,7±0,41 ^a | 6,41±0,21 ^b | 6,29±0,04 ^{b,c} | 5,74±0,29 ^d |

Valores expressos como média ± desvio padrão; ^{a-e}letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Fonte: próprio autor

Os amidos analisados não possuem regulamentação específica para parâmetros de identidade e qualidade, porém dada suas características físicas que os estabelecem como tubérculos, é possível estabelecer uma relação direta com o amido de mandioca utilizado como controle. Segundo a legislação (BRASIL, 2005), para amido ou fécula de mandioca a umidade máxima deve ser 18,0 g 100 g⁻¹. Verificou-se que o teor de umidade foi diferente em todas as amostras, exceto para a amostra controle e C.E, que não diferiram significativamente ($p < 0,05$).

O maior valor foi encontrado para a amostra Ca.E (17,36±0,70 g 100 g⁻¹). Os valores verificados para todas as amostras encontram-se condizentes com o estabelecido pela legislação brasileira, estando dentro do limite recomendado para um armazenamento seguro. Valores elevados de umidade propiciam o desenvolvimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes, como bactérias, fungos e leveduras.

O maior conteúdo de umidade obtido (amostra Ca.E), pode estar relacionado com o elevado conteúdo de fibra total presente nos rizomas da cultivar, como relatado por Leonel,

Oliveira e Filho (2005) Se esse comportamento for constatado com a análise de fibra total, revelará a necessidade de otimizar a metodologia empregada para purificação do amido.

Outro ponto relevante é a razão entre o conteúdo de amido total ($80,59 \pm 1,66$), frente ao conteúdo de carboidratos ($81,80 \pm 0,77$) verificado para essa amostra, assim como para a amostra C.E, que indica a presença de outros carboidratos, os quais contribuem para maior higroscopicidade da amostra, dada ao maior número de grupos hidroxílicos, os quais são hidrofílicos.

Durante o processo de extração do amido, pode ocorrer o carreamento de constituintes menores como lipídeos, proteínas e cinzas, substâncias estas consideradas contaminantes que podem interferir nas propriedades físico-químicas e tecnológicas dos mesmos.

Dos constituintes considerados contaminantes, os lipídios apresentam maior influência nas propriedades funcionais tecnológicas do amido. A maioria dos lipídios está presente no grânulo do amido como complexo de inclusão com a amilose, podendo influenciar negativamente o inchamento do grânulo e alterar a temperatura de gelatinização, além de alterar a textura e a viscosidade do amido e de limitar a amilose à retrogradação (SINGH et al., 2003; THOMAS; ATWEEL, 1999).

Os valores obtidos para o teor de lipídios (Tabela 9) variaram entre $0,12 \pm 0,03$ e $0,44 \pm 0,07$ g 100 g⁻¹ para as amostras H.C e C.E, respectivamente, sendo que somente a amostra C.E diferiu significativamente ($p < 0,05$) das demais e do controle. De acordo com Moorthy (2002), o teor de lipídios pode ser considerado baixo quando apresentar valores inferiores a 1%, estando todas as amostras dentro do esperado.

O destaque para o maior valor encontrado nos amidos ($0,44$ g 100 g⁻¹ - amostra C.E) pode estar relacionado ao elevado conteúdo lipídico (entre 20,9 e 30,2 %) presente nos tubérculos desta cultivar. Esse resultado pode ser considerado um indicativo de que o mesmo procedimento de purificação empregado a todas as amostras, pode ser otimizado de maneira personalizada e individual para cada amostra, sendo possível estabelecer novo planejamento experimental que contemple acréscimo às etapas de purificação (LINSSEN; COZIJSSEN; PILNIK, 1989)

A fração lipídica dos tubérculos de *C. esculentus* é em grande parte constituída por ácidos graxos insaturados como oleico e linoleico, essenciais para a saúde humana. As concentrações residuais do conteúdo lipídico carreadas com a extração, comumente evitadas com o processo de purificação, em condições controladas podem agregar valor nutricional ao amido, sendo possível empregá-lo em determinadas aplicações que não comprometam as propriedades funcionais tecnológicas (EZEH; GORDON; NIRANJAN, 2014).

Os ácidos graxos saturados provenientes de gordura animal, comumente empregado em formulações de produtos cárneos processados, podem ser parcialmente substituídos por carboidratos, visando à obtenção de produtos mais saudáveis (SCHWARTZ et al., 1984). Dessa forma, o emprego do amido de *C. esculentus* nesse tipo de produto, pode configurar alternativa tecnológica no incremento do colesterol bom (HDL), tendo em vista a porção lipídica do amido, constituída basicamente por ácidos graxos insaturados de cadeia longa. Além de gerar energia e participar de vias metabólicas importantes de acordo com sua estrutura química (EZEH; GORDON; NIRANJAN, 2014).

De acordo com Hoover (2001), cinzas e proteínas estão presentes em quantidades reduzidas em amidos de raízes e tubérculos, e quantidades elevadas poderiam interferir no processo de extração, reduzindo seu rendimento final. Para Peroni (2003), a pureza do amido é um importante parâmetro de qualidade, facilitando as aplicações industriais.

Os teores de cinzas variaram entre $0,07\pm 0,05\%$ a $0,48\pm 0,04\%$, respectivamente para amostras CONT e H.C (Tabela 9). A tabela Brasileira de Composição de Alimentos, TACO-Unicamp (2011) apresenta para amido de mandioca valor médio de 0,3% de cinzas. A amostra controle (C) apresentou valor inferior à média apresentada pela referida tabela.

Zhu (2015) em artigo de revisão que comparou 25 trabalhos que investigaram a composição química do amido de mandioca, encontrou teores de cinzas que variaram de 0,03 à 0,29%. A amostra CONT apresentou valor que se enquadra no intervalo encontrado na mencionada pesquisa.

As amostras H.C, Ca.E e D.B apresentaram os maiores valores referentes ao conteúdo de cinzas ($0,48\pm 0,04$; $0,39\pm 0,05$; $0,38\pm 0,05$ g 100 g⁻¹, respectivamente), diferindo estatisticamente do controle e das demais amostras ($p < 0,05$). Este fato pode estar associado à composição química das cultivares, bem como as impurezas que podem ter permanecido após a conclusão do processo de extração do amido. Além do mais o manejo agrônomico, fatores climáticos, local de plantio e maturação dos tubérculos também podem influenciar nestes teores (FAVORETTO, 2005).

Ascheri et al. (2010) encontraram valor similar ao deste estudo para cinzas no amido *H. coronarium* ($0,50\pm 0,03\%$). Para amido de *C. edulis*, Lares e Peres (2006) obtiveram $0,32\pm 0,02\%$, o qual também é condizente com o observado na amostra Ca.E deste estudo. Sanful e Engmann (2016) encontraram $0,19\pm 0,83\%$ de cinzas em amidos extraídos de bulbos aéreos de *D. bulbifera*, valor este inferior ao verificado para a amostra D.B deste estudo. Teores reduzidos de cinzas em amidos de raízes e tubérculos, segundo Hoover (2001) são considerados normais e não comprometem as propriedades funcionais.

Quanto aos teores de proteínas, é observado que as amostras se encontram entre $0,07 \pm 0,05$ (H.C) e $0,38 \pm 0,04$ % (C.E), onde apenas a amostra C.E diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) das demais.

O superior teor de proteínas verificado para a amostra C.E, quando comparada as demais amostras, se encontra abaixo do percentual encontrado por Moraes et al. (2015), que relatam uma média de 0,53% para proteínas em amido obtido da mesma cultivar.

Israkarn, Hongsprabhas e Hongsprabhas (2007) encontraram uma média de 0,16% para amido de mandioca. Esse percentual condiz com o observado para as amostras investigadas e estão diretamente relacionados ao conteúdo proteico total relativo a cada cultivar, bem como o emprego de diferentes práticas durante o manejo, bem como às condições empregadas no processo de extração.

O resultado de carboidratos totais, verificado por diferença dos demais parâmetros investigados na composição centesimal, quando deduzido do resultado de amido total para cada amostra, possibilita estabelecer uma estimativa do teor de hetero-mono ou polissacarídeos não hidrolisados na digestão enzimática em que as amostras foram submetidas na análise de amido total, como fibras totais e polímeros não amiláceos como açúcares redutores e não redutores.

De modo geral os amidos apresentaram valores elevados para o parâmetro carboidratos totais, embora todas as amostras tenham apresentado diferença significativa entre si ($p < 0,05$). Quanto mais próximo a 100% for à soma do resultado de umidade e carboidratos totais, mais eficiente pode ser considerado o processo de extração.

A amostra controle apresentou a maior média este parâmetro. Tal resultado pode ser considerado um atributo de qualidade, tendo em vista a superior pureza do amido, quando comparado às demais amostras. As operações unitárias estabelecidas e utilizadas pela indústria propiciaram provavelmente nesse caso a distinta pureza da amostra.

A legislação brasileira, por meio da normativa 23/2005 de 15/12/2005 (BRASIL, 2005), estabelece limites de tolerância para o teor de amido total em produtos amiláceos derivados de raiz de mandioca. Classifica como tipo I os produtos amiláceos com conteúdo de amido total acima de 84%. Tipo II, os produtos amiláceos com conteúdo de amido total acima de 82% e Tipo III os produtos amiláceos com conteúdo de amido acima de 80%.

Com exceção da amostra Ca.E, todas as outras amostras apresentaram resultados dentro do limite preconizado pela legislação brasileira (IN 23/2005) (BRASIL, 2005), aplicada aos produtos amiláceos derivados de raiz de mandioca e se enquadram na classificação do Tipo I, destinada a produtos com qualidade superior as demais classificações.

A *C. edulis* é cultivada para exploração comercial em regiões andinas, de onde é originária, em planaltos subtropicais com altitudes de 1000-2500m (ZHEN-GUI et al., 2009). Não há registros do cultivo de *C. edulis* destinada à exploração comercial em regiões com altitudes próximas ao nível do mar. As variações dos genótipos da espécie, bem como fatores abióticos podem influenciar diretamente na composição química dos rizomas e por consequência a composição do amido. Esses fatores podem possivelmente estar correlacionados ao baixo rendimento de amido total verificado para a amostra Ca.E, quando comparado às demais amostras.

Como dito anteriormente, lipídios, proteínas e cinzas são considerados contaminantes que podem interferir nas propriedades físico-químicas e tecnológicas dos amidos. Estes constituintes dependem da espécie botânica e fatores ambientais, mas principalmente do processo de extração realizado. Desta forma, quando são encontrados em baixos níveis (< 1%) revelam um amido com elevado grau de pureza.

A composição química dos amidos nativos de *C. edulis* (Ca.E), *D. bulbifera* (D.B), *H. coronarium* (H.C), e *X. sagittifolium* (X.S) apresentaram pequenas proporções destes constituintes (< 1%). No entanto, a amostra C.E apresentou 1,05%, podendo tal resultado estar relacionado com o estágio de maturação dos tubérculos ou ainda pelo processo de extração, uma vez que o amido foi purificado apenas por decantação e centrifugação, não sendo desengordurado via extração etanólica. Além do mais, a escolha da água como solvente de extração, segue os princípios da química verde e visa minimizar os resíduos gerados (EJOH; DJOMDI; NDJOUENKEU, 2006).

De forma geral, a proporção dos constituintes não amiláceos indicam que os amidos apresentam alto grau de pureza e que o processo de extração foi eficiente (ROCHA; DEMIATE; FRANCO, 2008).

Os teores de amilose aparente (Tabela 9) variaram entre 40,87 (amostra Ca.E) e 16,56 (amostra CONT) ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$). As amostras CONT, Ca.E e C.E diferiram estatisticamente, enquanto as amostras H.C ($28,36 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) e X.S ($28,00 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) não apresentaram diferença.

O conteúdo de amilose tem relação direta com a constituição estrutural das regiões cristalinas e amorfas do grânulo e impacta nas propriedades funcionais, como gelatinização e retrogradação do amido, bem como na susceptibilidade à hidrólise enzimática (GALLANT et al., 1982; GÉRARD et al., 2001).

As moléculas de amilose em amidos nativos (que não sofreram modificação) podem se apresentar complexadas a lipídios. Mudanças moleculares ocasionadas por tratamentos

térmicos podem potencializar a formação do complexo amilose-lipídio (LAM - lipid-amylose complexes) (ELIASSON, 2017).

3.5 COR

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos na análise de cor dos amidos, enquanto a Figura 15 apresenta as fotos dos amidos.

Tabela 10 – Resultados obtidos para análise de cor dos amidos nativos de mandioca (CONT), *Canna edulis* (Ca.E), *Cyperus esculentus* (C.E), *Dioscorea bulbifera* (D.B), *Hedychium coronarium* (H.C) e *Xanthosoma sagittifolium* (X.S), utilizando a escala CIE (L*a*b)

| Amostras | L*(Luminosidade) | Cor | |
|----------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | a* Vermelho (+) Verde (-) | b* Amarelo (+) Azul (-) |
| CONT | 97,35±0,95 ^a | 0,05±0,04 ^e | 2,97±0,25 ^e |
| Ca.E | 89,84±0,68 ^{c,d} | 0,69±0,08 ^e | 9,22±0,19 ^b |
| C.E | 88,91±0,47 ^d | 1,15±0,08 ^b | 8,34±0,23 ^e |
| D.B | 90,74±0,78 ^c | 1,32±0,09 ^a | 19,95±0,56 ^a |
| H.C | 95,05±0,17 ^b | 0,51±0,01 ^d | 4,92±0,09 ^d |
| X.S | 97,50±0,39 ^a | 0,11±0,03 ^e | 1,59±0,09 ^f |

Média± Desvio padrão seguidos de letra igual em uma mesma coluna não tem diferença significativa pelo teste de Tukey (p≤0,05). Fonte: próprio autor

Figura 15 - Fotos dos amidos demonstrando a cor de cada amostra



Controle: amido de mandioca; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

As amostras Controle e X.S apresentaram os maiores valores para luminosidade (L*) e subjetivamente verificou-se que estas são mais brancas, quando comparado as demais amostras. Este resultado possivelmente está relacionado aos constituintes químicos de cor branca, predominantes nas matrizes originárias destes amidos.

Quanto aos parâmetros de cor (a* e b*), a amostra D.B apresentou os maiores valores, seguido da amostra C.E, apresentando tendência ao vermelho e amarelo respectivamente. Estes resultados possivelmente estão relacionados a presença de mucilagem (amostra D.B) e a

riqueza de compostos bioativos presentes na polpa dos bulbilhos e tubérculos e revelam um visível grau de impureza no amido. Embora amidos coloridos sejam indesejados em grande parte das aplicações industriais, a presença de compostos bioativos, benéficos a saúde, pode ser um diferencial e aplicado em formulações de alimentos funcionais e/ou nutracêuticos.

A amostra Ca.E apresentou o segundo maior valor para o parâmetro *b (tendência ao amarelo) e este resultado pode estar relacionado a fatores intrínsecos da matriz amilácea, mas também a fatores extrínsecos como mineralogia do solo e variedade genética, tendo em vista que esta planta não é agronomicamente adaptada para a finalidade de extração de amido no Brasil.

As amostras Controle e X.S apresentaram os menores valores para o espectro cromático a* e b* e os resultados revelam superior pureza desses amidos quando comparado aos demais. Tais amidos são apreciados no mercado de amidos por diversos fatores, no entanto a brancura, pureza e facilidade de extração são os pontos principais.

3.6 MINERAIS

O resultado do perfil de minerais tem relação direta com a composição química de cada amido, grau de pureza e efetividade na extração. Com o conhecimento do teor de minerais é possível correlacionar o comportamento dos amidos frente aos tratamentos térmicos os quais são submetidos, bem como às propriedades funcionais.

Dentre a fração mineral presente em amidos, o fósforo é o elemento que pode representar maior influência sobre o comportamento reológico da pasta. O fósforo pode ser encontrado em amidos na forma de fosfolipídios, porém em amidos de raízes e tubérculos estão frequentemente presentes na forma de fostato mono-éster e são associados ao aumento da transparência e viscosidade da pasta, capacidade de ligação com a água e poder de inchamento além de contribuir para baixa temperatura de gelatinização e taxa de retrogradação (SINGH et al., 2003; LEONEL; CEREDA, 2002; HOOVER, 2001).

A Tabela 11 apresenta os resultados de minerais obtidos para as amostras de amidos estudadas.

Tabela 11 - Resultados de minerais obtidos nos amidos amidos nativos de mandioca (CONT), *Canna edulis* (Ca.E), *Cyperus esculentus* (C.E), *Dioscorea bulbifera* (D.B), *Hedychium coronarium* (H.C) e *Xanthosoma sagittifolium* (X.S) e amido de mandioca (Controle).

| Amostras | Minerais ($\mu\text{g g}^{-1}$) |
|----------|-----------------------------------|
|----------|-----------------------------------|

| | Ca | Cu | Fe | K | Mg | Zn | P |
|------|----------------------------|-----------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| CONT | 29,0 ± 4,2 ^c | < LD | < LD | 547,5 ± 6,4 ^d | 13,5 ± 0,4 ^e | < LD | 159,6 ± 3,8 ^c |
| Ca.E | 29,5 ± 2,1 ^c | < LD | < LD | 110,5 ± 4,9 ^f | 87,5 ± 3,5 ^c | < LD | 285,8 ± 4,8 ^b |
| C.E | 33,5 ± 0,7 ^c | < LD | 21,0 ± 2,8 ^b | 197,0 ± 2,8 ^e | 30,5 ± 0,7 ^{d,e} | < LD | 335,0 ± 10,2 ^b |
| D.B | 90,0 ± 1,41 ^c | < LD | 17,5 ± 0,7 ^b | 1282,5 ± 33,2 ^c | 61,0 ± 1,4 ^{c,d} | < LD | 548,3 ± 11,4 ^a |
| H.C | 753,5 ± 34,6 ^b | < LD | 20,5 ± 0,7 ^b | 1516,5 ± 21,9 ^b | 215,5 ± 13,4 ^a | < LD | 493,3 ± 56,5 ^a |
| X.S | 2115,0 ± 84,8 ^a | < LD | 84,0 ± 17,0 ^a | 3955,0 ± 25,4 ^a | 146,5 ± 24,7 ^b | < LD | 136,7 ± 9,6 ^c |

Média± Desvio padrão seguidos de letra igual em uma mesma coluna não tem diferença significativa pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: próprio autor

As amostras D.B e H.C apresentaram os maiores teores de fósforo (548,3 e 493,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente), seguido das amostras C.E e Ca.E (335 e 285 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente), enquanto os menores teores foram verificados nas amostras X.S e CONT (136,7 e 159,6 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente).

A amostra X.S apresentou o maior teor de Ca (2115,0 $\mu\text{g g}^{-1}$), resultado este, aproximadamente 73 vezes superior a amostra Controle (CONT) (29,0 $\mu\text{g g}^{-1}$).

O elevado teor de cálcio presente na amostra X.S possivelmente está relacionado a presença de cristais de oxalato de cálcio, que costuma ser encontrado em grandes quantidades nos tubérculos e folhas da matriz amilácea. Embora o oxalato de cálcio seja considerado um fator antinutricional e possa causar irritação na pele e mucosas, a análise de citotoxicidade revelou segurança da amostra X.S para o consumo.

Oxalatos de cálcio geralmente são solúveis em água, portanto a adição de etapas extras de lavagem dos amidos de X.S após a extração, bem como processos hidrotérmicos podem possivelmente auxiliar na redução do teor de Ca por lixiviação (SERVISS et al., 2000).

A amostra H.C apresentou o segundo maior valor para Ca (753,5 29,0 $\mu\text{g g}^{-1}$) e assim como na amostra X.S este resultado possivelmente está relacionado a presença de oxalatos de cálcio, os quais podem formar cristais insolúveis e gerar cálculos renais nos consumidores. No também é possível reduzir o teor de cálcio na forma de oxalato nos amidos com lavagem e cocção (Benevides et al., 2011).

As amostras CONT, Ca.E, C.E e D.B apresentaram os menores valores para Cálcio e não diferiram entre si.

Em nenhuma amostra avaliada verificou-se a presença de cobre ou zinco e apenas nas amostras C.E, D.B, H.C e X.S foi verificado a presença de ferro.

A amostra X.S apresentou o maior teor para o mineral ferro (84 $\mu\text{g g}^{-1}$), enquanto as demais amostras não diferiram entre si, com valores entre 21 (amostra C.E) e 16 (amostra D.B) $\mu\text{g g}^{-1}$.

Dentre os minerais investigados, o potássio (K) foi o que apresentou os maiores teores em todas as amostras. Todas as amostras apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para potássio, com destaque para a amostra X.S a qual apresentou o maior teor $3955,0 \mu\text{g g}^{-1}$, enquanto o menor teor foi verificado para a amostra Ca.E $110,5 \mu\text{g g}^{-1}$.

A amostra H.C apresentou o maior valor ($215,5 \mu\text{g g}^{-1}$) para o mineral Magnésio (Mg), enquanto a amostra CONT apresentou o menor valor ($13,5 \mu\text{g g}^{-1}$) para este mineral.

4 CONCLUSÃO

Os maiores percentuais de amido foram obtidos para a amostra C.E (*C. esculentus*), o que corrobora para a inserção dessa matriz amilácea no mercado de amidos.

Na extração dos amidos via delineamento experimental as variáveis independentes m/V e T (min) demonstraram exercer influência significativa ($p < 0,05$) na variável resposta rendimento para todas as amostras, onde os maiores valores foram verificados quando utilizado a peneira com maior número de Mesh ($325 \mu\text{m}$) e maior tempo em minutos.

Todas as amostras apresentaram-se seguras para o consumo humano, de acordo com os resultados obtidos para citotoxicidade aguda (Vermelho neutro).

De modo geral as amostras apresentaram conteúdo sólido não amiláceo abaixo de 1%, o que demonstra satisfatório grau de pureza dos amidos e eficiência no processo de extração, podendo ser considerado adequado em escala industrial.

Com exceção da amostra D.B (*D. bulbifera*) as demais amostras em análise subjetiva apresentaram similaridade quanto a cor quando comparados com amido de mandioca, com destaque para a amostra X.S a qual apresentou tonalidade semelhante a amostra controle. Desta forma, tais amidos são propícios para aplicações na indústria de alimentos, podendo estes serem selecionados pela cor, de acordo com a necessidade tecnológica.

REFERÊNCIAS

- ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 35, n. 2, p. 215–236, 2015.
- ANDRADE-MAHECHA, M. M.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; MENEGALLI, F. C. Physical–chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. **Starch-Stärke**, v. 64, n. 5, p. 348-358, 2012.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC International**. (18 ed.) Gaithersburg, MD: AOAC International, 2005.
- ASCHERI, D. P. R. et al. Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 159-166, 2010.
- ASCHERI, D. P. R. et al. Caracterização Física e Físico-Química de Rizomas e Amido do Lírio-Do-Brejo (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 159–166, 2010.
- BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. (Ed.). **Starch: chemistry and technology**. Academic Press, 2009.
- BENEVIDES, C. M. J. et al. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. **Segurança Alimentar e nutricional**, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011.
- BENTO, J. A. C. et al. 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.). 2018.
- BORENFREUND, E., PUERNER, J.A. A simple quantitative procedure using monolayer cultures for cytotoxicity assays (HTD/NR-90). **J. Tissue Cult. Methods**, v.9, n.1, p.7-9, 1984.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 23, de 14 de dezembro de 2005. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Produtos Amiláceos derivados da raiz da mandioca, 2005.
- CÁRDENAS-PÉREZ, S. et al. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. **Biosystems engineering**, v. 159, p. 46-58, 2017.

CHUKWUMA, E. R. et al. The phytochemical composition and some biochemical effects of Nigerian tigernut (*Cyperus esculentus* L.) tuber. **Pakistan Journal Of Nutrition**, v. 9, n. 7, p. 709-715, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectiva para a Agropecuaria**, v. 6, p.86, 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/download/22780_ee707c6e6d44f06fe7b6a86ce6141652 /Acesso em 09 de abril de 2019.

DE CASTRO, WA C. et al. Invasion strategies of the white ginger lily *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae) under different competitive and environmental conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 127, p. 55-62, 2016.

DOYLE, A.; GRIFFITHS, J. B.; NEWELL, D. G. **Cell & tissue culture: laboratory procedures**. Wiley, 1998.

EJOH, R. A.; DJOMDI; NDJOUENKEU, R. Characteristics of tigernut (*Cyperus esculentus*) tubers and their performance in the production of a milky drink. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 30, n. 2, p. 145-163, 2006.

ELIASSON, AC. Starch: Physicochemical and functional aspects. In: **Carbohydrates in food**. CRC press, 2017. p. 501-600.

EZEH, O.; GORDON, M. H.; NIRANJAN, K. Tiger nut oil (*Cyperus esculentus* L.): A review of its composition and physico-chemical properties. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 116, n. 7, p. 783–794, 2014.

FALADE, K. O.; OKAFOR, C. A. Physicochemical properties of five cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) starches. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2013.

FAN, X. et al. Properties of new starches from tubers of *Arisaema elephas*, *yunnanense* and *erubescens*. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 183-190, 2016.

FAVORETTO, P. **Parâmetros de crescimento e marcha de absorção de nutrientes na produção de minitubérculos de batata cv. Atlantic. Piracicaba**, 2005. 98 p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

FRANCO, C. M. L. et al. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2001

FU, Y. C. et al. The influence of mucin and cellulose on the yield of yam starch. **Journal of the Agricultural Association of China**, v.3, p.216–227, 2002.

FU, Y.; HUNG, C.; HUANG, P. Minimal processing of mucilage from the pulp of yam (*Dioscorea pseudojaponica* Yamamoto) using bubble separation and ultraviolet irradiation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.26, p.214–219, 2014.

- GARCIA, A. C. D. B.; LEONEL, M.I. Effect of lactic acid concentration on expansion property of photochemically modified starches. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 629-634, 2005.
- GÉRARD, C. et al. Amylose determination in genetically modified starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 44, n. 1, p. 19–27, 2001.
- GREER, F. R. Use of starch and modified starches in infant feeding: a historical perspective. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, v. 66, p. S30-S34, 2018.
- GUILBOT, A.; MERCIER, C. **Starch. In the Polysaccharides**, Ed. O. Aspinall. 1985.
- HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.
- HURTADO, J., O., R.; RODRÍGUEZ, G.; DUFOUR, D. Procesamiento de la arracacha (Arracacha xanthorrhiza): Estudio de la factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harina y sus propiedades fisicoquímicas. **Seminario Técnico sobre Raíces y Tubérculos autóctonos**. Ibagué, Colombia, 27-29 de mayo 1997.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. (Ed's.) ZENEON, O.; PASCUET N. S.; TIGLEA, P. (4. ed.). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.
- ISRAKARN, K.; HONGSPRABHAS, P.; HONGSPRABHAS, P. Influences of granule-associated proteins on physicochemical properties of mungbean and cassava starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, n. 2, p. 314-322, 2007.
- JADHAV, D. **Ethnomedicinal plants used by Bhil tribe of Bibdod, Madhya Pradesh**. 2006.
- JIANG, Q. et al. Characterizations of starches isolated from five different Dioscorea L. species. **Food Hydrocolloids**, v.29, n.1, p.35-41, 2012.
- LARES, M.; PÉREZ, E.. Determination of the mineral fraction and rheological properties of microwave modified starch from *Canna edulis*. **Plant foods for human nutrition**, v. 61, n. 3, p. 109-113, 2006.
- LEONEL, M. Analysis of the shape and size of starch grains from different botanical species. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 579–588, 2007.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 65–69, jan. 2002.
- LEONEL, M.; OLIVEIRA, M. Á. DE; FILHO, J. D. Espécies Tuberosas Tropicais como Matérias-Primas Amiláceas. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 1, n. 14, p. 49–68, 2005.
- LEWICKA, K.; SIEMION, P.; KURCOK, Piotr. Chemical modifications of starch: microwave effect. **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, 2015.

- LINSSEN, J. P. H.; COZIENSEN, J. L.; PILNIK, W. Chufa (*Cyperus esculentus*): A new source of dietary fibre. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 49, n. 3, p. 291–296, 1989.
- LOOS, P.J; HOOD, L.F ; GRAHAM, H.D. Isolation and Characterization of Starch from Breadfruit. **Cereal Chemistry**; 54, 282-286, 1981.
- MALAVOLTA, E. et al. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo, Ed. Pioneira, 1974. 727p.
- MOORTHY, S. N. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches. A review. **Starch/Starke**, v.5 4, p.559-592, 2002.
- OECD, E. D. Guidance document on using cytotoxicity tests to estimate starting doses for acute oral systemic toxicity tests. **OECD Series Test Assess**, v. 20, p. 1-54, 2010.
- PERONI, F.H.G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, SP, 2003.
- PIYACHOMKWAN, K. et al. Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. **Industrial Crops and Products**, v. 16, n. 1, p. 11-21, 2002.
- RANGANNA, S. **Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products**, 1112p. 1991.
- 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**, v. 28, n. 3, p. 620-628, set. 2008.
- SANFUL, R. E.; ENGMANN, F. N. Physico-Chemical and pasting characteristics of flour and starch from aerial yam. **American Journal of Food Science and Nutrition**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2016.
- SANTANA, Á.; MEIRELES, M. A. A. New starches are the trend for industry applications: a review. **Food and public health**, v. 4, n. 5, p. 229-241, 2014.
- SARMENTO, S.B.S., LEONEL, M. CEREDA, M. Análise quimiométrica de propriedades físicas, físico-químicas e funcionais de féculas de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.2, n.1-2, p.131-137, 1999.
- SAULINO, H. H. L.; TRIVINHO-STRIXINO, S. The invasive white ginger lily (*Hedichium coronarium*) simplifies the trait composition of an insect assemblage in the littoral zone of a Savanna reservoir. **Revista Brasileira de entomologia**, v. 61, n. 1, p. 60-68, 2017.
- SCHWARTZ, M. et al. Influencia de la época de recolección de la chufa (*Cyperus esculentus*, L) sobre las características analíticas y sensoriales de la horchata. **Revista de agroquímica y tecnología de alimentos**, v. 24, n. 2, p. 199-208, 1984.

SERVISS, B. E.; McDANIEL, S. T.; BRYSON, C. T. Occurrence, distribution and ecology of *Alocasia*, *Caladium*, *Colocasia* and *Xanthosoma* (Aracea) in the southeastern United State. **Sida**, v.19, n.1, p.149-174, 2000.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and reological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 219- 231, 2003.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. **Starches**: practical guides for the food industry. Minnessota: Eagan, 1999. 94 p.

UNICAMP-TACO. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Tabela brasileira de composição de alimentos-TACO. 2011.

ZHU, F. Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. **Carbohydrate polymers**, v. 122, p. 456-480, 2015.

CAPÍTULO 3

EFEITOS DA MODIFICAÇÃO FÍSICA (*annealing*) NOS AMIDOS DE PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (Panc's)

RESUMO

Este capítulo apresenta o efeito da modificação física dos amidos por *annealing* em duas temperaturas (40 e 60 °C) frente aos resultados de propriedades de pasta e de propriedades funcionais, além dos resultados microscopia eletrônica de varredura e difração de raios-X. Com relação as propriedades de pasta, os amidos modificados fisicamente por *annealing* apresentaram redução na viscosidade máxima e viscosidade final, quando comparado aos amidos nativos. No entanto, as temperaturas de pasta foram superiores para os amidos modificados. A mudança nas propriedades de pasta dos amidos modificados possivelmente está relacionado a maior exigência de energia térmica, necessária para que ocorra a desintegração granular. O tratamento por *annealing* reduziu o poder de inchamento e de solubilidade dos amidos, no entanto foi verificado aumento na capacidade de absorção de água e óleo, sendo estas características desejadas na indústria de alimentos. Os grânulos de amido apresentaram tamanho heterogêneo, com aparência distinta para cada amostra, que variaram entre arredondados, ovalados, cupuliformes, mitriformes e convexo bicôncavos. Os maiores grânulos de amido, como esperado, foram verificados para a amostra *Canna edulis*, enquanto os menores grânulos foram verificados para a amostra *Xanthosoma sagittifolium*. Os amidos modificados fisicamente por *annealing* apresentaram aumento no tamanho dos grânulos, bem como o surgimento de poros e fissuras (principalmente aqueles com maior teor de amilose) que podem ter sido ocasionados devido a entrada de umidade através das regiões amorfas dos amidos durante o processo de modificação. Independente da modificação por *annealing*, as amostras de amido apresentaram uma mistura dos padrões de cristalinidade do tipo A e do tipo B, sendo esta categoria denominada como cristalinidade do Tipo C. Com exceção da amostra de amido de *Hedygium coronarium*, as demais amostras apresentaram redução no percentual de cristalinidade, de forma inversamente proporcional às temperaturas utilizadas na modificação por *annealing*. A redução da cristalinidade para os amidos modificados por *annealing* pode estar relacionada à redução dos espaçamentos intercristalinos, devido ao maior empacotamento helicoidal, que torna os cristalitos mais compactos e organizados.

Palavras-Chave – modificação física, *annealing*, propriedades funcionais tecnológicas.

1 INTRODUÇÃO

A modificação física representa uma oportunidade de alterar as características funcionais tecnológicas dos amidos nativos, de modo a potencializar comportamentos reológicos e, conseqüentemente, agregar valor aos amidos e suas matrizes amiláceas.

As modificações físicas podem representar vantagens sobre as modificações químicas, como a ausência de restrições de quantidade de uso de acordo com a legislação, enquadrando-se de forma ambientalmente amigável no conceito de “tecnologia verde” (CHANDANASREE; GUL; RIAR, 2016; ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017).

A principal característica dos amidos modificados fisicamente é a obtenção de amidos pré-gelatinizados, os quais têm em comum a característica de serem dispersíveis em água fria, necessitando menos energia para serem gelatinizados, quando comparados aos amidos nativos de mesma fonte botânica. Existe uma necessidade industrial de produtos instantâneos que dispersam prontamente, dando vários tipos de textura, sendo elas, lisa, polpuda ou granulada (BUTT; MOHSIN ALI; HASNAIN, 2018).

Existem inúmeros tratamentos físicos que conduzem a novas propriedades funcionais do amido, por meio da modificação da estrutura cristalina do grânulo de amido, enquanto a sua estrutura molecular é preservada. Entre eles, o *annealing* se destaca por apresentar expressiva utilização e consiste na submissão de suspensão de amido à temperatura superior à de transição vítrea e ligeiramente inferior à temperatura de gelatinização, em excesso de água durante determinado tempo.

Não foram encontrados, até a realização deste trabalho, estudos sobre a modificação física por *annealing*, dos amidos dos rizomas de *Canna edulis* e *Hedycum coronarium*, dos tubérculos de *Cyperus esculentus* e *Xanthosoma sagittifolium* e do bulbo de *Dioscorea bulbifera*. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da modificação física *annealing* sobre as propriedades funcionais, bem como relacionar os resultados obtidos com amostras não tratadas dos amidos utilizados no presente estudo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAS

Neste estudo foram utilizados os rizomas de *Canna edulis* (Ca.E) e *Hedycum coronarium* (H.C), os tubérculos de *Cyperus esculentus* (C.E) e *Xanthosoma sagittifolium* (X.S)

e o bulbo de *Dioscorea bulbifera* (D.B). As amostras foram coletadas em triplicata, nos anos 2017/18 pelo próprio autor. As amostras Ca.E e X.S foram coletadas na estação experimental agroflorestal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A amostra C.E foi coletada na fazenda experimental da ressacada da mesma universidade, na cidade de Florianópolis, estado de Santa Catarina – Brasil. Enquanto as amostras D.B e H.C foram coletadas no sítio Flor de Ouro localizado no bairro Ratoles da mesma cidade. Como amostra controle (amido nativo) foi utilizado amido de mandioca comercial adquirido em comércio local da região de Florianópolis-SC.

2.2 MODIFICAÇÃO FÍSICA POR *ANNEALING* (ANN)

O amido foi tratado com excesso de água (1:9 amido/água) em banho-maria durante 16 horas em temperaturas de 40 e 60 °C, segundo método de Horndok e Noomhorm (2007). Após o tratamento hidrotérmico, a suspensão de amido e água foi centrifugada e o amido suspenso foi centrifugado novamente e, posteriormente, seco em estufa (SL-100, Piracicaba, Brasil) a 40 °C até aproximadamente 10% de umidade. As amostras foram trituradas e armazenadas em recipientes herméticos para posterior avaliação.

2.3 PROPRIEDADES DE PASTA

As propriedades de pasta foram determinadas utilizando o analisador rápido de viscosidade (RVA - Rapid Visco Analyser 4000 - Perten Instruments), através do software ThermoLine for Windows de acordo com o método nº 76-21.01 da (AACC, 2010). Foram utilizadas aproximadamente 2,5 g de amostra dispersas em 25±0,1 mL de água destilada, levando-se em consideração a umidade do amido. A programação utilizada foi Standard 1, com tempo total de corrida de aproximadamente 13 minutos, iniciando com temperatura de 50 °C mantida por 1 minuto, aquecimento até 95 °C por 6 minutos, seguido de resfriamento até 50 °C por 6 minutos. A rotação iniciou em 960 rpm por 10 segundos e diminuiu para 160 rpm no decorrer da análise. A partir dos amilogramas obtidos foram avaliadas as seguintes características: viscosidade máxima (cP), viscosidade final (cP), e temperatura de pasta (°C).

2.4 PROPRIEDADES FUNCIONAIS

2.4.1 Poder de inchamento e solubilidade do amido

O poder de inchamento e a solubilidade dos amidos foram determinados de acordo com o método descrito por Leach, Mccowen e Schoch (1959). Foi pesado 0,1 g de amido em tubos de centrífuga previamente tarados, então adicionado 10 mL de água destilada. A suspensão foi agitada em agitador de tubos por 30 segundos e levada ao banho por 30 minutos a temperaturas de 55, 65, 75,85 e 95 °C. Em seguida, os tubos foram retirados do banho, fechados e centrifugados por 15 minutos a 1000 g. Uma alíquota de 5 mL foi retirada do sobrenadante e seca em estufa a 105 °C por 24 horas, para determinação da massa de amido solubilizado. Os tubos, previamente tarados, contendo os grânulos de amido intumescidos foram pesados para determinar o poder de inchamento. A solubilidade foi calculada pela relação da massa solúvel e a massa inicial de amido, expressa em $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ em base seca, enquanto o poder de inchamento foi obtido pela relação da massa final intumescida pela massa inicial de amido.

2.4.2 Sinerese

Foram pesados aproximadamente 2% (p/v) de amido em tubo de ensaio contendo 5 mL de água destilada. A suspensão foi agitada em vortex e submetida à temperatura de 80 °C por 30 minutos em banho-maria, sob agitação constante. Após esse tempo a mistura permaneceu em repouso a 4 °C por 2 horas. As amostras foram armazenadas a 4 °C por 24, 96, 120 e 696 h. A sinérese foi medida como o percentual (%) de água liberado após a centrifugação das amostras a 1500 g por 15 minutos (SINGH; SANDHU; KAUR, 2004).

2.4.3 Claridade de pasta

A claridade de pasta foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Craig et al. (1989), utilizando suspensões de amido (1% p/v) em água destilada. A suspensão foi aquecida durante 30 minutos à temperatura de 90 °C com agitação de 30 segundos a cada 5 minutos. A solução foi resfriada à temperatura ambiente e a transmitância (% T) determinada a 650 nm utilizando espectrofotômetro digital (Varian Indústria e Comércio Ltda., Inc., modelo Cary 50, Brasil), com sistema computadorizado.

2.4.4 Capacidade de absorção de água e óleo

A capacidade de absorção de água e óleo das amostras de amidos nativos, modificados e controle, foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Beuchat (1977). Em um tubo de centrífuga contendo 1 g de amostra de amido, foram adicionados 10 mL de água destilada ou óleo de soja (comercial). As suspensões foram homogeneizadas durante 30 segundos e então deixadas em repouso por 30 minutos. Posteriormente, os tubos foram fechados e centrifugados por 30 minutos a 757 g. O sedimento no tubo da centrífuga após separação do sobrenadante foi pesado e a capacidade de absorção da água ou do óleo foi calculada conforme Equação 05.

$$\% \text{ CAA ou CAO} = (\text{PC-PS}) \times 100 \quad (5)$$

Onde:

CAA = capacidade de absorção de água.

CAO = capacidade de absorção de óleo.

PC = massa do sedimentado em gramas.

PS = massa de amostra seca em gramas.

2.4.5 Resistência a ciclos de congelamento e descongelamento

As pastas foram armazenadas congeladas em embalagens plásticas herméticas e a quantidade de água liberada foi determinada gravimetricamente segundo Dreher et al. (1983).

2.5 ESTRUTURA DOS GRÂNULOS

2.5.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As microscopias dos amidos foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da UFSC, utilizando o microscópio da marca JEOL Ltda. (EUA), modelo JSM-6701F. As amostras foram colocadas sobre os porta amostras de alumínio e, devido à baixa condutividade elétrica, foram recobertas com uma fina camada de ouro, em metalizador, modelo D2 Diode Sputtering System, fabricado pela ISI (*International Scientific Instruments*). As imagens foram obtidas por elétrons secundários e a voltagem e ampliação utilizadas em cada amostra são apresentadas nas imagens.

2.5.2 Difração de Raios-X

Para avaliação da cristalinidade dos amidos foi utilizada a técnica de difração de Raios-X. Os ensaios foram realizados no difratômetro Philips X'Pert (Holanda) e os parâmetros para obtenção dos difratogramas foram: radiação $K\alpha$ do cobre ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA. A varredura foi feita entre os ângulos $2\theta = 2^\circ$ e 60° , com passo de $0,05^\circ$ com tempo de contagem de 1 s. Para o cálculo do índice de cristalinidade (IC) foi utilizada a metodologia proposta por Hayakawa et al. (1997) onde, a partir do difratograma obtido calculou-se a área total (A_t), correspondente à integração da região abaixo da curva até o eixo das abcissas; e pelo traçado de uma linha base delimitando a separação da região cristalina e amorfa do difratograma, calculou-se a área da região amorfa (A_a). A diferença entre a área total e a área amorfa corresponde à área cristalina (A_c). Então, de acordo com a Equação 6, calculou-se o índice de cristalinidade (IC).

$$IC = \frac{A_c}{A_t} = \frac{A_c}{A_c + A_a} \quad (6)$$

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os experimentos foram realizados em triplicata com repetições independentes. Os dados são apresentados como média \pm desvio padrão de três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi realizado para identificar diferenças significativas entre os amidos obtidos. Médias com valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativas. Os dados foram analisados usando o software STATISTICA 13.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PROPRIEDADES DE PASTA

Os resultados para o perfil viscoamilográfico dos amidos nativos e após modificação por *annealing* a 40 e 60 °C são mostrados na Tabela 12 e ilustrados na Figura 16.

Tabela 12 - Resultados de perfil viscoamilográfico para amostras dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60).

| Amostras | Tratamentos | Viscosidade Máxima (cP) | Viscosidade Final (cP) | Temperatura de pasta (°C) |
|----------|-------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| CONT | NAT | 3978 | 3043 | 71,90 |
| | ANN 40 | 2100 | 1849 | 75,10 |
| | ANN 60 | 3414 | 2979 | 77,45 |
| Ca.E | NAT | 5701,5 | 5316,5 | 72,60 |
| | ANN 40 | 3188,5 | 5414 | 74,72 |
| | ANN 60 | 2861 | 6227,5 | 76,00 |
| C.E | NAT | 1732 | 3483 | 74,85 |
| | ANN 40 | 1681 | 2017 | 79,85 |
| | ANN 60 | 965 | 1848 | 83,00 |
| D.B | NAT | 4018 | 5674 | 72,50 |
| | ANN 40 | 3821 | 4387 | 75,70 |
| | ANN 60 | 1984 | 4977 | 79,12 |
| H.C | Nat | 2598 | 8521 | 79,25 |
| | ANN 40 | 2676 | 7089 | 80,88 |
| | ANN 60 | 1337 | 2787 | 87,48 |
| X.S | NAT | 1815 | 4057 | 79,15 |
| | ANN 40 | 2021 | 4200 | 80,00 |
| | ANN 60 | 887 | 2722 | 84,45 |

CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

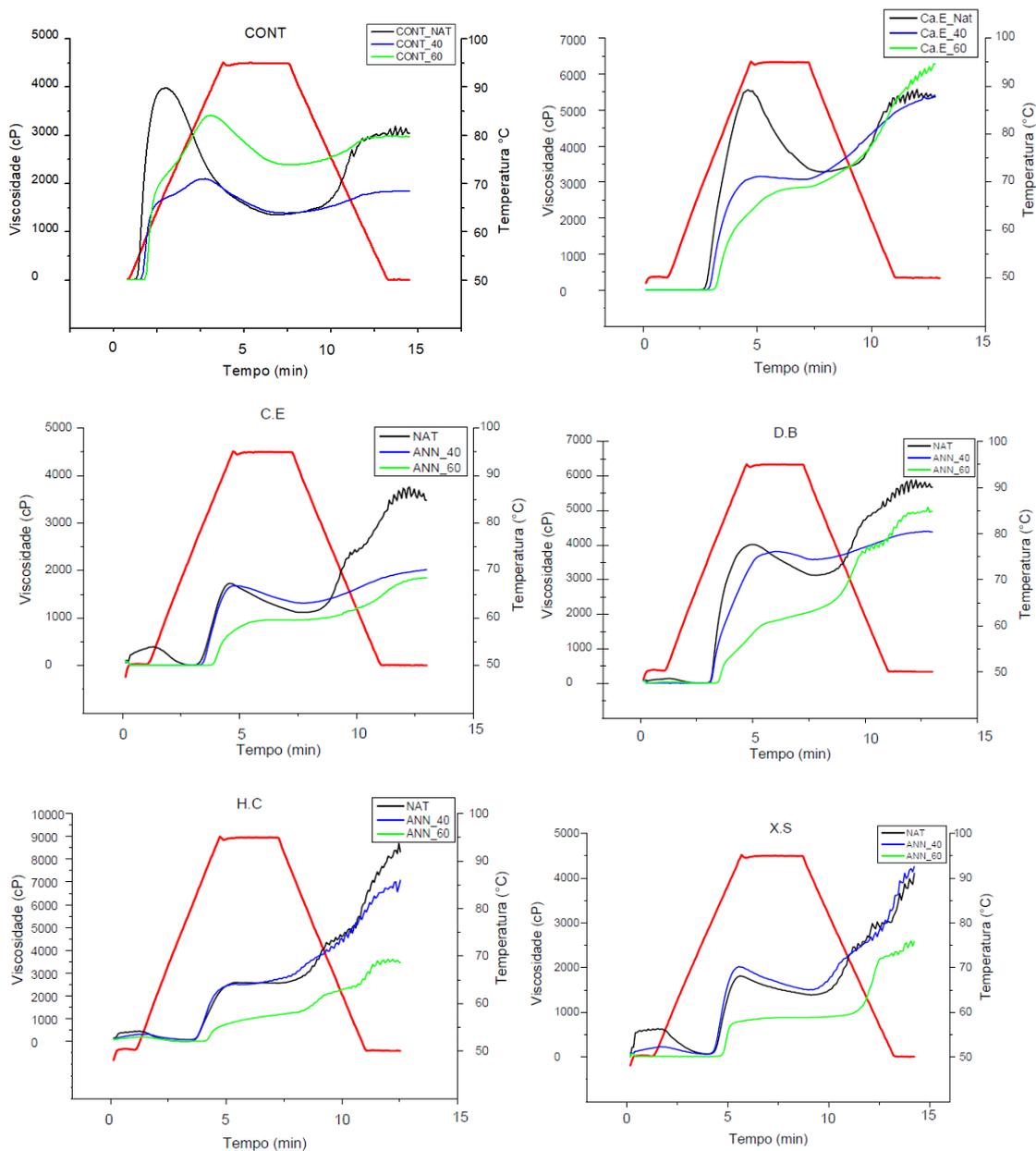
Os perfis de viscosidade registrados no analisador rápido de viscosidade (RVA) de todos os grupos amostrais (Figura 16), mostram que no início do aquecimento há um aumento na viscosidade ocasionado pelo inchamento dos grânulos de amido. Seguindo com o aquecimento gradual, ocorre a lixiviação dos polímeros de menor massa molar, principalmente a amilose, a qual ao deixar os grânulos é verificado um pico de viscosidade durante o empastamento, devido à grande parte dos grânulos estarem totalmente inchados. Na sequência, os grânulos começam a romper e a solubilização dos polímeros continua, então ocorre um alinhamento molecular, seguido da diminuição da viscosidade e após o resfriamento percebe-se um aumento da viscosidade devido inversão no domínio das forças atrativas que estabilizam a pasta, com a formação do gel (AI; JANE, 2015).

Perfis de gelatinização e empastamento dos grânulos de amido podem ser relacionados a uma série de fatores que incluem proporção e tipo de cristalinidade, tamanho, estrutura dos grânulos, distribuição de comprimento das cadeias ramificadas da amilopectina, bem como o teor de amilose, derivados de fosfatos-monoéster e lipídios presentes (WHISTLER; BEMILLER, 2009).

Além disso, os resultados dos parâmetros viscoamilográficos apresentados na Tabela 12 demonstram mudanças ocorridas devido a gelatinização do amido, como consequência do

seu aquecimento em excesso de água sob uma taxa de cisalhamento constante (HOOVER et al., 2010).

Figura 16 - Perfil viscoamilográfico dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C.



CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

Quanto a modificação física por *annealing*, de modo geral, os amidos modificados apresentaram redução na viscosidade máxima e viscosidade final, quando comparado aos

amidos nativos. No entanto, as temperaturas de pasta foram superiores para os amidos modificados.

O processo de modificação física favorece o aumento de áreas cristalinas, como resultado da reorientação das cadeias poliméricas dos grânulos de amido, principalmente da amilose, mas também das ramificações da amilopectina. O aumento das interações intragranulares limita a ligação das cadeias moleculares com a água, acarretando na redução do inchamento dos grânulos e conseqüentemente acarreta na redução das viscosidades máxima e final (SERRANO; FRANCO, 2005).

As temperaturas de pasta superiores que foram verificadas para todos os amidos modificados por *annealing*, podem ser justificadas devido à maior exigência de energia térmica, necessária para que ocorra a desintegração granular destes amidos, tendo em vista a influência do fortalecimento intragranular ocasionado pela modificação física (LAWAL; ADEBOWALE, 2005).

Amidos da mesma fonte botânica podem apresentar propriedades de pasta diferentes, dependendo da modificação a qual seja submetido. A presença de grânulos intactos ou parcialmente rompidos na pasta contribuem para o aumento da viscosidade máxima, como ocorre principalmente com amidos nativos, os quais resistem de forma mais efetiva ao estresse ocasionado pelo calor, quando comparado a amidos tratados termicamente (DENARDIN; SILVA, 2009).

As diferenças verificadas nos parâmetros do perfil viscoamilográfico, observados para as amostras nativas, possivelmente estão relacionadas as distribuições das cadeias de amilose/amilopectina e teor de amilose. Outros fatores exercem influência, como modificação genética a qual o cultivar vegetal é submetida, manejo agrônômico, práticas pós-colheita, sazonalidade, tipo de extração e processamento (SILVA et al., 2006).

O perfil viscoamilográfico dos grupos amostrais de amidos, comparados ao grupo controle (CONT-NAT, CONT-40 e CONT-60), indica a necessidade de explorar novos trabalhos, visando aplicações onde as características do amido de mandioca, tanto na forma nativa, como modificado por *annealing* sejam indesejadas ou insuficientes do ponto de vista tecnológico. Desta forma, é possível explorar os demais amidos utilizados no presente trabalho, em aplicações onde seja necessário maior temperatura de pasta e maior resistência ao aquecimento, com intuito de conferir consistência, como em molhos ou produtos para aquecer em forno microondas.

3.2 PROPRIEDADES FUNCIONAIS

3.2.1 Poder de inchamento

A Tabela 13 e Figura 17 ilustram os resultados para poder de inchamento dos amidos, na sua forma nativa e após modificação física por *annealing* a 40 e 60 °C.

Tabela 13 – Poder de inchamento (g 100g⁻¹) dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60).

| Amostras | Tratamentos | 55 °C | 65 °C | 75 °C | 85 °C | 95 °C |
|----------|-------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| CONT | NAT | 1,44±0,44 ^{d,e,f} | 4,29±0,40 ^{c,d,e} | 19,77±0,26 ^a | 18,73±1,27 ^a | 16,88±0,21 ^{a,b,c} |
| | ANN 40 | 1,34±0,42 ^{e,f} | 3,76±0,47 ^{d,e} | 15,64±1,15 ^b | 14,11±0,42 ^{c,d,e} | 16,08±1,57 ^{a,b,c,d} |
| | ANN 60 | 1,33±0,16 ^{e,f} | 3,26±0,08 ^{e,f} | 14,67±0,22 ^{b,c} | 12,54±0,01 ^{d,e,f} | 13,94±0,44 ^{c,d,e,f} |
| Ca.E | NAT | 3,36±0,14 ^a | 6,32±0,27 ^a | 13,75±0,14 ^{b,c,d} | 16,47±0,43 ^{a,b,c} | 17,26±1,15 ^{a,b,c} |
| | ANN 40 | 2,50±0,11 ^b | 6,04±0,21 ^a | 11,98±0,56 ^{d,e,f} | 16,04±1,58 ^{a,b,c} | 14,14±0,03 ^{c,d,e,f} |
| | ANN 60 | 1,95±0,35 ^{b,c,d,e} | 5,97±0,54 ^{a,b} | 9,77±0,11 ^{f,g} | 9,86±0,78 ^{f,g} | 8,72±0,04 ^h |
| C.E | NAT | 2,14±0,20 ^{b,c,d} | 5,41±0,01 ^{a,b,c} | 10,66±0,11 ^{e,f,g} | 15,35±0,13 ^{b,c,d} | 16,86±0,07 ^{a,b,c} |
| | ANN 40 | 2,16±0,04 ^{b,c,d,e} | 4,09±0,02 ^{d,e} | 8,92±0,01 ^{g,h} | 11,74±0,22 ^{e,f,g} | 15,69±1,32 ^{b,c,d,e} |
| | ANN 60 | 2,23±0,01 ^{b,c} | 4,06±0,03 ^{d,e} | 8,48±0,34 ^{g,h,i} | 11,72±0,80 ^{e,f,g} | 13,76±0,01 ^{c,d,e,f,g} |
| D.B | Nat | 2,18±0,45 ^{b,c,d} | 4,77±0,31 ^{b,c,d} | 14,83±1,43 ^{b,c} | 17,21±1,16 ^{a,b} | 17,00±1,21 ^{a,b,c} |
| | ANN 40 | 2,20±0,12 ^{b,c,d} | 3,73±0,08 ^{d,e} | 11,95±0,54 ^{d,e,f} | 16,91±0,47 ^{a,b,c} | 16,21±2,63 ^{a,b,c,d} |
| | ANN 60 | 2,14±0,10 ^{b,c,d} | 3,91±0,03 ^{d,e} | 8,54±0,09 ^{g,h,i} | 11,29±0,20 ^{e,f,g} | 13,57±0,48 ^{c,d,e,f,g} |
| H.C | NAT | 2,04±0,24 ^{b,c,d,e} | 3,26±0,25 ^{e,f} | 9,72±0,39 ^{f,g} | 9,20±0,30 ^{f,g} | 11,88±0,42 ^{e,f,g,h} |
| | ANN 40 | 1,98±0,05 ^{b,c,d,e} | 3,74±0,04 ^{d,e} | 6,18±0,30 ^j | 10,98±0,38 ^{f,g} | 12,49±0,79 ^{d,e,f,g,h} |
| | ANN 60 | 1,72±0,36 ^{c,d,e,f} | 2,39±0,10 ^f | 6,97±1,20 ^{h,i} | 6,49±0,17 ^h | 9,94±0,01 ^{g,h} |
| X.S | NAT | 1,03±0,17 ^f | 4,60±0,75 ^{c,d} | 13,05±0,49 ^{c,d,e} | 15,67±1,31 ^{b,c} | 19,73±1,06 ^a |
| | ANN 40 | 1,08±0,24 ^f | 4,64±0,43 ^{c,d} | 6,08±0,66 ⁱ | 15,83±0,17 ^{a,b,c} | 18,37±0,57 ^{a,b} |
| | ANN 60 | 1,77±0,06 ^{b,c,d,e,f} | 4,23±0,23 ^{c,d,e} | 8,50±0,89 ^{g,h,i} | 9,37±0,61 ^{f,g} | 11,35±0,37 ^{f,g,h} |

Média± Desvio padrão seguidos de letra igual em uma mesma coluna não tem diferença significativa pelo teste de Tukey (p≤0,05). CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

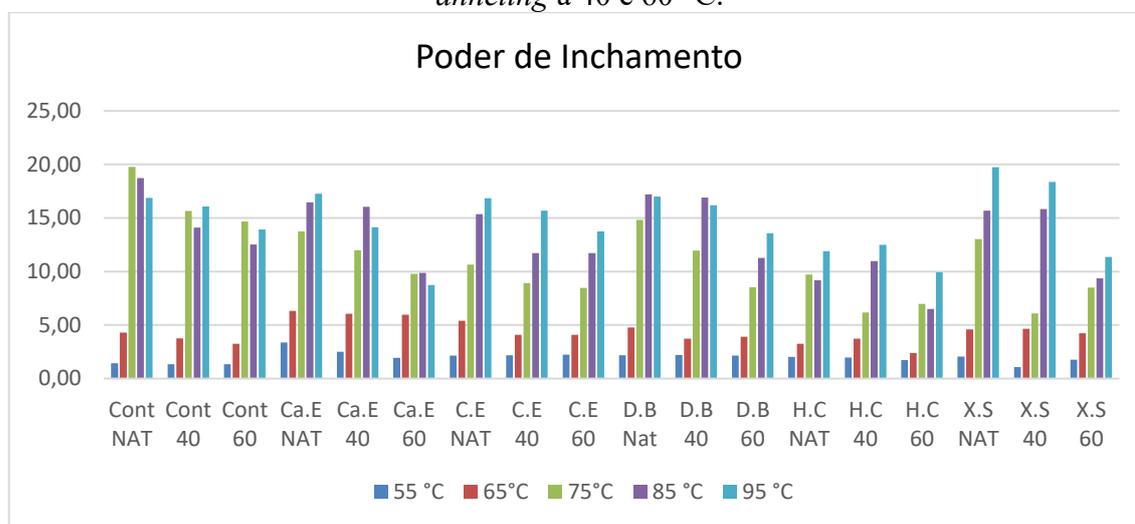
De modo geral, é possível observar que o *annealing* reduziu o poder de inchamento de todas as amostras. O tratamento hidrotérmico por *annealing* promove a reorganização da estrutura granular dos amidos e o aumento das interações entre as camadas amorfas e cristalinas, reduzindo o poder de inchamento e a lixiviação da amilose.

O percentual de amilose e amilopectina do grânulo irá influenciar no inchamento e formação do gel. Amidos com alto percentual de amilopectina têm seus grânulos aumentados e

inchados, mas não formam gel, mas sim, uma solução altamente viscosa e, ao contrário da amilose, não tem tendência a retrogradação. Quanto maior o percentual de amilopectina, mais viscosa será a pasta de amido e quanto maior o teor de amilose, mais forte será o gel (BELITZ; GROSH, 1997; VACLAVIK; CHRISTIAN, 2008).

O inchamento do grânulo de amido e sua desintegração em aquecimento prolongado levam ao aumento da viscosidade e a mudanças em propriedades reológicas da pasta, que são características particulares de cada tipo de amido (WURZBURG, 1986).

Figura 17 - Poder de inchamento ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$) dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C.



CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

Os resultados indicam uma influência da temperatura no poder de inchamento. Este fenômeno fica mais evidente na temperatura de 95 °C, onde verificou-se uma redução significativa para as amostras modificadas. Este fato pode estar relacionado a maior vibração das moléculas do grânulo de amido sob altas temperaturas, o que causa o rompimento das ligações intermoleculares e permite que os sítios de ligação liberados possam realizar ligações de pontes de hidrogênio com as moléculas da água (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Nas temperaturas mais brandas (55 e 65 °C) o grupo amostral Ca.E apresentou poder de inchamento mais elevado, enquanto o grupo amostral CONT apresentou alguns dos menores valores de poder de inchamento. O elevado grau de pureza do amido CONT, verificado na análise de amido total ($90,55 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), pode ter influenciado diretamente no reduzido poder de inchamento à baixas temperaturas. A baixa quantidade de resíduos provenientes da extração (ex: proteínas e fibras totais), condiciona a ligação da água apenas às hidroxilas presentes nos monômeros de glicose que compõem as cadeias poliméricas que formam os grânulos, que por

sua vez se ligam de forma limitada devido à baixa capacidade de ligação do amido com água fria.

Em temperatura intermediária (75 °C) a amostra CONT-NAT apresentou os maiores resultados para este parâmetro. Já nas temperaturas mais elevadas, a amostra CONT-NAT apresentou o maior resultado para a temperatura de 85 °C, enquanto a amostra X.S-NAT apresentou os maiores resultados para a temperatura de 95 °C.

Também é possível verificar que as amostras que apresentaram maiores teores de amilose (amostra Ca.E: 40,87 g 100 g⁻¹ e amostra C.E: 30,13 g 100 g⁻¹) apresentaram reduções acentuadas no poder de inchamento nas temperaturas mais elevadas. A amostra Ca.E-60 apresentou uma redução de 50,52% no poder de inchamento na maior temperatura utilizada na análise (95 °C), quando comparado a amostra Ca.E-NAT.

A influência da modificação física por *annealing* na redução do inchamento granular também foi percebida por Nakazawa e Wang (2004), que constataram este efeito em amido de mandioca e atribuem o fenômeno a uma série de fatores, dos quais os mais importantes são o aumento das forças de ligação intragranulares, que resultam em maior perfeição cristalina, formação do complexo V-amilose-lipídio e, como consequência, ocorre a redução da hidratação dos grânulos,

As moléculas de água adsorvidas pelas macromoléculas que compõem o amido são denominadas “água ligada” e revelam a habilidade de uma superfície molecular em formar ligações fracas, não covalentes, com a água. O percentual de água ligada, oclusa nos grânulos de amido, influencia nas características de expansão dos mesmos (STEPHEN; PHILLIPS, 2016).

3.2.2 Solubilidade

A Tabela 14 e a Figura 18 ilustram os resultados para solubilidade dos amidos, na sua forma nativa e após modificação física por *annealing* à 40 e 60 °C.

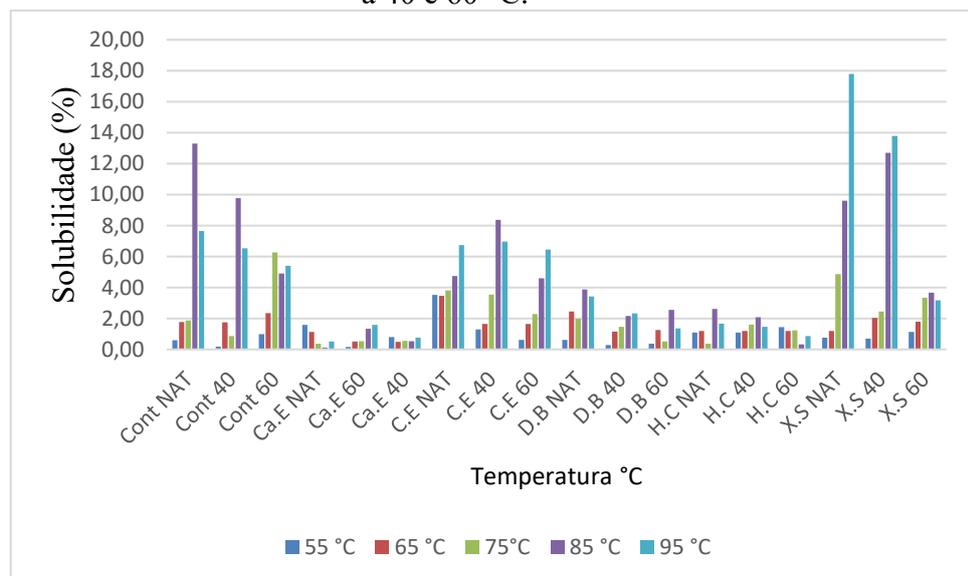
De modo geral todos os amidos apresentaram aumento gradual da solubilidade de forma proporcional ao aumento da temperatura utilizada no experimento. No entanto, uma redução significativa da solubilidade das amostras modificadas por *annealing* em todas as temperaturas investigadas também foi verificado.

Tabela 14- Resultados de solubilidade (%) dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60).

| Amostras | Tratamentos | 55 °C | 65 °C | 75 °C | 85 °C | 95 °C |
|----------|-------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| CONT | NAT | 0,59±0,07 ^g | 1,77±0,06 ^{b,c} | 1,86±0,04 ^f | 13,30±0,46 ^a | 7,64±0,16 ^c |
| | ANN 40 | 0,18±0,04 ⁱ | 1,76±0,02 ^{b,c} | 0,86±0,03 ^h | 9,78±0,29 ^{b,c} | 6,54±0,51 ^{c,d} |
| | ANN 60 | 0,98±0,01 ^{d,e} | 2,35±0,06 ^b | 6,27±0,4 ^a | 4,89±0,13 ^{d,e} | 5,41±0,35 ^{c,d,e} |
| Ca.E | NAT | 0,29±0,02 ^{b,c} | 1,12±0,01 ^{e,f} | 0,56±0,01 ^{i,j} | 1,33±0,08 ^k | 0,51±0,43 ^k |
| | ANN 40 | 0,15±0,01 ⁱ | 0,52±0,04 ^g | 0,53±0,02 ⁱ | 0,53±0,03 ⁱ | 1,58±0,11 ^{g,h} |
| | ANN 60 | 0,42±0,01 ^e | 0,50±0,01 ^g | 0,36±0,04 ⁱ | 0,12±0,01 ^j | 0,75±0,07 ^{j,k} |
| C.E | NAT | 3,52±0,32 ^a | 3,45±0,11 ^a | 3,81±0,06 ^c | 8,38±0,26 ^c | 6,73±0,04 ^{c,d} |
| | ANN 40 | 1,30±0,09 ^c | 1,64±0,09 ^c | 3,55±0,23 ^{c,d} | 4,74±0,51 ^c | 6,97±0,26 ^{c,d} |
| | ANN 60 | 0,61±0,01 ^{f,g} | 1,63±0,05 ^c | 2,28±0,18 ^{d,e,f} | 4,60±0,21 ^{d,e,f} | 6,45±0,47 ^{c,d} |
| D.B | NAT | 0,62±0,03 ^{b,c} | 2,45±0,02 ^e | 1,98±0,02 ^{i,j} | 3,88±0,15 ^f | 3,43±0,05 ^{d,e} |
| | ANN 40 | 0,28±0,01 ^h | 1,15±0,09 ^a | 1,45±0,01 ^j | 2,17±0,04 ^h | 2,33±0,08 ⁱ |
| | ANN 60 | 0,36±0,04 ^b | 1,26±0,02 ^{c,d} | 0,52±0,05 ^{h,i} | 2,55±0,40 ^h | 1,36±0,29 ^{d,e} |
| H.C | NAT | 1,09±0,02 ^{c,d} | 1,20±0,04 ^d | 0,37±0,02 ^{i,j} | 2,61±0,08 ^g | 1,66±0,05 ^g |
| | ANN 40 | 1,09±0,01 ^{c,d} | 1,20±0,08 ^d | 1,61±0,08 ^{f,g} | 2,07±0,05 ^{h,i} | 1,45±0,09 ^{g,h,i} |
| | ANN 60 | 1,43±0,06 ^{b,c} | 1,19±0,04 ^{d,e} | 1,23±0,04 ^{g,h} | 0,32±0,06 ^{j,k} | 0,85±0,04 ^j |
| X.S | NAT | 0,75±0,01 ^{e,f} | 1,32±0,01 ^{c,d} | 4,87±0,35 ^{a,b} | 9,60±0,33 ^{b,c} | 17,79±0,6 ^a |
| | ANN 40 | 0,71±0,02 ^{e,f} | 2,04±0,05 ^b | 2,45±0,06 ^{d,e} | 12,70±0,61 ^{a,b} | 13,79±0,7 ^b |
| | ANN 60 | 1,13±0,02 ^{c,d} | 1,80±0,07 ^{b,c} | 3,34±0,03 ^d | 3,67±0,04 ^{f,g} | 3,17±0,45 ^{d,e,f} |

Média± Desvio padrão seguidos de letra igual em uma mesma coluna não tem diferença significativa pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

Figura 18 - Índice de solubilidade (%) dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C.



Nas temperaturas mais brandas (55 e 65 °C) a amostra C.E-NAT apresentou poder de inchamento mais elevado, enquanto as amostras Ca.E-40 e Ca.E-60 apresentaram os menores percentuais para solubilidade.

Na temperatura intermediária (75 °C) as amostras CONT-60 e X.S-NAT apresentaram os maiores resultados para este parâmetro. Já nas temperaturas mais elevadas, as amostras CONT-NAT e X.S-40 apresentaram os maiores resultados para a temperatura de 85 °C, enquanto a amostra X.S-NAT apresentou os maiores resultados para a temperatura de 95 °C).

De modo geral, o amido é praticamente insolúvel em água fria, no entanto a solubilidade é aumentada conforme ocorre a elevação da temperatura, mas varia de acordo com a pureza, origem botânica e grau de desenvolvimento de cada amido (WHISTLER; BEMILLER; PASCHALL, 2012).

A redução dos valores de solubilidade para as amostras modificadas fisicamente por *annealing* na temperatura de 95 °C expõe a intensidade de modificação da estrutura granular. A recristalização ocasionada após tratamento térmico, permite um maior ordenamento estrutural, que resulta em maior força de atração intramolecular e a consequente permanência da água oclusa no interior do grânulo.

A característica de menor solubilidade verificado para o grupo amostral Ca.E na temperatura de 95 °C, sugere a aplicação dessa amostra para fins industriais que demandem propriedades espessantes. O grânulo de amido da *C. edulis* é considerado um dos maiores grânulos de amido encontrados na natureza. Essa característica propicia êxito em sua aplicação em alimentos processados e suas características são potencializadas com o tratamento térmico.

De forma contrária aos demais resultados, a amostra CONT-60 apresentou a maior solubilidade à 75 °C, no entanto nas temperaturas mais elevadas (85 e 95 °C), as amostras modificadas fisicamente (CONT-40 e CONT-60) seguiram o padrão, com valores inferiores à amostra nativa (CONT-NAT). Devido à modificação física ocorrer acima da temperatura de transição vítrea, mas abaixo da temperatura de pasta, é possível que ocorra o rompimento parcial da estrutura granular, reduzindo a capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, aumentando a solubilidade, situação a qual pode ter ocorrido e influenciado na solubilidade da amostra CONT-60 à 75 °C.

3.2.3 Sinérese

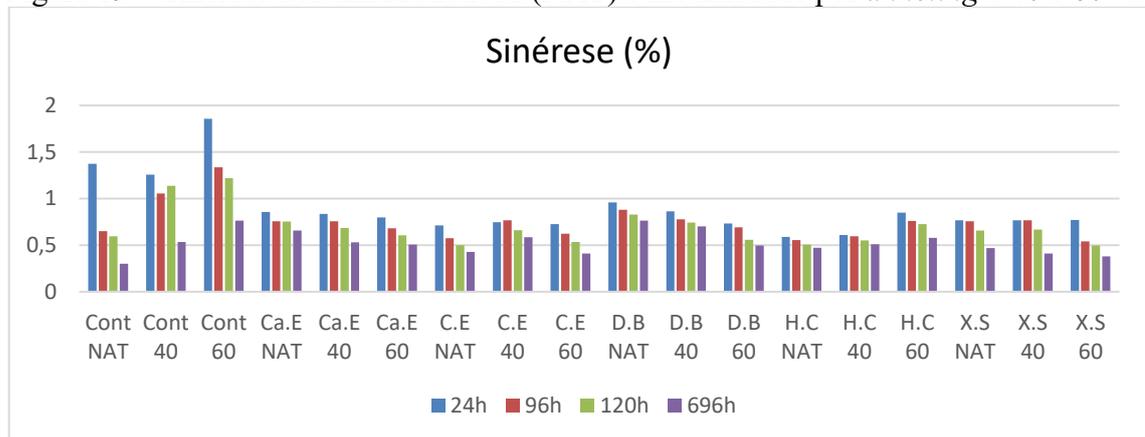
Os resultados de sinérese para amidos nativos e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C são apresentados na Tabela 15, e ilustrados na Figura 19.

Tabela 15 – Sinerese dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60).

| Amostras | Tratamentos | TEMPO DE SINESESE (h) | | | |
|----------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 24 | 96 | 120 | 696 |
| CONT | NAT | 1,38±0,09 ^b | 0,65±0,02 ^{d,e} | 0,60±0,08 ^{c,d} | 0,30±0,01 ^e |
| | ANN 40 | 1,26±0,09 ^{b,c} | 1,05±0,09 ^b | 1,14±0,09 ^a | 0,53±0,09 ^{b,c} |
| | ANN 60 | 1,86±0,09 ^a | 1,34±0,01 ^a | 1,22±0,01 ^a | 0,76±0,09 ^a |
| Ca.E | NAT | 0,86±0,04 ^{c,d} | 0,76±0,01 ^{c,d} | 0,75±0,01 ^b | 0,66±0,04 ^{a,b} |
| | ANN 40 | 0,84±0,01 ^d | 0,76±0,06 ^{c,d} | 0,68±0,02 ^c | 0,53±0,01 ^c |
| | ANN 60 | 0,80±0,08 ^d | 0,68±0,06 ^d | 0,61±0,05 ^{c,d} | 0,51±0,09 ^c |
| C.E | NAT | 0,71±0,09 ^{d,e} | 0,57±0,03 ^f | 0,50±0,02 ^e | 0,43±0,06 ^d |
| | ANN 40 | 0,75±0,03 ^d | 0,77±0,03 ^c | 0,66±0,09 ^c | 0,59±0,09 ^{b,c} |
| | ANN 60 | 0,73±0,09 ^d | 0,62±0,01 ^e | 0,54±0,05 ^e | 0,41±0,03 ^d |
| D.B | NAT | 0,96±0,09 ^c | 0,88±0,09 ^{b,c} | 0,83±0,09 ^b | 0,77±0,09 ^a |
| | ANN 40 | 0,86±0,08 ^{c,d} | 0,78±0,09 ^c | 0,74±0,09 ^{b,c} | 0,70±0,09 ^b |
| | ANN 60 | 0,73±0,03 ^d | 0,69±0,01 ^d | 0,56±0,09 ^{d,e} | 0,50±0,01 ^c |
| H.C | NAT | 0,59±0,06 ^{e,f} | 0,56±0,01 ^f | 0,51±0,02 ^e | 0,47±0,05 ^{c,d} |
| | ANN 40 | 0,61±0,08 ^{e,f} | 0,60±0,06 ^{e,f} | 0,55±0,04 ^e | 0,51±0,01 ^c |
| | ANN 60 | 0,85±0,06 ^{c,d} | 0,76±0,09 ^{c,d} | 0,73±0,09 ^c | 0,58±0,09 ^{b,c} |
| X.S | NAT | 0,77±0,09 ^d | 0,76±0,09 ^{c,d} | 0,66±0,09 ^{c,d} | 0,47±0,09 ^{c,d} |
| | ANN 40 | 0,77±0,01 ^d | 0,77±0,01 ^c | 0,67±0,09 ^{c,d} | 0,41±0,04 ^d |
| | ANN 60 | 0,77±0,03 ^d | 0,54±0,02 ^f | 0,50±0,03 ^e | 0,38±0,01 ^d |

CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

Figura 19 – Sinerese dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C.



CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

Os resultados de sinerese apresentaram variação entre as amostras e em relação ao tempo de aferição. De modo geral todas as amostras apresentaram maiores valores de sinérese nas primeiras 24 horas e após isso, os valores foram decrescendo de forma proporcional ao passar do tempo.

Após a fase de gelatinização e formação de pasta, com o passar do tempo ocorre, à temperatura ambiente, ou em baixas temperaturas, uma inversão no domínio das forças atrativas que estabilizam a pasta, que até então tem a água na fase contínua (matriz) e forma-se o gel, o qual passa a ser a fase contínua e a água por sua vez torna-se a fase dispersa.

Os maiores percentuais encontrados para sinérese foram verificados para o grupo amostral CONT, nas primeiras 24 horas. A amostra CONT-60 apresentou o maior percentual de sinérese, dentre todas as amostras em todos os períodos avaliados e este resultado possivelmente está relacionado a severidade da modificação física por *annealing*, que pode ter acarretado na degradação parcial dos grânulos de amido, comprometendo a capacidade de retenção de água.

A amostra CONT-40 apresentou percentual de sinérese inferior ao verificado para a amostra CONT-NAT, situação a qual pode estar relacionado ao efeito positivo da modificação física por *annealing*, cuja temperatura utilizada (40 °C) na modificação, possa ter permitido a reorganização intragranular, assim como verificado para a análise de poder de inchamento e solubilidade.

Wang et al. (2017) relatam que a modificação de amidos por *annealing* costuma retardar a sinérese de géis e permite o armazenamento dos mesmos por maior período.

Com exceção dos grupos amostrais CONT e H.C, os demais grupos apresentaram redução do percentual de sinérese para os amidos modificados por *annealing*, no tempo final da análise (696 h). A presença de conteúdo não amiláceo verificado para a amostra H.C pode ter influenciado de forma negativa no perfil de sinérese, assim como a modificação física a 60 °C, como mencionado anteriormente pode ter influenciado no aumento da sinérese da amostra CONT-60.

3.2.4 Claridade de pasta

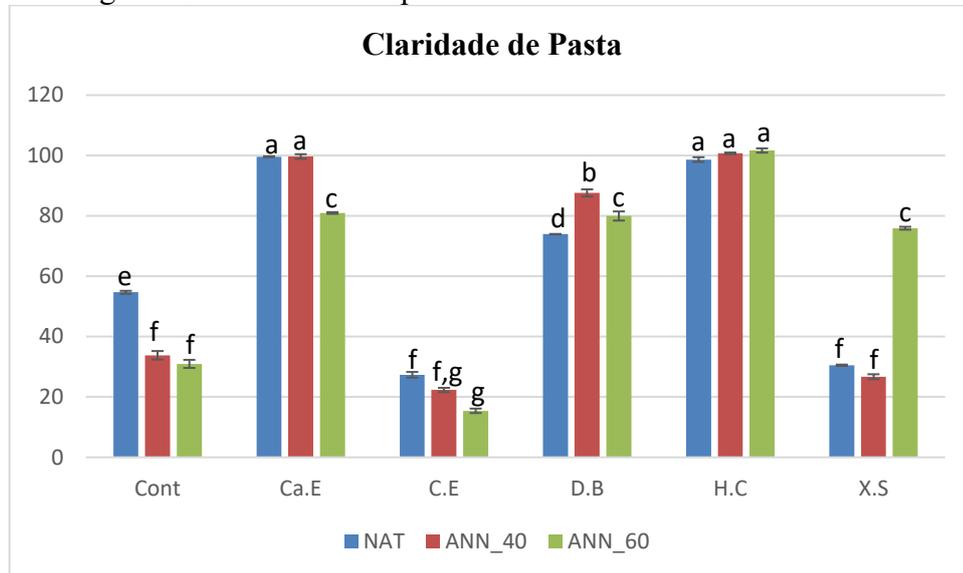
Na Figura 20 os resultados de claridade de pasta para os amidos nativos e modificados são apresentados.

O resultado de claridade de pasta está condicionado às características intrínsecas dos grânulos de amido. Fatores como composição química (principalmente: minerais, lipídios e proteínas), tamanho de grânulos e proporção de amilose/amilopectina, são os principais responsáveis por essa propriedade funcional (DEEPIKA; JAYARAM KUMAR; ANIMA, 2013).

Grânulos grandes costumam produzir pastas opacas, com baixa claridade, assim como verificado nos grupos amostrais Ca.E, D.B e H.C. A difusão do calor pelo interior do grânulo,

ocorre em cinética oposta a grânulos pequenos, sendo necessário maior tempo para que a mesma energia térmica atinja o centro de grânulos grandes.

Figura 20 – Claridade de pasta dos amidos nativos e modificados



Fonte: próprio autor

O amido de *C. edulis* é conhecido por produzir pastas claras, sendo apreciado na produção de *muddles*, em substituição ao amido de arroz e doces e sobremesas instantâneas em países da América Central, como Colômbia e Peru e em países da Ásia como China e Vietnã (THITIPRAPHUNKUL et al., 2003a; CACERES et al., 2021)

Quanto maior a superfície de contato (diâmetro) dos grânulos, maior é a limitação física imposta sobre a água para que ocorra a hidratação das regiões amorfas e a fusão de áreas cristalinas. Com isso, durante a formação de pasta, é possível que não ocorra o rompimento e fusão total dos grânulos, permanecendo parte da birrefringência que confere opacidade e baixa claridade, assim como foi verificado para as amostras Ca.E-NAT e Ca.E-40.

As amostras Ca.E-NAT e Ca.E-40 não diferiram ($p > 0,05$) para esse parâmetro, demonstrando que as condições aplicadas ao tratamento térmico na amostra Ca.E-40 não resultaram em alteração da estrutura nativa dos grânulos de amido e possivelmente tenha ocorrido uma taxa de fusão similar para ambas as amostras.

A amostra Ca.E-60 apresentou o menor resultado para claridade de pasta dentre as amostras do grupo amostral Ca.E e tal resultado possivelmente pode estar relacionado à efetividade da modificação física, que possivelmente potencializou o processo de fusão e recristalização das cadeias poliméricas, principalmente da amilose, mas também das ramificações da amilopectina. O rearranjo molecular ocasionado com a modificação, pode ter

contribuído para uma maior ordenação das cadeias poliméricas, resultando na compactação das áreas cristalinas e a consequente redução da opacidade (WANG et al., 2015).

3.2.5 Capacidade de absorção de água e óleo

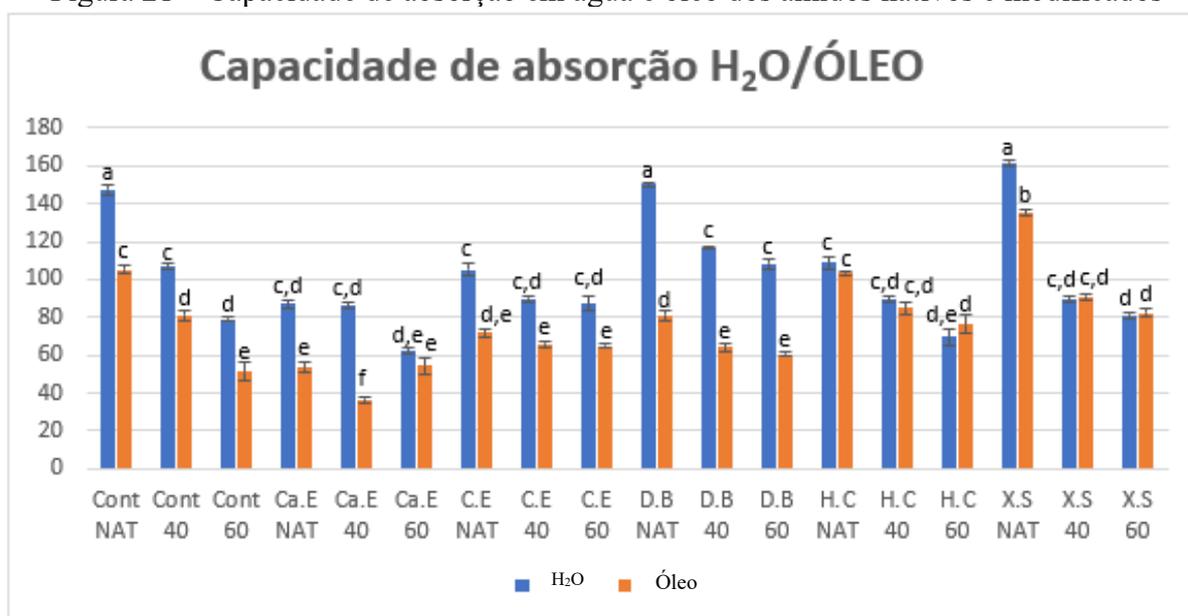
A Figura 21 apresenta a capacidade de absorção de água e óleo dos amidos nativos e modificados por *annealing*. Os valores são expressos como g 100 g⁻¹.

A partir dos dados obtidos, percebe-se que a tendência hidrofílica, traduzida pela capacidade de absorção de água, reduziu de forma significativa em todas as amostras modificadas por *annealing*, em ambas temperaturas.

A capacidade de absorção de água está relacionada à disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel e das moléculas de amido (COLLONA; LELOUP; BULÉON, 1992).

Os resultados obtidos possivelmente estão relacionados ao rearranjo molecular, principalmente da amilose, ocasionado pela modificação física por *annealing*. A modificação promove o reforço das ligações intermoleculares, com formação de duplas hélices, que permitem uma maior perfeição cristalina, aumentando a estabilidade granular e consequentemente reduzindo a disponibilidade de grupos hidroxila para ligar com a água.

Figura 21 – Capacidade de absorção em água e óleo dos amidos nativos e modificados



Fonte: próprio autor

Para absorção de óleo também foi observado redução significativa para todas as amostras modificadas fisicamente por *annealing*, em ambas temperaturas.

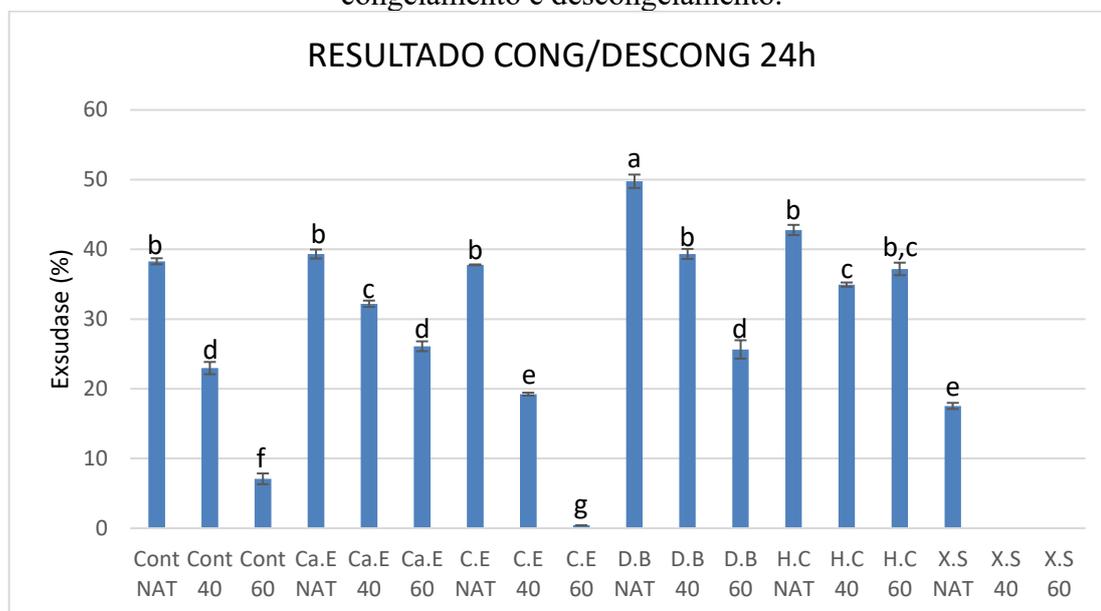
A habilidade do amido em absorver óleo, está relacionada à capacidade de aprisionamento físico de estruturas químicas apolares no interior do grânulo de amido. A complexação do óleo ocorre principalmente no interior da amilose e apresenta arquitetura condensada em forma de hélice, onde no centro da hélice se depositam os radicais hidrofóbicos (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

O menor resultado de absorção de óleo, observado para a amostra Ca.E-40, pode estar relacionado ao elevado conteúdo de amilose presente na amostra, uma vez que a amilose é considerada o principal componente envolvido na produção da estrutura de rede densa. A modificação física por *annealing* promove um aumento no número de ligações amilose-amilose reduzindo a possibilidade de inserção de óleo no interior das duplas hélices da macromoléculas de amilose (LII; TSAI; TSENG, 1996).

3.2.6 Resistência a ciclos de congelamento e descongelamento

A Figura 22 ilustra o percentual de liberação de água das pastas dos amidos nativos e modificados por *annealing*, após 24 h de congelamento e posterior descongelamento. Os valores são expressos como percentagem de água liberada em relação à massa inicial das pastas.

Figura 22 – Percentual de liberação de água dos amidos nativos e modificados após congelamento e descongelamento.



Fonte: próprio autor

Sabe-se que para a inserção eficiente de amidos em formulações de produtos alimentícios congelados ou resfriados é necessário a investigação da sua estabilidade a ciclos de congelamento e descongelamento.

Desta forma, visando o sucesso da incorporação de amido nas formulações é desejável que o produto não perca água ao descongelar, de forma a manter a textura e atributos sensoriais. Além disso, durante o armazenamento, a liberação de água está relacionada à deterioração e redução da qualidade dos produtos.

Nos amidos, durante o congelamento ocorre a nucleação e cristalização da água oclusa no interior dos grânulos. Assim, durante o descongelamento essa água cujas ligações de hidrogênio são fracas, tendem a migrar para fora da estrutura do gel.

Os resultados obtidos mostram que a modificação física por *annealing* reduziu significativamente ($p < 0,05$) a quantidade de água liberada ao descongelar em todas as amostras tratadas a 40 °C, e de forma mais acentuada, nas amostras tratadas a 60 °C, quando comparadas às amostras na forma nativa.

A redução na percentagem de exsudato para os amidos modificados por *annealing* pode estar, possivelmente, relacionada ao fato de que o tratamento hidrotérmico reduz a taxa de retrogradação do amido, que permitiu que as moléculas de água ligassem e ficassem presas na estrutura cristalina da amilose-amilopectina, dificultando a expulsão da água.

Outro fato relevante é que a percentagem de água liberada diminuiu com o aumento da temperatura utilizada na modificação por *annealing*, ou seja, na condição em que foi utilizada a temperatura de 60 °C ocorreram reduções significativas na liberação de água dos géis de amido.

Comparando as amostras, verifica-se que no grupo de amostras controle, a amostra CONT-60 apresentou redução superior a 5 vezes comparada a amostra CONT-NAT, para o percentual de liberação de água ao término do ciclo de 24h de congelamento e posterior descongelamento.

As amostras C.E-60 e X.S-40 e X.S-60 merecem destaque devido ao excelente desempenho quanto à estabilidade ao ciclo de congelamento e posterior descongelamento.

Enquanto a amostra C.E-60 apresentou o menor valor (0,42%) dentre as amostras que liberaram água, as amostras X.S-40 e X.S-60 não apresentaram liberação de água após o descongelamento. Portanto, estes amidos podem ser utilizados com absoluto sucesso em aplicações onde a estabilidade ao congelamento e descongelamento sejam necessários.

A ausência de liberação de água após o ciclo de congelamento/descongelamento verificada para essas amostras (X.S-40 e X.S-60) possivelmente pode estar relacionado ao

pequeno tamanho dos grânulos desses amidos, como foi verificado na análise de microscopia eletrônica. Grânulos pequenos podem aprisionar menores quantidades de água por unidade granular e com o processo de modificação as ligações hidroxila que poderiam reter mais água podem ter sido expostas durante o arranjo das cadeias de amilose-amilopectina e impediram a liberação de água.

3.3 ESTRUTURA DOS GRÂNULOS

3.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O tamanho e a forma dos grânulos de amido variam de acordo com a espécie vegetal. A distribuição de tamanho está relacionada com o estágio de desenvolvimento da planta e forma como é depositada nos órgãos de reserva (AMANTE, 1986).

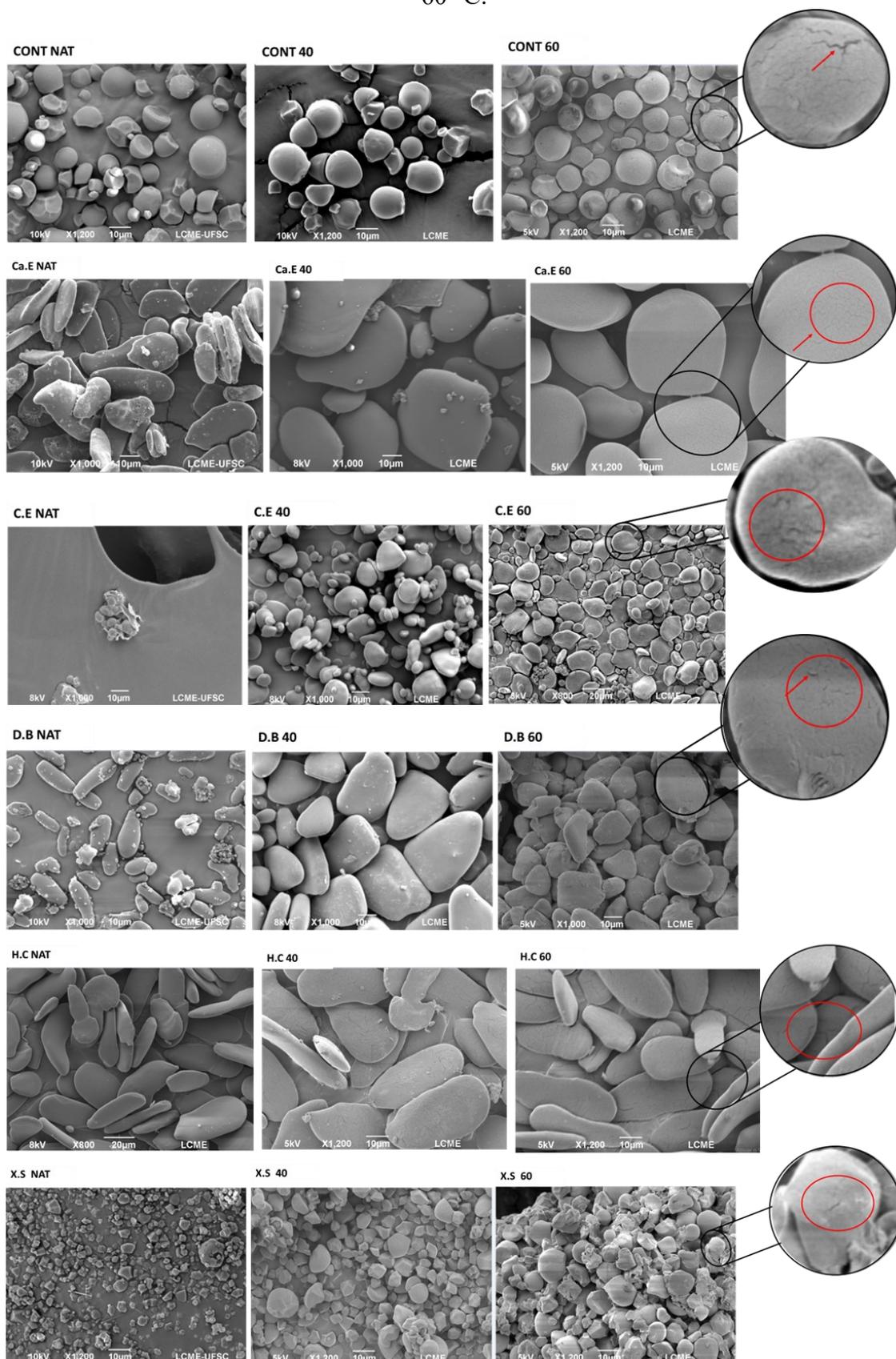
De acordo com Tester (2016) as dimensões dos grânulos de amido influenciam diretamente a taxa de digestão enzimática, principalmente no que diz respeito à hidrólise pelas enzimas amilases. Embora grânulos grandes apresentem maior superfície de contato por unidade, grânulos pequenos oferecem grande área de superfície em razão do superior número de unidades. Essa grande área de superfície fornece um local mais acessível para as enzimas se ligarem e, portanto, promove a hidrólise dependente do tamanho.

As características morfológicas dos grânulos de amido são aspectos importantes, que devem ser levados em consideração na escolha das aplicações tecnológicas. Produtos alimentícios processados que utilizam amido na composição, como molhos prontos e derivados lácteos, necessitam uniformidade quanto à forma e tamanho dos grânulos utilizados, visando obter textura uniforme e coesão nas formulações (WURZBURG, 1986).

As micrografias obtidas por MEV dos grânulos dos amidos nativos de mandioca (CONT), *C. edulis* (Ca.E), *C. esculentus* (C.E), *D. bulbifera* (D.B), *H. coronarium* (H.C) e *X. sagittifolium* (X.S) estão apresentados na Figura 23.

A microscopia eletrônica de varredura revelou características distintas para os amidos analisados, com formas e distribuição de tamanho de grânulos variados.

Figura 23 - Micrografias dos amidos nativos (NAT) e após modificação por annealing a 40 e 60 °C.



CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

Como pode ser visualizado na Tabela 16, o conjunto amostral Ca.E (Ca.E-NAT, Ca.E-40 e Ca.E-60) apresentaram os maiores grânulos dentre as amostras investigadas. De acordo com Caceres et al. (2021), os grânulos desta cultivar estão entre os maiores encontrados na natureza.

Originária de regiões andinas, poucos são os relatos de cultivo e caracterização morfológica do amido de *C. edulis* em regiões de baixa altitude. No entanto, foi possível constatar similaridade no diâmetro médio dos amidos desta matriz (Ca.E-NAT) cultivada em Florianópolis/SC/Brasil ($34,73 \pm 8,75 \mu\text{m}$), quando comparado a amido da mesma espécie, cultivada na Colômbia ($34,69 \pm 12,38 \mu\text{m}$) (CISNEROS; ZEVILLANOS; CISNEROS-ZEVALLOS, 2009), sugerindo bom desenvolvimento e adaptação dessa cultivar em região tropical a nível do mar.

Srichuwong et al. (2005) observaram $38,7 \pm 30,2 \mu\text{m}$ como valor médio de diâmetro de grânulo de amido de *C. edulis* cultivado na Indonésia. Valor este também similar ao encontrado para amido da mesma espécie neste trabalho.

Os menores valores de diâmetro médio de grânulos, dentre os amidos investigados no presente trabalho foram encontrados no grupo de amostras de X.S (X.S-NAT, X.S-40 e X.S-60).

Amidos com grânulos pequenos podem apresentar resultados mais adequados do ponto de vista tecnológico quando utilizados como substitutos de gordura, devido à similaridade de tamanho frente às gotículas de lipídios (ZAMBRANO; CAMARGO; TAVARES, 2001).

A influência da modificação física por *annealing* em amidos de tubérculos ainda é controversa e poucas são as informações disponíveis na literatura que denotem os efeitos ocasionados na morfologia dos grânulos.

Vários autores (PIERSON, 1934; STUTE, 1992; HOOVER; VASANTHAN 1994^a; JACOBS; DELCOUR, 1998; WADUGE et al., 2013) não encontraram alterações na morfologia dos grânulos no recozimento de trigo, aveia, lentilha, cevada (certas cultivares) e fécula de batata. No entanto Gough e Pybus (1971) observaram um aumento no tamanho de grânulo ($5\mu\text{m}$) no recozimento de amido de trigo normal.

De modo geral, a modificação física por *annealing* a qual os amidos foram submetidos, resultou em aumento no tamanho mínimo, médio e máximo dos grânulos de todos dos amidos investigados. Este fenômeno possivelmente está relacionado à entrada de umidade através das regiões amorfas dos amidos durante o recozimento ocasionado na modificação por *annealing* (WADUGE et al., 2013).

A razão amilose/amilopectina pode exercer influência na microestrutura dos grânulos de amidos submetidos a tratamentos hidrotérmicos, como na modificação por *annealing*. Ao submeter os grânulos à temperatura acima da transição vítrea (Tg) e abaixo da temperatura de gelatinização, ocorre o amolecimento das regiões amorfas e o excesso de água empregado nesse tipo de modificação contribui para o aumento da suscetibilidade a hidratação dessas regiões e com isso os grânulos tornam-se maiores do que na sua forma nativa.

Kiseleva et al. (2005) observaram que os grânulos de alta amilose e amidos de trigo foram ligeiramente deformados no recozimento e a extensão desta deformação foi maior no amido ceroso. De acordo com Zavareze e Dias (2011), os grânulos de amido de arroz com alto teor de amilose modificados por *annealing* apresentaram poros na superfície em comparação com os grânulos de amido de alto teor de amilose nativos.

Liu, Yu, Simon, Dean e Chen (2009) observaram que a modificação física por *annealing* a 50 °C aumentou o tamanho dos grânulos em todas as amostras de amidos de milho com diferentes teores de amilose, e a taxa média de mudança de tamanho foi aumentada com o aumento conteúdo de amilopectina.

Outra característica interessante observada na microestrutura dos amidos submetidos à modificação física por *annealing*, foi o aparecimento de poros ou fissuras na superfície dos grânulos. Este fenômeno possivelmente está relacionado ao aumento da interação entre cadeias poliméricas amorfas e cristalinas, que tornam o grânulo mais resistente ao estresse físico, ampliando a oclusão de água nos interstícios amorfos, ocorrendo a deformação e fissuras, mesmo sem coalescer.

O aumento do tamanho dos grânulos de amidos modificados por *annealing* e o surgimento de poros e fissuras pode ocasionar o aumento da suscetibilidade enzimática (ZAVAREZE; DIAS, 2011).

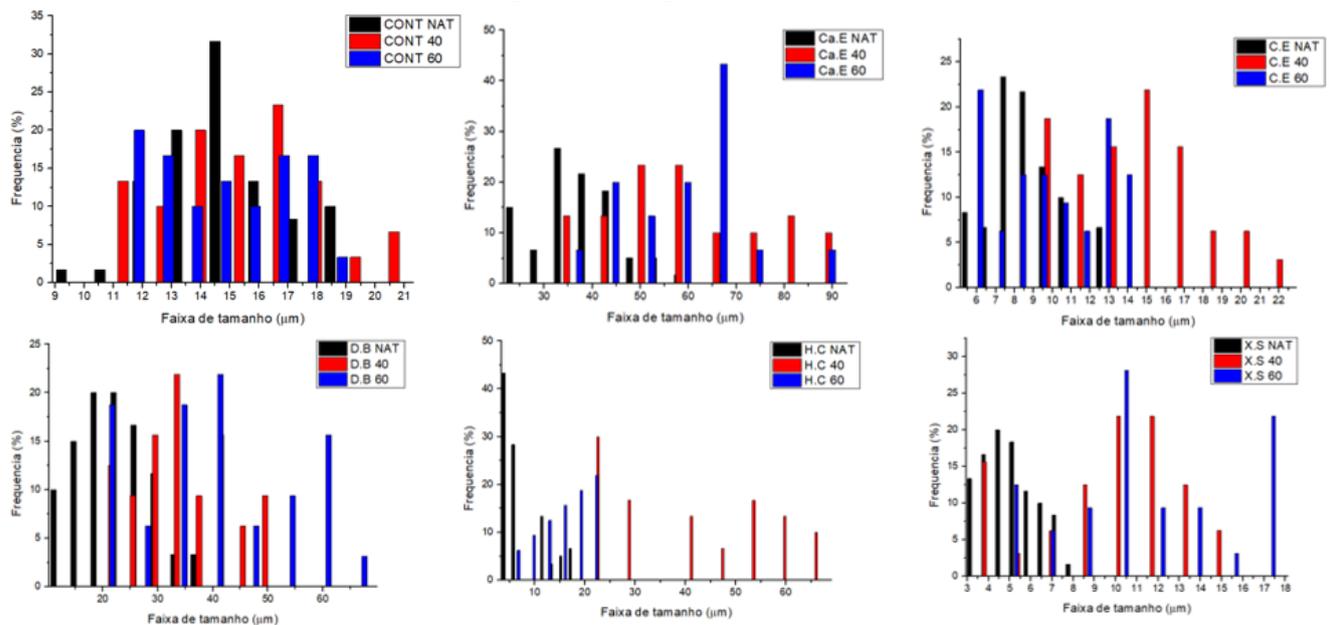
As micrografias selecionadas e apresentadas na Figura 23 mostraram, de modo geral, grânulos de formas homogêneas e características de amido de mandioca, arredondados, ovalados, cupuliformes, mitriformes e convexo bicôncavos de tamanhos variados. A Tabela 16 ilustra ainda as faixas de diâmetros obtidas para os amidos de cada cultivar, juntamente com a Figura 24, que apresenta a distribuição de frequência destes diâmetros.

Tabela 16 - Formas e diâmetros (μm) dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60).

| Amostras | Tratamentos | Forma | Diâmetro (μm) | | |
|----------|-------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|--------|
| | | | Mínimo | Médio | Máximo |
| CONT | NAT | Esférica, semi-esférica | 8,25 | 14,11 \pm 2,17 | 18,80 |
| | ANN 40 | | 10 | 14,92 \pm 2,53 | 20,65 |
| | ANN 60 | | 10,54 | 14,23 \pm 2,23 | 18,52 |
| Ca.E | NAT | Elipsóide, esférica | 19,10 | 34,73 \pm 8,75 | 59,06 |
| | ANN 40 | | 26,91 | 54,57 \pm 17,16 | 89,2 |
| | ANN 60 | | 28,56 | 53,78 \pm 13,27 | 88,6 |
| C.E | NAT | Esférica, elipsoide, irregular | 4,76 | 8,47 \pm 1,99 | 12,76 |
| | ANN 40 | | 7,97 | 13,63 \pm 3,55 | 22,06 |
| | ANN 60 | | 4,8 | 9,17 \pm 2,95 | 13,83 |
| D.B | NAT | Poligonal, irregular, elipsoide | 8,39 | 30,50 \pm 6,70 | 37,42 |
| | ANN 40 | | 17,49 | 32,59 \pm 8,58 | 49,48 |
| | ANN 60 | | 14,21 | 37,22 \pm 14,10 | 66,61 |
| H.C | NAT | Elipsóide, truncada, pentagonal | 2,42 | 6,66 \pm 4,43 | 17,54 |
| | ANN 40 | | 16,4 | 38,37 \pm 15,84 | 66 |
| | ANN 60 | | 10,32 | 29,11 \pm 12,11 | 54,29 |
| X.S | NAT | Esférica, poliédrica | 2,61 | 4,74 \pm 1,30 | 7,93 |
| | ANN 40 | | 2,22 | 8,90 \pm 3,34 | 14,88 |
| | ANN 60 | | 3,4 | 10,95 \pm 4,02 | 17,27 |

CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

Figura 24 - Distribuição de frequência dos diâmetros obtidos nos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C.



CONT: controle; Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

A distribuição de frequência do tamanho dos grânulos de amido se apresenta de forma heterogênea para cada amostra investigada.

Como pode ser observado na Figura 24 o grupo de amostras CONT (CONT-NAT, CONT-40 e CONT-60) apresenta ampla dispersão de dimensões granulares, com incidência de todas as amostras do grupo em todo espectro observável.

A amostra CONT-NAT apresentou característica unimodal dentro da faixa de tamanho granular observada para o grupo amostral, com frequência superior a 30% para o tamanho médio de 14,5 μm , além da presença isolada desta mesma amostra na região dos menores grânulos, entre 09 e 11 μm e ainda o predomínio da amostra CONT-40 na região dos maiores grânulos observados, com aproximadamente 7,5% dos grânulos na faixa de 21 μm .

A amostra Ca.E-NAT apresentou dentre seu grupo amostral a maior concentração de grânulos menores que 48 μm . Enquanto a faixa de tamanho entre 50 e 90 μm ocorreu a predominância absoluta das amostras Ca.E-40 e Ca.E-60. Estes resultados indicam que para este grupo amostral, a modificação física *annealing* influenciou de forma significativa na obtenção de grânulos maiores.

No grupo amostral Ca.E (Ca.E-NAT, Ca.E-40 e Ca.E-60) foi possível verificar destaque para o predomínio unimodal da amostra Ca.E-60 com concentração superior a 40% dos grânulos na faixa de aproximadamente a 67 μm .

Nas demais amostras investigadas foi possível verificar a predominante incidência dos maiores grânulos para os amidos modificados por *annealing*, tanto a 40 °C, quanto para os modificados a 60 °C.

3.3.2 Difração de Raios-X

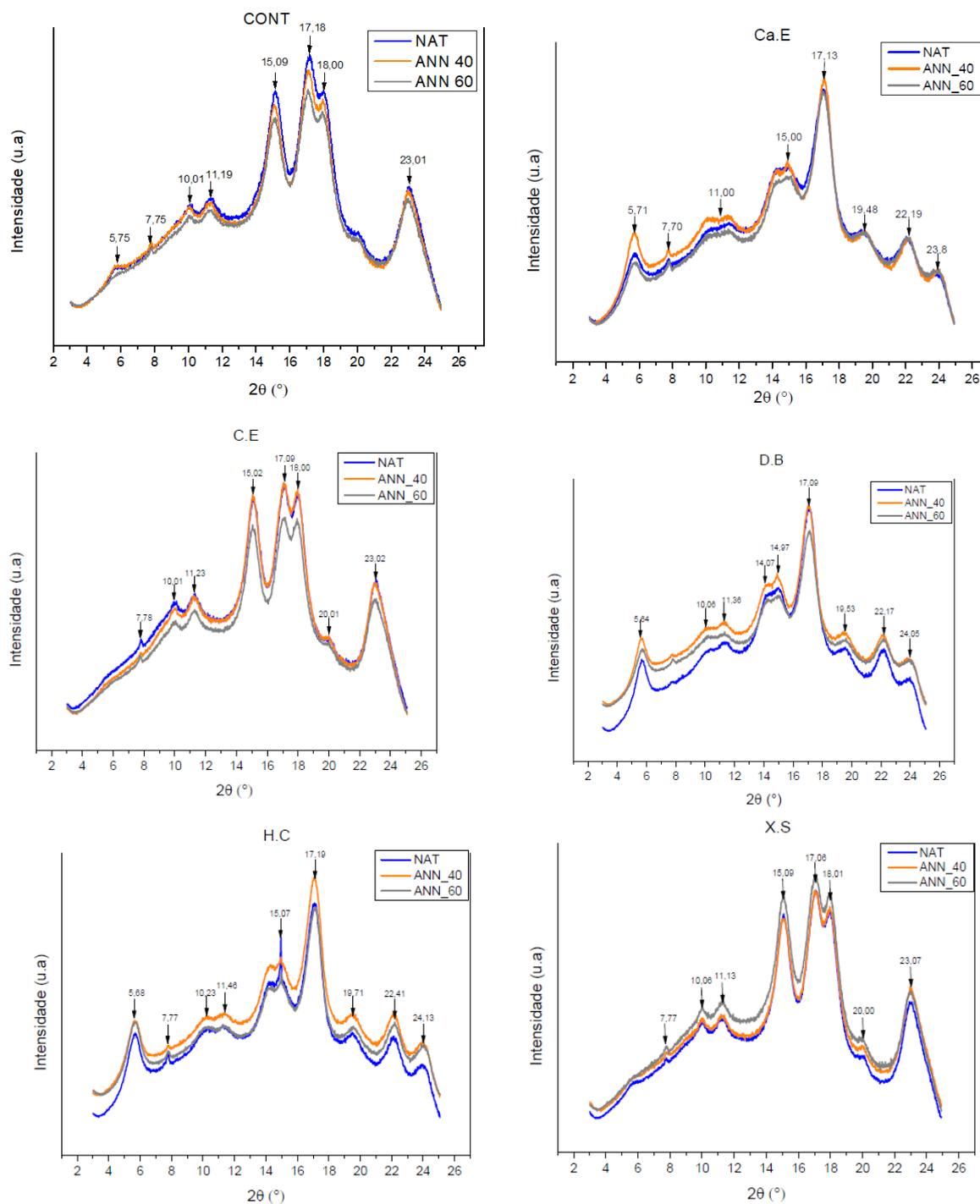
Resultados para difração de raios-x das amostras de amidos nativos e modificados são apresentados na Tabela 17 e Figura 25.

Tabela 17 – Cristalinidade relativa dos amidos nativos (NAT) e modificados por *annealing* a 40 e 60 °C (ANN 40 e ANN 60).

| Amostras | Tratamentos | Cristalinidade Relativa (%) |
|-----------------|--------------------|------------------------------------|
| Ca.E | NAT | 28,11 |
| | ANN 40 | 25,82 |
| | ANN 60 | 24,59 |
| C.E | NAT | 30,10 |
| | ANN 40 | 28,91 |
| | ANN 60 | 28,18 |
| D.B | NAT | 29,09 |
| | ANN 40 | 25,72 |
| | ANN 60 | 24,75 |
| H.C | NAT | 26,05 |
| | ANN 40 | 27,83 |
| | ANN 60 | 28,09 |
| X.S | NAT | 32,33 |
| | ANN 40 | 31,95 |
| | ANN 60 | 28,32 |

Ca.E: *Canna edulis*; C.E: *Cyperus esculentus*; D.B: *Dioscorea bulbifera*; H.C: *Hedychium coronarium*; X.S: *Xanthosoma sagittifolium*. Fonte: próprio autor

Figura 25 – Difração de Raio-X amidos nativos e modificados



Fonte: próprio autor

Pode-se observar que de modo geral, os difratogramas de raios X apresentaram padrões semelhantes para todas as amostras estudadas, independente da modificação, com a incidência de picos característicos de amidos do Tipo A, com reflexões centradas em torno de $15,0^\circ$, $17,0^\circ$, 18° e 23° 2θ (\AA) e picos característicos de amidos do Tipo B, com reflexões centradas em torno de $5,6^\circ$, 15° , 17° , 22° e 23° . É possível considerar que todas as amostras,

independente da modificação, apresentaram uma mistura dos dois padrões mencionados, sendo esta categoria denominada como Tipo C (HUANG et al., 2015).

De acordo com Hoover (2001), a classificação do amido Tipo C pode ser subdividida em C_A , C_B e C_c , de acordo com a extensão de semelhança com os Tipos A ou B, ou entre os dois tipos, respectivamente. Desta forma podemos considerar os grupos amostrais CONT, Ca.E, D.B e H.C como sendo C_B , devido a presença do pico em torno de $5,6^\circ$, característico para amidos do Tipo B, enquanto as amostras C.E e X.S além de não apresentarem este pico, apresentaram o pico em torno de $18,0^\circ$, características estas que permitem classificar estes amidos como do Tipo C_A .

Não foi possível verificar diferenças nos padrões dos difratogramas das amostras de amidos nativos ou modificados por *annealing*. Isto significa que as condições utilizadas na modificação não produziram alteração na distância de repetição das lamelas cristalinas e amorfas dos amidos (JACOBS; DELCOUR, 1998).

Quanto aos percentuais de cristalinidade dos amidos nativos e modificados por *annealing*, os valores variaram entre 24,59 % (Ca.E-60) e 32,33 % (X.S-NAT). Esses valores foram obtidos subtraindo o halo amorfo da área total de cada difratograma.

Apenas o grupo amostral H.C apresentou aumento da cristalinidade relativa para os amidos modificados fisicamente por *annealing*. Os demais grupos amostrais apresentaram redução no percentual de cristalinidade, de forma inversamente proporcional às temperaturas utilizadas na modificação.

A redução da cristalinidade para os amidos modificados por *annealing* pode estar relacionada à redução dos espaçamentos intercristalinos, devido ao maior empacotamento helicoidal, que torna os cristalitos mais compactos e organizados. A redução dos tamanhos lamelares dos cristalitos pode ser mais pronunciada em amidos com alto teor de amilose (JAYAKODY; HOOVER, 2008).

De acordo com Kong et al. (2015) enquanto a amilopectina está relacionada a porção cristalina, a amilose corresponde a grande parte da área amorfa dos grânulos de amido. As mudanças estruturais ocasionadas pela modificação física por *annealing* podem ser moduladas de acordo com as proporções dos polímeros amilose/amilopectina.

4 CONCLUSÃO

O tratamento térmico *annealing* mostrou capacidade de modificação significativa nas propriedades funcionais (poder de inchamento, solubilidade, sinérese, claridade de pasta,

capacidade de absorção de água e óleo e resistência a ciclos de congelamento e descongelamento) dos amidos utilizados no presente estudo.

Foi verificada interferência diretamente proporcional do tratamento térmico nas propriedades viscoamilográficas dos amidos, sobretudo naqueles que apresentam maior conteúdo de amilose (amostras Ca.E, C.E, H.C e X.S), com aumento na temperatura de pasta e reduções nos picos de viscosidade máxima e final, e na capacidade de retrogradação.

De modo geral, verificou-se um aumento no tamanho mínimo, médio e máximo dos grânulos dos amidos modificados por *annealing*. Além do aparecimento de fissuras nos grânulos submetidos a modificação (possivelmente ocasionados devido a entrada de umidade através das regiões amorfas dos amidos durante o processo de modificação).

O tratamento por *annealing* reduziu o poder de inchamento e de solubilidade dos amidos estudados, no entanto foi verificado aumento na capacidade de absorção de água e óleo, sendo estas características desejadas na indústria de alimentos.

De modo geral, o tratamento térmico apresentou-se como alternativa viável para promover modificações nas propriedades funcionais dos amidos, sendo viável explorar futuras aplicações na área de pesquisa e desenvolvimento de alimentos processados termicamente a partir dos amidos das plantas avaliadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AACC. **American Association Cereal Chemists. Approved Methods of Analysis** (11. ed.). 203 Saint Paul: AACC, 2010.
- AI, Y.; JANE, J. Gelatinization and rheological properties of starch. **Starch - Stärke**, v. 67, n. 3–4, p. 213–224, 2015.
- AMANTE, E. R. Caracterização de amidos de variedades de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) e de Batata-doce (*Ipomoea batatas*). 1986. 109 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1986.
- GOUGH, B. M.; PYBUS, J. N. Effect on the gelatinization temperature of wheat starch granules of prolonged treatment with water at 50 C. **Starch-Stärke**, v. 23, n. 6, p. 210-212, 1971.
- BEEMILLER, J.; WISTLER, R. **Starch: Chemistry and Tecnology**. 3 ed. Academic Press: USA, 2009.
- BELITZ, H.D., GROSCH, W. **Química dos Alimentos**. 2ª ed. Ed. Acribia, Zaragoza. Espanha. 1997.
- BEUCHAT, L. R. Functional and electrophoretic characteristic of succinylated peanut flour proteins. **Journal Agriculture Chemistry**, v. 25, p. 258-260, 1977.
- BUTT, N. A.; MOHSIN ALI, T.; HASNAIN, A. A Comprehensive Review On Scope, Characteristics And Applications Of Instant Starches In Food Products. **Annals. Food Science and Technology**, v. 19, n. 1, 2018.
- CACERES, N. C. Y. et al. Physicochemical, thermal, microstructural and paste properties comparison of four achira (*Canna edulis* sp.) starch ecotypes. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 25, p. 100380, 2021.
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I. M. **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v. 3, p. 246–332, 2003.
- CHANDANASREE, D.; GUL, K.; RIAR, C. Effect of hydrocolloids and dry heat modification on physicochemical, thermal, pasting and morphological characteristics of cassava (*Manihot esculenta*) starch. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p. 175–182, 2016.
- CISNEROS, F. H.; ZEVILLANOS, R.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Characterization of starch from two ecotypes of Andean achira roots (*Canna edulis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 16, p. 7363-7368, 2009.
- COLLONA, P.; LELOUP, V.; BULÉON, A. Limiting factors of starch hidrolisis. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. 17-32, 1992.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed editora, 2018.

DEEPIKA, V.; JAYARAM KUMAR, K.; ANIMA, P. Isolation and partial characterization of delayed releasing starches of Colocasia species from Jharkhand, India. **Carbohydrate Polymers**, v. 96, n. 1, p. 253-258, 2013.

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

DREHER, M. I. et al. Buffalo gourd root starch. II. reologic behavior, freeze-thaw stability and suitability for use in food products. **Starch/Stärke**, v.35, p.157-162, 1983.

EJOH, R. A.; DJOMDI; NDJOUENKEU, R. Characteristics of tigernut (*Cyperus esculentus*) tubers and their performance in the production of a milky drink. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 30, n. 2, p. 145-163, 2006.

HAYAKAWA, K. et al. Quality characteristics of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.): properties of starch gelatinization and retrogradation. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 576-580, 1997.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.

HOOVER, R.; VASANTHAN, T. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. **Carbohydrate research**, v. 252, p. 33-53, 1994.

HORMDOK, R.; NOOMHORM, A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. **LWT- Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 40, n. 10, p. 1723-1731, 2007.

HUANG, T-T et al. Effect of debranching and heat-moisture treatments on structural characteristics and digestibility of sweet potato starch. **Food chemistry**, v. 187, p. 218-224, 2015.

JACOBS, H.; DELCOUR, J. A. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 8, p. 2895-2905, 1998.

JAYAKODY, L.; HOOVER, R. Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins—A review. **Carbohydrate polymers**, v. 74, n. 3, p. 691-703, 2008.

KISELEVA, V. I. et al. Annealing of normal and mutant wheat starches. LM, SEM, DSC, and SAXS studies. **Carbohydrate Research**, v. 340, n. 1, p. 75-83, 2005.

LAWAL, O. S.; ADEBOWALE, K. O. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 3, p. 331-341, 2005.

- LEACH, H. W.; MCCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule: I., swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 36, n. 6, p. 534-544, 1959.
- LIU, CY.; TSAI, ML.; TSENG, KH. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. **Cereal chemistry**, v. 73, n. 4, p. 415-420, 1996.
- LIU, H. et al. Effect of annealing and pressure on microstructure of cornstarches with different amylose/amylopectin ratios. **Carbohydrate research**, v. 344, n. 3, p. 350-354, 2009.
- NAKAZAWA, Y.; WANG, Y-J. Effect of annealing on starch-palmitic acid interaction. **Carbohydrate Polymers**, v. 57, n. 3, p. 327-335, 2004.
- PIERSON, G. G. Determination of Viscosity of Dilute Solutions of Cassava Flour and Other Starches. **Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition**, v. 6, n. 3, p. 183-187, 1934.
- QI, X.; TESTER, R. F. Effect of native starch granule size on susceptibility to amylase hydrolysis. **Starch-Stärke**, v. 68, n. 9-10, p. 807-810, 2016.
- SERRANO, P. O.; FRANCO, C. M. L. Modificações hidrotérmicas ("Annealing") e hidrólise enzimática do amido de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 1, p.220-232, 2005.
- SILVA, G. de O. da et al. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 188-197, 2006.
- SINGH, N.; SANDHU, K. S.; KAUR, M. Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum L.*) cultivars. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 4, p. 441-449, 2004.
- SRICHUWONG, S. et al. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 4, p. 529-538, 2005.
- STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O. **Food polysaccharides and their applications**. CRC press, 2016.
- STUTE, Rolf. Hydrothermal modification of starches: The difference between annealing and heat/moisture-treatment. **Starch-Stärke**, v. 44, n. 6, p. 205-214, 1992.
- THITIPRAPHUNKUL, K. et al. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I. Chemical composition and physicochemical properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 53, n. 3, p. 317-324, 2003a.
- VACLAVIK, V. A.; CHRISTIAN, E. W. **Essentials of Food Science**. 3rd. ed. New York: Springer. 571 p. 2008.

WADUGE, R. N. et al. Exploring the surface morphology of developing wheat starch granules by using atomic force microscopy. **Starch-Stärke**, v. 65, n. 5-6, p. 398-409, 2013.

WANG, S. et al. Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 5, p. 568–585, 2015.

WANG, Shujun et al. Annealing improves paste viscosity and stability of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 62, p. 203-211, 2017.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. (Ed.). **Starch: chemistry and technology**. Academic Press, 2012.

WURZBURG, O. **Modified starches-properties and uses**. Boca Raton: CRC Press, 1986.

ZAMBRANO, F.; CAMARGO, C. R. O.; TAVARES, D. Amido de mandioca modificado comparado com substitutos de gordura. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 4, p. 155-161, 2001.

ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate polymers**, v. 83, n. 2, p. 317-328, 2011.

ZIA-UD-DIN; XIONG, H.; FEI, P. Physical and chemical modification of starches: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2691-2705, 2017.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DE AMIDO E RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DE *Cyperus esculentus* EM PRODUTO EMULSIONADO CARNEO EMBUTIDO DE FRANGO (TIPO MORTADELA)

RESUMO

Este capítulo apresenta a aplicação de amido e resíduo da extração de amido de *Cyperus esculentus* como substituto parcial de gordura em embutido emulsionado cárneo, bem como a caracterização dos embutidos quanto a atividade de água, pH, colorimetria e textura. Foram realizadas formulações com quantidades de 5, 10 e 12 % de amido de *C. esculentus*, e de resíduo da extração do amido. Outras três formulações também foram feitas utilizando amido+resíduo, nas seguintes proporções: 2,5+2,5; 5+5 e 6+6 %. Os resultados mostraram maior atividade de água nas formulações contendo resíduo, possivelmente devido ao caráter hidrofílico das fibras, quando comparado ao amido. Para pH não houve diferença significativa entre as amostras. Na análise de cor, as formulações contendo maiores teores de amido de *Cyperus esculentus* e resíduo apresentaram menor luminosidade (L^*). Quanto ao parâmetro da cor vermelha (a^*), a formulação com maior quantidade de resíduo (12%) apresentou o maior valor, enquanto a formulação com amido+resíduo (6+6) apresentou o menor valor. E para o parâmetro da cor amarela (b^*) o menor valor foi encontrada para a formulação de com menor quantidade de resíduo (5%). Para análise de textura, verificou-se que a firmeza foi semelhante entre todas as formulações, sendo que aquelas feitas com resíduo apresentaram maiores valores. A coesividade foi baixa em todas as formulações, o que mostra possível ineficiência na extração das proteínas, assim como os valores de elasticidade, que foram baixos. Desta forma, verifica-se que o uso do amido e resíduo promoveu maior resistência mecânica as formulações. Apesar dos resultados satisfatórios encontrados, onde a incorporação do amido e resíduo mostrou-se condições favoráveis na substituição de gordura em embutidos cárneos, ainda é necessário estudos mais abrangentes.

Palavras-Chave – embutido emulsionado cárneo, amido, resíduo, substituto parcial de gordura.

1 INTRODUÇÃO

A *Cyperus esculentus* é considerada uma erva daninha nas culturas agrícolas convencionais em diversos países do mundo. No Brasil é popularmente conhecida como tiririca, batatinha-de-junça, cebolinha, junça, junco, junquinho, tiririca amarela e tiriricão. Trata-se de uma gramínoide perene, que apresenta estatura média entre 20 a 90 cm.

A ampla distribuição geográfica da *C. esculentus* é resultado do eficiente sistema vegetativo de reprodução por rizomas, bulbos e tubérculos, associado a fácil adaptação em variados tipos de solo (LORENZI, 2000).

A *C. esculentus* costuma apresentar tubérculos com diâmetro médio que varia entre 1 a 2 cm, compostos com elevada concentração de carboidratos e óleos, além de teores satisfatórios de açúcares, proteínas, minerais como fósforo e potássio, além de vitamina E e C (BELEWU; BELEWU, 2007; YEBOAH et al., 2012; SANCHEZ-ZAPATA et al., 2012)

O seu potencial produtivo varia entre 5-12 t/ha, valores estes elevados quando comparado aos apresentados por culturas comerciais, como a soja, que no Brasil rende em média 3,3 t/há. Esta comparação demonstra que a *C. esculentus* pode ser até quatro vezes mais produtiva que o cultivar comparado (CONAB, 2018).

A gordura em produtos alimentícios desempenha importante função, e está diretamente relacionada às quatro principais características de percepção sensorial: aparência (brilho, translucidez, coloração, uniformidade da superfície e cristalinidade), textura (viscosidade, elasticidade e dureza), sabor (intensidade de flavor, liberação de flavor, perfil de sabor e desenvolvimento de flavor) e mouthfeel (derretimento, cremosidade, lubricidade, espessura e grau de mouth-coating) (FANI, 2017).

O consumo de gordura tem sido associado a doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer e diabetes, doenças estas que são correlacionadas estatisticamente com a obesidade e reduzem a expectativa de vida. Entretanto, nos últimos anos, os consumidores têm buscado cada vez mais por alimentos livres de gordura ou com teores reduzidos.

Neste contexto, os substitutos de gordura se apresentam como uma alternativa interessante na produção de alimentos, com características funcionais análogas as gorduras. Sendo ainda, livres de efeitos tóxicos e não produzem metabólitos diferentes daqueles produzidos pela gordura convencional (SINGHAL; GUPA; KULKARNI, 1991)

Os carboidratos e produtos à base de carboidratos têm sido utilizados para substituir total ou parcialmente (de 50% a 100%) óleos e gorduras em uma grande variedade de alimentos (MCNAMEE; O'RIORDA; O'SULLIVAN, 2001).

Os carboidratos dos tubérculos de *C. esculentus* são compostos, principalmente, por amido e fibra dietética e apresentam praticamente o dobro da quantidade de amido que a batata ou tubérculos de batata-doce costumam possuir (COSKUNER et al., 2002).

Os produtos cárneos processados, como emulsionados, são apreciados por suas características sensoriais peculiares. Os principais representantes dessa classe de alimentos, são as mortadelas e salsichas (MCCLEMENTS, 2015).

De acordo com Almeida et al. (2014), em embutidos emulsionados cárneos a redução no teor de lipídeos está relacionada com o aumento no teor de água. Com a inserção de substitutos de gordura, é possível obter produtos com menor valor calórico, maior firmeza, coesão e suculência. Costumam apresentar ainda, tonalidades mais escuras e demandam maior tempo de cozimento.

Visto o potencial para extração de amido e fibras do tubérculo de *C. esculentus* devido ao alto conteúdo destes, sua escala de produção e sua baixa exploração para a alimentação humana, o presente trabalho tem como objetivo a extração dos compostos citados anteriormente, caracterizar e aplicar em diferentes concentrações como substituto de gorduras em produto cárneo embutido de frango (tipo mortadela).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAS

Para fins de teste foram aplicados amido e resíduo (material sólido fibroso) de *C. esculentus* (tiririca) (C.E) em embutidos cárneos emulsionados. Para isto foi realizado um planejamento fatorial, composto por três fatores. O fator A consiste em três níveis de concentração de amido (5, 10 e 12%). O fator B são três níveis de concentração de amido e resíduo (2,5+2,5; 5+5 e 6+6%), e o fator C são três níveis de concentração de resíduo (5, 10 e 12%). Além da formulação-controle (FC – sem redução de toucinho e sem adição de fibras), foram elaboradas 10 formulações. Como resposta foram avaliadas: textura, cor, pH e Aw.

2.2 FORMULAÇÕES

As formulações foram elaboradas em bateladas de aproximadamente 200 g. Os embutidos cárneos de frango (tipo mortadela) foram preparados seguindo a metodologia

proposta por Dos Santos Alves et al. (2016) com algumas modificações nos ingredientes e quantidades, seguindo as formulações apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Formulações de embutidos cárneos de frango (tipo mortadela) com diferentes níveis de amido e resíduo.

| Ingredientes (%) | Controle | Tratamentos | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Carne de frango | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| Gordura suína | 18 | 15 | 10 | 8 | 15 | 10 | 8 | 15 | 10 | 8 |
| Sal | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Nitrato de sódio | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 |
| Tripolifosfato de sódio | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Eritorbato de sódio | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 |
| Glutamato monossódico | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Alho | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Coentro | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Pimenta preta | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Gelo picado | 11.06 | | 11.06 | 11.06 | 11.06 | 11.06 | 11.06 | 11.06 | 11.06 | 11.06 |
| Amido de mandioca | 2 | | | | | | | | | |
| Formulação A* ¹ | | 5 | 10 | 12 | | | | | | |
| Formulação AR* ² | | | | | 2.5+2.5 | 5+5 | 6+6 | | | |
| Formulação R* ³ | | | | | | | | 5 | 10 | 12 |

Formulação A*¹: (com amido de *C. esculentus*); Formulação AR*²: (Com amido + resíduo da extração);
Formulação R*³: (Com resíduo da extração). Fonte: próprio autor

A ordem de adição para pré-mistura foi: carne, sal, aditivos/coadjuvantes, ingredientes, gelo picado. As matérias primas congeladas foram previamente picadas em cubos de aproximadamente 3 cm e transportadas para o moedor onde se garante uma granulometria adequada para a próxima etapa do processo, e posteriormente pesados e misturados em processador formando assim a massa. Após a mistura por 4 minutos, o produto foi acondicionado em refrigerador à 4 °C, até a elaboração das formulações pre-estabelecidas e posterior ao embutimento em tripa artificial de poliamida de 2,5 cm de diâmetro, obtendo peças de aproximadamente 200 g com auxílio de equipamento manual de embutir.

Na sequência do processo os embutidos foram encaminhados para o cozimento em banho-maria, composto por 2 etapas de aquecimento (temperaturas de 60 °C por 30 min e 80 °C por 20 min) e 1 etapa de resfriamento (com água a temperatura ambiente).

Ao término da etapa de resfriamento foram separadas 3 amostras (3 peças de 200g) de cada teste, acondicionadas em saco plástico de polietileno, fechado e colocado dentro de uma caixa de papelão vazado onde permaneceu em uma câmara de refrigeração até a realização das análises.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EMBUTIDOS CÁRNEOS

As formulações desenvolvidas, obtidas através do delineamento experimental, foram avaliadas quanto A_w , pH, cor e textura.

Para determinação da atividade de água, uma alíquota de amostra de cada embutido cárneo foi colocada em uma cápsula padrão, a qual foi inserida no analisador Aqualab (S4TE – BRASEq. Brasileira de Equipamentos Ltda. São Pablo, Brasil.) para realização da leitura direta. A análise foi realizada em triplicata no Laboratório Central de Análises do Departamento de Engenharia Química e de Engenharia de Alimento da UFSC.

O pH foi determinado de acordo com o método 943.02 (AOAC, 2005). As medições de pH foram realizadas utilizando pHmetro Quimis (Q-400A, Quimis, S.P. Brasil), de acordo com o método 943.02 (AOAC, 2005). Foram utilizadas 20 gramas de cada amostra, as quais foram manualmente trituradas e misturadas a 20 mL de água destilada. Posteriormente foi medido o pH da solução homogeneizada, realizando cinco leituras diretas dentro da solução.

Os parâmetros de cor das amostras foram determinados utilizando sistema de visão computacional (CVS), seguindo a metodologia descrita por Cárdenas-Pérez et al. (2017) com adaptações. As fotografias foram tomadas sobre plano fundo escuro em triplicata com auxílio de uma câmera fotográfica digital (Nikon D5500, Nikon Corporation, Japão), com condições de distancia e luminosidade fixas. As imagens foram salvas no formato RGB e posteriormente tratadas com o software ImageJ v. 1.6.0 (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA), onde o plug-in do conversor de espaço de cores foi utilizado para converter as cores do sistema RGB para a escala CIELab.

A análise do perfil de textura (TPA) foi realizada em triplicata para amostra cozida, com o auxílio do equipamento texturômetro TA-XT/Plus/50 (Godalming, Inglaterra) e programa Texture Expert (StableMicro Systems, Godalming, Inglaterra). As amostras foram cortadas no diâmetro de 2,5 cm com o auxílio de um cortador. As amostras foram comprimidas duas vezes a 50% da sua altura original usando uma sonda cilíndrica de alumínio (35mm), a uma velocidade 1,5 mm/s e uma célula de carga de 50 Kg.

Foram determinados os parâmetros de firmeza, coesividade e elasticidade, obtidos a partir da curva de TPA respectiva à cada tratamento. A firmeza foi definida a partir do pico de força verificado durante o primeiro ciclo de compressão. A coesividade foi calculada pela razão entre a área da segunda curva sob a área da primeira curva de compressão. A elasticidade foi calculada pela razão entre o tempo do segundo ciclo de compressão sob o tempo do primeiro ciclo de compressão.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os experimentos foram realizados em triplicata com repetições independentes. Os dados são apresentados como média \pm desvio padrão de três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi realizado para identificar diferenças significativas entre os amidos obtidos. Médias com valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativas. Os dados foram analisados usando o software STATISTICA 13.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EMBUTIDOS CARNEOS

A qualidade final dos produtos embutidos cárneos depende diretamente do processo de cozimento a qual são submetidos. A falta de controle das temperaturas e/ou do tempo de cocção pode ocasionar efeitos indesejáveis como, por exemplo, a separação da gordura da matriz proteica, além de alterar parâmetros de textura e conseqüentemente sensoriais (RINALDI et al., 2011).

O cozimento tem por objetivo o desenvolvimento da cor, a pasteurização e a coagulação das proteínas. A coagulação das proteínas da carne é a maior transformação que o cozimento causa em um produto emulsionado. De acordo com Orsolin et al. (2015) tal transformação ocorre em torno dos 60 °C e para pasteurização pode ser aplicada a temperatura de 72 °C por 30 minutos, tal como foi utilizada no presente trabalho.

Em todas as formulações de embutidos cárneos desenvolvidas, um dos ingredientes foi o amido (como substituto parcial de gordura e controle), e de acordo com os resultados obtidos para perfil viscoamilográfico, por volta de 69,45 °C foi verificada a temperatura de pasta para o amido de mandioca (controle) e em média 80,85 °C para o amido de *C. esculentus* (C.E) Como a temperatura final de cocção foi fixada em 80 °C por 20 minutos, possivelmente grande parte dos grânulos de amido tenham incorporado água de maneira efetiva, aumentando em até 2,5 mil vezes seu peso em água durante o aquecimento (RINALDI et al., 2011). Esse fenômeno corrobora com a capacidade de retenção de água, parâmetro este desejado para substitutos de gordura, agregando atributos texturais, relacionados à suculência.

Nas formulações desenvolvidas, apresentadas no delineamento experimental, com exceção do controle, foi substituída a fécula de mandioca, utilizada na elaboração do produto comercial convencional, por fécula de extraída de tubérculos de C.E, nas proporções de 5, 10 e 12%, como parte da gordura, mesmo não estando de acordo com o limite máximo de amido permitido pela legislação vigente, que é de 5% (BRASIL, 2000). Entretanto, no continente europeu, bem como nos países da América do norte não há limites para este parâmetro, o que corrobora a necessidade de novos estudos que permitam ampliar os conhecimentos quanto aos limites toleráveis de amido em aplicações funcionais tecnológicas.

A Figura 26 apresenta os embutidos emulsionados cárneos elaborados com amido de C.E (A), resíduo da extração do amido da C.E (R) e amido de C.E + resíduo da extração (AR) em três níveis de concentração (5,10 e 12% do peso total de cada amostra).

Figura 26 - Embutidos cárneos de frango (tipo mortadela) com diferentes níveis de amido e resíduo.



A: amido de C.E; R: resíduo da extração do amido da C.E; AR: amido de C.E + resíduo da extração.

Fonte: próprio autor

A Tabela 19 apresenta os resultados da atividade de água, pH e cor das mortadelas após estocagem.

Tabela 19 - Atividade de água, pH e cor dos embutidos cárneos de frango (tipo mortadela) com diferentes níveis de amido e resíduo.

| Amostras | Aw | pH | L* | Cor | |
|----------|------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | | | a* | b* |
| C | 0,980 ^c | 6,26 ^a | 72,61±0,12 ^a | 1,76±0,05 ^c | 38,83±0,05 ^a |
| A5 | 0,982 ^{b,c} | 6,26 ^a | 61,56±0,10 ^b | 0,01±0,01 ^h | 1,97±0,18 ^{d,e} |
| A10 | 0,981 ^c | 6,25 ^a | 56,82±0,04 ^{d,e} | 0,67±0,01 ^f | 1,06±0,02 ^f |
| A12 | 0,981 ^c | 6,24 ^a | 53,66±0,11 ^g | 1,66 ^d ±0,01 | 1,84±0,05 ^e |
| AR5 | 0,982 ^{b,c} | 6,19 ^a | 55,79±0,45 ^{e,f} | 0,98±0,01 ^e | 0,58±0,06 ^h |
| AR10 | 0,982 ^{b,c} | 6,18 ^a | 53,82±0,10 ^g | 2,01±0,04 ^b | 3,26±0,09 ^c |
| AR12 | 0,976 ^d | 6,16 ^a | 52,86±0,02 ^g | 2,70±0,01 ^a | 5,02±0,07 ^b |
| R5 | 0,986 ^a | 6,17 ^a | 59,15±0,69 ^c | 0,51±0,01 ^g | 0,88±0,24 ^g |
| R10 | 0,985 ^{a,b} | 6,18 ^a | 57,50±0,34 ^d | 1,55±0,06 ^d | 1,73±0,04 ^e |
| R12 | 0,983 ^{a,b,c} | 6,15 ^a | 55,63±0,10 ^f | 1,80±0,01 ^c | 2,24±0,06 ^d |

^{a-h}letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si (p<0,05). Fonte: próprio autor

3.1.1 Atividade de água

Através dos valores obtidos pode-se verificar uma pequena variação, porém significativa ($p < 0,05$) de atividade de água em todas as amostras, após 11 dias de estocagem.

O Ofício-Circular 005/2015 do MAPA (BRASIL, 2015) preconiza que para garantir a segurança microbiológica de mortadelas comercializadas a temperatura ambiente, a A_w não ultrapasse o limite máximo de 0,955. Avaliando os resultados obtidos de atividade de água para os embutidos cárneos obtidos, nota-se que em nenhuma das formulações desenvolvidas atendeu-se o limite máximo permitido para esse parâmetro, conforme Legislação Brasileira citada. As amostras também diferiram significativamente ($p < 0,05$) do controle, o qual também apresentou valor acima do máximo permitido pela legislação brasileira. Este efeito possivelmente está relacionado com o teor de gordura utilizado na formulação.

A atividade de água é muito utilizada como um fator determinante na conservação de alimentos, sendo empregado a adição de sal ou açúcar para obter-se um controle desejável. Uma solução de água pura possui valor de atividade de água igual a 1,00. A adição de solutos reduz o valor de atividade de água para menos de 1,00 (CELESTINO, 2010).

Os maiores valores para atividade de água foram verificados nas amostras as quais não continham amido, apenas teores variados de resíduo (F12, F10 e F5). Este resultado está de acordo com o que foi verificado para umidade, sendo ambos os fenômenos possivelmente relacionados com o superior potencial hidrofílico das fibras quando comparado ao amido. De acordo com Sánchez-zapata et al. (2009) as fibras totais, na sua maioria insolúveis, compõe a porção majoritária (59,71 g/100g) do resíduo gerado com a extração de amido nos tubérculos de C.E, utilizado nas formulações citadas.

Pode-se verificar também que todos os resultados ficaram entre 0,976 e 0,986, o que pode ter relação com a quantidade de amido e resíduos utilizados nas formulações, além dos teores de gordura e solutos. De acordo com Molina-Filho et al. (2006) a isoterma de sorção de água é estabelecida pela relação entre a atividade de água e a umidade nas formulações.

Prestes et al. (2015) avaliou formulações com baixo teor de lipídios e encontrou valor de atividade de água de 0,968 para formulações que continham amido de mandioca e 0,965 para formulações com amido de milho. Comparando os resultados obtidos nas formulações, nota-se valores superiores aos encontrados por Prestes et al. (2015). Verifica-se, portanto a influencia dos hidrocoloides (amidos e fibras) nas formulações em relação ao aumento da atividade de água. Porém as formulações que foram elaboradas com a parte substituinte de gordura contendo

apenas amido, ou amido e resíduo (A5, A10, A12, AR5, AR10 e AR12), apresentaram os menores valores para atividade de água.

A absorção de água pelos grânulos de amido à temperatura ambiente é limitada à faixa de 10 a 20% do seu peso (m/v), sendo ainda um processo reversível. Porém à medida que ocorre aquecimento o grânulo absorve mais água. Esta situação não se aplica as fibras vegetais que apresentam elevada capacidade de absorção de água mesmo em temperatura ambiente (IZIDORO, 2011).

3.1.2 pH

Os resultados de valores de pH (Tabela 19) indicam que todas as formulações investigadas não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), inclusive o controle. Estando tais valores próximos aos estipulados pela legislação brasileira (pH 7,0), para parâmetros de qualidade de mortadelas (BRASIL, 2000).

É possível constatar também, que todas as formulações apresentaram boa estabilidade de pH durante estocagem, podendo indiretamente relacionar à boa estabilidade microbiológica das amostras no período de estocagem estudado (11 dias).

Alimentos com baixa acidez (pH $> 4,5$) estão propensos a multiplicação de microrganismos deteriorantes e patógenos. Os alimentos ácidos (pH entre 4,0 e 4,4) apresentam condições favoráveis para o crescimento de leveduras, bolores e bactérias lácticas (FRANCO; LANDGRAF, 1996).

O pH de um alimento, pode propiciar condição favorável para a multiplicação microbiana, interferir na qualidade dos alimentos, durante o armazenamento, tratamento térmico, dessecação ou durante qualquer outro tipo de tratamento, além de ser responsável direto pela deterioração dos produtos (SILVA, 2000).

3.1.3 Colorimetria

A luminosidade interfere na aparência do produto e está relacionada com o modo de substituição da gordura. Os resultados obtidos nas avaliações de cor podem ser correlacionados com a percepção humana e relacionados diretamente com a avaliação sensorial que pode condicionar a aceitabilidade do produto (MAINA, 2018).

Entre as formulações, os resultados de luminosidade (L^*) daquelas elaboradas com amido de C.E como substituto parcial de gordura, foi significativamente superior ($p < 0,05$) à observada nas demais formulações. Porém estes valores não foram superiores ao controle, que diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) de todas as formulações. Este comportamento possivelmente

esteja relacionado com a cor mais clara e homogênea do controle. Assim como dos amidos, os quais foram submetidos à processo de purificação, que provavelmente resultou na retirada de compostos químicos que apresentavam cor acentuada.

Valores elevados e significativamente diferentes ($p < 0,05$) também foram verificados para o parâmetro luminosidade (L^*) nas formulações elaboradas somente com resíduo da extração como substituto parcial de gordura. Por apresentarem maior valor para o parâmetro umidade e A_w , provavelmente ocorreu maior reflexo da luz, ocasionada pela dispersão da água através da superfície da superfície das amostras.

As formulações elaboradas com a associação de amido e resíduo apresentaram valores intermediários para luminosidade (L^*), possivelmente devido à coloração mais clara e homogênea dentro do espectro de cores, verificado para estas formulações, quando comparado aquelas que utilizaram apenas o resíduo como substituto de gordura.

Alvarez et al. (2013) e Choi et al. (2011) utilizaram, respectivamente, extratos vegetais e gel de arroz como ingredientes em produtos cárneos emulsificados. Neste estudo, mesmo a carne magra permanecendo constante, houve diferença na luminosidade, demonstrando que a quantidade e o teor de gordura influenciam na luminosidade do produto.

A intensidade de vermelho (a^*) foi estatisticamente maior ($p < 0,05$) nas formulações elaboradas com associação de amido e resíduo. Este fato deve-se provavelmente à presença de compostos químicos pigmentados, oriundos dos tubérculos do cultivar C.E, e que permaneceram no resíduo e não foram eliminados por completo no amido, mesmo após o processo de purificação.

A formulação controle também está dentre os maiores valores encontrados para a intensidade de vermelho (a^*). Este efeito possivelmente esteja relacionado com a presença de nitrito na formulação. Embora a carne de frango apresente baixos valores de mioglobina, esta (entre 0,1 a 0,4 g/kg) junto ao nitrito forma o complexo nitrosomioglobina, que influencia na coloração vermelha (FEINER, 2006).

Os resultados observados para a intensidade amarelo (b^*) também apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) em todas as formulações elaboradas. Contudo, o controle foi o que apresentou maior valor para esse parâmetro. Este resultado possivelmente está relacionado a tonalidade clara e uniforme da carne de frango e com o fato da formulação controle não conter os substitutos de gordura, empregados nas demais formulações, os quais denotaram cor expressiva.

Alterações no conteúdo de gordura alteram a cor do produto e conseqüentemente sua aparência (CARBALLO et al, 1996). Koutsopolos (2008) observou um aumento expressivo na

intensidade de amarelo (b^*) ao adicionar 1% de carragena, fenômeno diferente ao verificado no presente trabalho.

3.1.4 Análise de textura

Na Tabela 20 estão demonstrados os resultados de textura das formulações dos embutidos processados cárneos com os diferentes níveis de substituição de gordura.

Tabela 20 - Resultados da análise de textura dos embutidos cárneos de frango (tipo mortadela) com diferentes níveis de amido e resíduo.

| Amostra | Firmeza | Coabilidade | Elasticidade |
|---------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| A5 | 13,59 \pm ^b | 0,39 ^c | 15,48 ^c |
| A10 | 19,65 ^{a,b} | 0,42 ^{b,c} | 19,09 ^{b,c} |
| A12 | 13,82 ^b | 0,52 ^{a,b} | 21,69 ^{a,b} |
| AR5 | 14,51 ^b | 0,50 ^{a,b,c} | 20,89 ^{a,b} |
| AR10 | 25,31 ^a | 0,48 ^{a,b,c} | 20,70 ^b |
| AR12 | 20,46 ^{a,b} | 0,50 ^{a,b,c} | 20,69 ^b |
| R5 | 14,47 ^b | 0,57 ^a | 25,48 ^a |
| R10 | 15,22 ^{a,b} | 0,45 ^{b,c} | 18,59 ^{b,c} |
| R12 | 13,31 ^b | 0,40 ^{b,c} | 15,82 ^c |

Fonte: próprio autor

Avaliando os resultados de textura para firmeza, coabilidade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade obtidos após 11 dias de estocagem, observou-se que há diferença significativa ($p < 0,05$) para as formulações avaliadas em todos os parâmetros.

A força máxima registrada para a ruptura do material (Firmeza (N)), apresentou diferença estatística significativa para o controle e todas as demais formulações testadas. É possível perceber que as amostras que foram elaboradas com resíduo apresentaram maiores valores para este parâmetro. Este efeito provavelmente está relacionado com a maior resistência mecânica promovida pela reticulação das fibras com a matriz proteica, ocasionando uma maior densidade e resistência ao cisalhamento.

Com exceção do controle, todas as formulações desenvolvidas apresentaram comportamento semelhante para firmeza, o que significa que a substituição de gordura por amido e resíduo apresenta bons resultados quanto a textura, além de superior suculência como apresentado nos resultados anteriores.

As formulações apresentaram valores de coesão baixos ($< 0,50$) (Tabela 20). Valores de coesão na mesma ordem de grandeza foram encontrados por Prestes et al. (2015) ao avaliar a incorporação de diferentes tipos de amido em mortadelas com baixo teor de gordura.

A coesividade está relacionada ao nível de atração entre as moléculas pertencentes ao mesmo corpo e a sua resistência até que ocorra a ruptura. Os valores baixos de coesividade encontrados no presente estudo, podem indicar uma possível ineficiência na extração das proteínas que são as principais responsáveis pelas características tecnológicas das emulsões.

A elasticidade foi calculada pela razão entre o tempo do segundo ciclo de compressão sob o tempo do primeiro ciclo de compressão. A mastigabilidade foi obtida a partir da multiplicação dos valores de gomosidade e elasticidade (COELHO et al., 2007).

Os valores de elasticidade neste estudo estão entre 25,48 e 15,48 apresentando diferença significativa para todos as formulações ($p < 0,05$) (Tabela 20). Os valores encontrados para o parâmetro elasticidade são considerados baixos, quando comparados a outros trabalhos similares. Prestes et al. (2015) constatou um aumento para este parâmetro ao aplicar amido de milho nativo em mortadelas (173,35%).

O parâmetro de elasticidade tem relação direta com a firmeza, o que justifica os resultados encontrados para o presente trabalho, pois como foi verificado, a incorporação de amido e resíduo promoveu uma maior resistência mecânica às formulações.

4 CONCLUSÃO

A incorporação de amido do tubérculo *C. esculentus* e o respectivo resíduo da extração demonstrou ser uma alternativa para como substituto de gordura em embutidos cárneos, sendo necessários novos estudos que abordem novos parâmetros de caracterização mais completos.

As formulações contendo a associação entre o amido utilizado e o resíduo da extração, apresentou melhores resultados, comparado às demais formulações, sendo verificado para esse grupo amostral, em grande parte dos parâmetros avaliados, valores condizentes com as necessidades tecnológicas esperadas para substitutos de gordura. No entanto, faz-se necessário uma nova abordagem estatística a qual explore melhor as correlações entre o controle e os respectivos substituto de gordura, bem como análise sensorial de aceitação do produto.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. M. et al. Production of low-fat emulsified cooked sausages using amorphous cellulose gel. **Journal of Food Quality**, v. 37, n. 6, p. 437-443, 2014.
- ÁLVAREZ, D.; BARBUT, S. Effect of inulin, β -Glucan and their mixtures on emulsion stability, color and textural parameters of cooked meat batters. **Meat Science**, v. 94, n. 3, p. 320–327, 2013.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC International**. (18 ed.) Gaithersburg, MD: AOAC International, 2005.
- BELEWU, M. A.; BELEWU, K. Y. Comparative physico-chemical evaluation of tiger-nut, soybean and coconut milk sources. **Int. J. Agric. Biol**, v. 5, p. 785-787, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 04, de 05 de abril de 2000. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Mortadela**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ofício-Circular nº 05, de 27 de julho de 2015. **Informações sobre registro de mortadela conservada em temperatura ambiente**, Brasília, 2015.
- CARBALLO, J et al. Characteristics of high- and low-fat bologna sausages as affected by final internal cooking temperature and chilling storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 72, n. 1, p. 40–48, 1996
- CÁRDENAS-PÉREZ, S. et al. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. **Biosystems engineering**, v. 159, p. 46-58, 2017.
- CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2010.
- CHOI, Y.-S. et al. Effects of rice bran fiber on heat-induced gel prepared with pork salt-soluble meat proteins in model system. **Meat Science**, v. 88, n. 1, p. 59–66, 2011.
- COELHO, G. M. et al. Effects of starch properties on textural characteristics of fish burgers: sensory and instrumental approaches. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 25, n. 1, 2007.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectiva para a Agropecuaria**, v. 6, p.86, 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/download/22780_ee707c6e6d44f06fe7b6a86ce6141652 /Acesso em 09 de abril de 2019.
- COŞKUNER, Y. et al. Physical and chemical properties of chufa (*Cyperus esculentus* L) tubers grown in the Çukurova region of Turkey. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n. 6, p. 625-631, 2002.
- DOS SANTOS ALVES, L. A. A. et al. Production of healthier bologna type sausages using

pork skin and green banana flour as a fat replacers. **Meat science**, v. 121, p. 73-78, 2016.

FANI, M. A Evolução dos substitutos de gordura. **Aditivos e ingredientes**, n. 535, p.23-27, 2017.

FEINER, G. **Meat products handbook: practical science and technology**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2006.

FRANCO, B. D. G. de M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. 1996.

IZIDORO, D. R. et al. Physical and chemical properties of ultrasonically, spray-dried green banana (*Musa cavendish*) starch. **Journal of Food Engineering**, v.104, p. 639–648, 2011.

KOUTSOPOULOS, D.A.; KOUTSIMANIS, G.E.; BLOUKAS, J.G. Effect of carrageenan level and packaging during ripening on processing and quality characteristics of low-fat fermented sausages produced with olive oil. **Meat Science**, v. 79, p. 188–197, 2008.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**; terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais, 2^a. Ed., Nova Odessa: São Paulo, 2000.

MAINA, J. W. Analysis of the factors that determine food acceptability. **The Pharma Innovation**, v. 7, n. 5, Part D, p. 253, 2018.

MCCLEMENTS, D. J. **Food emulsions: principles, practices, and techniques**. CRC press, 2015.

MCNAMEE, B. F.; O'RIORDA, E. D.; O'SULLIVAN, M. Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 49, n. 7, p. 3385-3388, 2001.

MOLINA-FILHO, L. et al. Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma macroparum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, 2006.

ORSOLIN, D. et al. Redução do tempo no processo de cozimento de mortadela e avaliação da qualidade final do produto. **Ciência Animal Brasileira**, v. 16, p. 589-597, 2015.

PRESTES, R. C. et al. Sensory and physicochemical evaluation of low-fat chicken mortadella with added native and modified starches. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 7, p. 4360-4368, 2015.

RINALDI, M. et al. Simulation and experimental validation of simultaneous heat and mass transfer for cooking process of Mortadella Bologna PGI. **International journal of food science & technology**, v. 46, n. 3, p. 586-593, 2011.

SÁNCHEZ-ZAPATA, E. et al. Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk (“Horchata”) byproducts and its physicochemical properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 17, p. 7719-7725, 2009.

SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; PÉREZ-ALVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. Effects of tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk liquid co-products on the quality of pork burgers. **International journal of food science & technology**, v. 47, n. 10, p. 2198-2204, 2012.

SILVA, J.A. Tópicos da tecnologia de alimentos. São Paulo: Varela, 2000.

SINGHAL, R. S.; GUPTA, A. K.; KULKARNI, P. R. Low-calorie fat substitutes. **Trends in Food Science & Technology**, v. 2, p. 241-244, 1991.

YEBOAH, S. O. et al. Compositional and structural studies of the oils from two edible seeds: Tiger nut, *Cyperus esculentum*, and asiato, *Pachira insignis*, from Ghana. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 259-266, 2012.

3 CONCLUSÕES FINAIS

As plantas alimentícias não convencionais utilizadas no trabalho apresentam atributos os quais justificam a utilização de tais matrizes para a extração de amidos. As matrizes *Dioscorea bulbifera*, *Xanthosoma sagittifolium* e *Cyperus esculentus* apresentaram teores de amidos superiores à 15% em seus órgãos de reserva, sendo estas consideradas adequadas para a exploração comercial em larga escala. Todas as amostras utilizadas no trabalho são consideradas atóxicas e seguras para o consumo humano, pois apresentaram valores superiores ao limite mínimo de 2000 mg/Kg para concentração inibitória média (IC 50), de acordo com o protocolo OECD 129. Todas as amostras de amidos extraídos apresentaram reduzido percentual de constituintes não amiláceos. Estes resultados, juntamente com os resultados de amido total, revelam o sucesso do processo de extração utilizado no trabalho, onde foi possível obter amidos com satisfatório nível de pureza.

A modificação física por *annealing* possibilitou alterar o comportamento funcional de todos os amidos utilizados no trabalho, quando comparado aos respectivos amidos na forma nativa. Foi possível verificar que a modificação utilizada, além de se enquadrar ao conceito *Green Chemistry*, devido à ausência de compostos químicos, permitiu potencializar atributos desejados na indústria de alimentos processados, como redução no poder de inchamento e solubilidade, aumento da temperatura de pasta e redução dos picos de viscosidade, tendência a retrogradação e redução de sinérese após ciclos de congelamento e descongelamento.

De modo geral todos os amidos investigados, tanto nas formas nativas quanto modificados, diferiram do controle (amido de mandioca) quanto às propriedades funcionais. Estes resultados salientam a necessidade da continuidade da pesquisa, com a execução de novos trabalhos que permitam explorar novas modificações para estes amidos, bem como testá-los em novas aplicações.

A inserção do amido de *C. esculentus* e resíduo de extração do mesmo, em produto embutido emulsificado cárneo, apresentou resultados de textura e cor que podem ser considerados aceitáveis, tendo em vista a similaridade ao controle. O consumo deste alimento pode ser benéfico à saúde, promovendo o aumento da ingestão de fibra alimentar total e redução de gordura. No entanto trabalhos futuros, como estudo de aceitação sensorial e utilização de amidos provenientes de outras matrizes, podem contribuir para o aprimoramento deste novo produto.

4 REFERÊNCIAS

- AI, Y.; JANE, J. Gelatinization and rheological properties of starch. **Starch - Stärke**, v. 67, n. 3-4, p. 213-224, 2015.
- ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 35, n. 2, p. 215-236, 2015.
- BELEWU, M. A.; ABODUNRIN, O. A. Preparation of kunnu from unexploited rich food source: Tiger nut (*Cyperus esculentus*). **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 7, n. 1, p. 109-111, 2008.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectiva para a Agropecuaria**, v. 6, p.86, 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/download/22780_ee707c6e6d44f06fe7b6a86ce6141652 /Acesso em 09 de abril de 2019.
- EHARA, H.; TOYODA, Y.; JOHNSON, D. V. **Sago palm: Multiple contributions to food security and sustainable livelihoods**. Springer Nature, 2018.
- FAN, X. et al. Properties of new starches from tubers of *Arisaema elephas*, *yunnanense* and *erubescens*. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 183-190, 2016.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 65-69, jan. 2002.
- LEONEL, M.; OLIVEIRA, M. Á. DE; FILHO, J. D. Espécies Tuberosas Tropicais como Matérias-Primas Amiláceas. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 1, n. 14, p. 49-68, 2005a.
- LUALLEN, T. Utilizing starches in product development. In: **Starch in food**. Woodhead Publishing, 2018. p. 545-579.
- MARTINEZ, E. L.; FERNANDEZ, F. J. B. Economics of production, marketing and utilization. In: **Corn**. AACC International Press, 2019. p. 87-107.
- MASINA, N. et al. A review of the chemical modification techniques of starch. **Carbohydrate polymers**, v. 157, p. 1226-1236, 2017.
- MYLONA, Z.; KOLOKOTRONI, M.; TASSOU, S. A. Frozen food retail: Measuring and modelling energy use and space environmental systems in an operational supermarket. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 129-143, 2017.
- SANTANA, Á.; MEIRELES, M. A. A. New starches are the trend for industry applications: a review. **Food and public health**, v. 4, n. 5, p. 229-241, 2014.
- SHRESTHA, A. K.; HALLEY, P. J. Starch modification to develop novel starch-biopolymer blends: State of art and perspectives. **Starch polymers**, p. 105-143, 2014.
- STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O. **Food polysaccharides and their applications**. CRC

press, 2016.

WATERSCHOOT, J. et al. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 1-2, p. 14-29, 2015.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, Eugene F. (Ed.). **Starch: chemistry and technology**. Academic Press, 2012.

ZIA-UD-DIN; XIONG, H.; FEI, P. Physical and chemical modification of starches: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2691-2705, 2017.