

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

ANDERSON FARIAS

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE PARA
PRODUÇÃO DE BIOETANOL

PONTA GROSSA

2022

ANDERSON FARIAS

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE PARA
PRODUÇÃO DE BIOETANOL

Dissertação apresentada para a
obtenção do título de mestre em
Bioenergia na Universidade
Estadual de Ponta Grossa, Área de
concentração: Biocombustíveis.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia

PONTA GROSSA

2022

F224 Farias, Anderson
Caracterização da biomassa de genótipos de batata-doce para produção de bioetanol / Anderson Farias. Ponta Grossa, 2023.
59 f.

Dissertação (Mestrado em Bioenergia - Área de Concentração: Biocombustíveis), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia.

1. Amido. 2. Batata-doce. 3. Raiz tuberosa. 4. Parte aérea. 5. Ipomoea batatas. I. Garcia, Luiz Cláudio. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Biocombustíveis. III.T.

CDD: 662.8

ANDERSON FARIAS

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE PARA
PRODUÇÃO DE BIOETANOL

Dissertação apresentada para a
obtenção do título de mestre em
Bioenergia na Universidade
Estadual de Ponta Grossa, Área de
concentração: Biocombustíveis.

Ponta Grossa, 16 de dezembro de 2022.

Prof. Dr. Luiz Cláudio Garcia – Orientador

Doutor em Agronomia

Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a. Dr^a. Aline Marchese

Doutora em Agronomia

Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Eder Carlos Ferreira de Souza

Doutor em Química

Universidade Estadual de Ponta Grossa

Ponta Grossa, 16 de dezembro de 2022



Documento assinado eletronicamente por **Eder Carlos Ferreira de Souza, Professor(a)**, em 19/12/2022, às 12:42, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Claudio Garcia, Professor(a)**, em 19/12/2022, às 13:33, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Aline Marchese, Usuário Externo**, em 19/09/2023, às 19:15, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **1261255** e o código CRC **A67FB84D**.

*Dedico à minha família, em especial aos meus pais Nelci do Rosário Farias e Darci Farias e
minha companheira Patrícia Borges da Silva.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Doutor Luiz Cláudio Garcia por todos os ensinamentos e conhecimento transmitido no decorrer da pesquisa.

Ao Professor Doutor Pedro Weirich Neto, Professor Doutor Jaime Alberti Gomes e a todos os demais colegas da equipe do Laboratório de mecanização agrícola – Lama, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, que estiveram envolvidos na implantação do experimento à campo, análises laboratoriais e auxílio na escrita deste trabalho.

A Comunidade Quilombola da Restinga do município da Lapa pelo espaço cedido para implantação do experimento a campo.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia pela contribuição para minha formação acadêmica.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa pelo espaço, equipamentos e recursos humanos despendidos para desenvolvimento da pesquisa.

RESUMO

FARIAS, A. **Caracterização da biomassa de genótipos de batata-doce para produção de bioetanol**. Orientador: Luiz Cláudio Garcia. Ponta Grossa, 2022. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Bioenergia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022.

O bioetanol produzido a partir de biomassa é uma alternativa de combustível renovável com potencial para substituir combustíveis fósseis, e um mecanismo importante na mitigação das emissões de gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa. As culturas amiláceas são consideradas fontes promissoras para a produção de bioetanol. A batata-doce (*Ipomoea batatas*), por exemplo, é caracterizada como uma importante fonte de amido. Objetivou-se avaliar características da parte aérea e raiz de 10 genótipos de batata-doce para produção de bioetanol. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos aleatorizados, com 10 tratamentos (BD1, BD2, BD3, BD4, BD5, BD6, BD7, BD8, BD19, BD20) e 03 repetições. Os genótipos foram cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, na safra de 2020. As variáveis analisadas foram: formato da raiz, defeito da superfície, espessura do córtex, cor predominante da periderme, intensidade da cor da periderme, cor secundária da periderme, cor predominante da polpa, cor secundária da polpa, distribuição da cor secundária da polpa, pigmentação da rama, pubescência do ápice da rama, comprimento das ramas principais, comprimento do entrenó da rama, diâmetro do entrenó, perfil geral da folha madura, tipo de lóbulo da folha madura, número de lóbulos da folha madura, forma do lóbulo central da folha madura, tamanho da folha, pigmentação das nervuras inferiores, cor da folha madura, cor da folha imatura, pigmentação do pecíolo, comprimento do pecíolo, massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e tamanho do grânulo de amido. Concluiu-se que os genótipos apresentam características morfológicas distintas para parte aérea e raízes tuberosas, e características distintas para o tamanho de grânulos de amido. Os genótipos com maior potencial para bioetanol são o BD3, BD4, BD5, BD6, BD7, BD19 e BD20.

Palavras-chave: amido, *Ipomoea batatas*, parte aérea, raiz tuberosa

ABSTRACT

FARIAS, A. **Biomass characterization of sweet potato genotypes for bioethanol production.** Advisor: Luiz Cláudio Garcia. Ponta Grossa, 2022. Dissertation (Bioenergy post graduation program), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022.

Bioethanol produced from biomass is considered as a renewable fuel alternative with potential for fossil fuels, an important mechanism in mitigating the sources of gases responsible for the increase of the greenhouse effect. Starch is one of the promising sources for bioethanol production. The sweet potatoes (*Ipomoea batatas*) for example, is an important source of starch. The aim of was to characterize the biomass of 10 sweet potato genotypes for bioethanol production. The experimental design used was randomized blocks, with 10 treatments (BD1, BD2, BD3, BD4, BD5, BD6, BD7, BD8, BD19, BD20) and 03 replications. The genotypes were cultivated in the municipality of Lapa, Paraná - Brazil, in the 2020 harvest. The variables analyzed were: root shape, surface defect, storage root cortex thickness, predominant periderm color, periderm color intensity, periderm secondary color, pulp color, predominant secondary pulp color, distribution of secondary pulp color, vine pigmentation, pubescence of the vine apex, length of the main vines, inter-node length of the vine, inter-node diameter, general leaf profile, type of mature leaf lobe, number of mature leaf lobes, mature leaf central lobe shape, leaf size, lower vein pigmentation, leaf color, immature leaf color, petiole pigmentation, petiole length, shoot fresh mass, root fresh mass, shoot dry mass, root dry mass and granule size of starch. It is concluded that the genotypes present distinct morphological characteristics for vegetative aerial and tuberous roots, and distinct characteristics for the size of starch granules. The genotypes with more potential for ethanol production are BD3, BD4, BD5, BD6, BD7, BD19, BD20.

Keywords: starch, *Ipomoea batatas*, aerial part, tuberous root.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Composição da estrutura do grânulo de amido. a) classificação das cadeias da amilopectina em tipo a, b e c. b) estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas. c) modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum. 21
- FIGURA 2 – Mudanças de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivados em copos descartáveis em casa de vegetação. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 2022..... 30
- FIGURA 3 – Mudanças de batata-doce (*Ipomoea batatas*) propagadas em copos plásticos descartáveis prontas para serem transplantadas na área definitiva. universidade estadual de ponta grossa (UEPG), 2022..... 31
- FIGURA 4 – Imagem do pecíolo, folha, tubérculo inteiro e corte transversal de genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2020. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 2022..... 45
- FIGURA 5 - Imagem do pecíolo, folha, tubérculo inteiro, corte transversal e fotomicrografia de microscopia eletrônica de varredura dos grânulos de amido dos genótipos BD-1, BD-7 e BD-2 cultivados no município da Lapa, Paraná – brasil, safra 2020. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 2022..... 49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Resultados das análises química do solo da área experimental, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 2018.....	29
TABELA 2 – Classificação morfológica das folhas conforme descritores propostos pelo <i>Centro Internacional de la Papa</i> - CIP (1991).....	34
TABELA 3 – Classificação morfológica das ramas (caule) conforme descritores propostos pelo <i>Centro Internacional de la Papa</i> - CIP (1991).....	35
TABELA 4 – Classificação morfológica das raízes tuberosas conforme descritores propostos pelo <i>Centro Internacional de la Papa</i> - CIP (1991).....	36
TABELA 5 - Classificação morfológica da parte aérea (caule) de 10 genótipos de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i>) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2020.....	38
TABELA 6 - Classificação morfológica da parte aérea (folha) de 10 genótipos de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i>) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2020.....	41
TABELA 7 - Classificação morfológica da raiz de 10 genótipos de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i>) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2020.....	43
TABELA 8 – Testes de média das características dos genótipos de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i>) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2020. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 2022.....	46
TABELA 9 – Tamanho de grânulos de amido dos genótipos de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i>) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2020. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 2022.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Bioenergia.....	13
2.2 Bioetanol.....	14
2.3 Batata-Doce.....	15
2.4 Amido.....	19
2.4.1 Composição e Formação Dos Grânulos De Amido.....	19
2.4.2 Estrutura Granular Do Amido.....	21
2.4.3 Gelatinização e Suscetibilidade à Ação Enzimática.....	24
3 OBJETIVOS.....	28
3.1 Objetivo Geral.....	28
3.2 Objetivos Específicos.....	28
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
6 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

O aumento na demanda por energia e a necessidade na redução da emissão de gases do efeito estufa por combustíveis fósseis, traz consigo o crescimento de pesquisas relacionadas a fontes de energia alternativas. Uma dessas fontes alternativas é o bioetanol, o qual pode ser produzido a partir da biomassa, podendo ter origem em diferentes matérias primas, tais como: a sacarose, material amiláceo, de origem celulósica, hemicelulósica e lignocelulósica. O Brasil e os Estados Unidos representam aproximadamente 77% da oferta mundial de etanol, sendo o Brasil responsável por 25% e os EUA 52%. Na safra 2018/2019, o Brasil alcançou a produção de 33,1 bilhões de litros de etanol. (EPE, 2019).

O amido é considerado uma das fontes promissoras para a produção de bioetanol. Compreende aproximadamente 70% da matéria seca do endosperma de um grão de cereal maduro e 50 a 80% na base seca de uma raiz tuberosa de batata-doce. É um material industrial atrativo devido sua alta produtividade, baixo custo e renovabilidade. (MIN GOU *et al.*, 2019).

Em culturas sacarinas, como a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino, o processo de fermentação ocorre de forma direta, através da transformação de moléculas de glicose em etanol. Já em culturas amiláceas, a glicose é armazenada na forma de amido, e nesse caso é necessário que aconteça a transformação da molécula de amido em hexoses via hidrólise.

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) é uma cultura amilácea e merece destaque por ser uma espécie rústica, apresentar grande resistência a pragas, pouca exigência em fertilidade do solo, ampla adaptação edafoclimática com baixo custo de produção. É uma planta de usos diversos, visto que todas as partes são passíveis de aproveitamento. Além de seu uso na alimentação humana e animal, pode-se constituir importante alternativa para a produção de biocombustíveis (etanol), e da inserção de agricultores familiares na cadeia de produção. Pela variabilidade genética existente, a caracterização quantitativa e qualitativa passa a ser fundamental para determinação do seu uso. (MOULIN *et al.*, 2014).

Características como o tamanho do amido e cristalinidade, são definidas pela origem botânica do amido. O tamanho do grânulo de amido por exemplo, tem influência sobre características físico-químicas deste, como a gelatinização e suscetibilidade da ação enzimática. Variações no tamanho das partículas do amido podem promover maior aplicabilidade industrial e tecnológica deste. (LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004).

Diante o apresentado objetivou-se avaliar características morfológicas de 10 genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) com potencial para produção de bioetanol. Assim, avaliou-se a parte aérea, raiz tuberosa e propriedades físicas de grânulos de amido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bioenergia

A ferramenta que permitiu e ainda continua permitindo a evolução da civilização é a energia, palavra derivada do latim com significado de trabalho. (AZEVEDO; AZEVEDO, 2016). As fontes de energia disponíveis ao homem podem ser divididas em, renováveis e não renováveis. As renováveis provêm de fontes capazes de se regenerar por meios naturais, sendo estes considerados inesgotáveis, como são os casos da energia hidrelétrica, eólica, solar, das marés, geotérmica e da biomassa. Já as fontes de energia não renováveis são recursos que quando utilizados, não são passíveis de serem repostos em prazo útil pela ação humana ou pela natureza. São considerados não renováveis os combustíveis fósseis (petróleo e carvão mineral), e os nucleares. (ANP, 2020).

As duas maiores regiões produtoras de energia primária do mundo são os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico e China, que juntas participam com 61,5% da oferta, seguidos dos demais países asiáticos e não membros da OECD na Europa e na Eurásia, que totalizam 20,9% na participação. Deste modo, essas regiões concentram 82,4% da demanda primária de energia global. (IEA, 2021).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDEE-2024), desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética, aponta que a energia de biomassa terá participação na matriz brasileira de 24,5% em 2024, indicando a importância desta fonte renovável. (EPE, 2019). No mundo, 86% da energia tem origem de fontes energéticas não renováveis, sendo que no Brasil cerca de 48,3% da energia é de origem renovável totalizando quase metade da matriz energética. (IEA, 2021).

O Brasil é reconhecido internacionalmente por sua ampla disponibilidade de recursos energéticos. No caso específico da biomassa o país apresenta condições edafoclimáticas favoráveis e extensa disponibilidade de terra. No ano de 2018 este teve incremento da geração hidráulica e eólica, aumento da oferta de biodiesel, redução da oferta de petróleo e derivados e redução da oferta de gás natural, caracterizando aumento no setor bioenergético. (EPE, 2019).

A bioenergia é definida como a energia derivada de materiais vivos como madeiras, culturas agrícolas, resíduos animais ou vegetais. (DIPTI; PRIYANKA, 2013). É fundamentada na biodiversidade que cobre o planeta, com geração podendo ser realizada em praticamente todo lugar, onde os processos fotossintéticos garantam o mínimo de condições para a realização da síntese da vida vegetal. (MOREIRA, 2007).

Esta constitui importante segmento das fontes de energias renováveis, fração cada vez mais representativa entre as matrizes energéticas em vários países. (LEMOS; STRADIOTTO, 2012). As tecnologias atuais de bioenergia são diversas, incluindo usinas para produção de combustíveis a partir da biomassa, como a produção de etanol de culturas sacarinas e amiláceas. (BRUCKNER *et al.*, 2014).

2.2 Bioetanol

Qualquer material de constituição orgânica que pode ser utilizado para a produção de energia é caracterizado como biomassa. (AZEVEDO; AZEVEDO, 2016). Trata-se da mais antiga fonte de energia que a humanidade conhece desde os tempos antigos, e a sua energia é a mais abundante e versátil entre as energias renováveis no mundo. (FERREIRA; MOREIRA; MONTEIRO, 2009; DIPTI; PRIYANKA, 2013).

A combustão de biomassa é o principal método de conversão de biomassa para energia, responsável por mais de 90% da contribuição global para a bioenergia. Dentro dos processos de conversão bioquímicos está a fermentação, que é um processo biológico que habitualmente visa a produção de etanol a partir de culturas bioenergéticas (sacarinas, amiláceas, oleaginosas e celulósicas), onde o açúcar presente nas plantas das plantas é convertido em álcool através da ação de microrganismos, obtendo como produto o etanol. (SILVA, 2013).

A inserção dos biocombustíveis líquidos na matriz energética brasileira ocorreu de forma maciça na década de 1970 devido as crises do petróleo, mais precisamente em 1975 com o nascimento do Proálcool brasileiro, política pública focada na ideia de reduzir o consumo de gasolina, e, portanto, diminuir as importações de petróleo. (MORENO; COELHO, 2012). A partir dos anos 1990 houve novos avanços adicionando a demanda ambiental à motivação de segurança do abastecimento, pela redução da dependência dos combustíveis fósseis. (AZEVEDO; AZEVEDO, 2016).

O uso dos biocombustíveis na matriz energética traz consigo diversos benefícios os quais podem ser observados no âmbito da sustentabilidade. No âmbito econômico, o consumo de etanol e biodiesel atua favoravelmente no sentido de reduzir os riscos relacionados à instabilidade do mercado mundial de petróleo e de aumentar a segurança do aprovisionamento de energia. (EPE, 2019).

O etanol se apresenta como uma das mais promissoras alternativas para combustíveis fósseis, podendo ser produzido a partir de diversas fontes renováveis. (ZABED *et al.*, 2017).

As diferentes matérias primas utilizadas na produção de bioetanol são divididas em gerações, de acordo com a composição e a tecnologia utilizada. (VIDAL, 2019).

Matérias primas utilizadas para produção de etanol de primeira geração (E1G), tem em sua composição açúcar e amido, sendo exemplos a cana de açúcar, milho, beterraba açucareira, batata-doce e trigo. Etanol de segunda geração (E2G) é produzido a partir de resíduos agrícolas, industriais e urbanos. (MORAIS, 2017). O etanol pode ser obtido a partir de matérias primas que possuem em sua composição celulose e hemicelulose como fonte primária de sacarídeos. Madeira, bagaço, folhas e caules são alguns exemplos de matéria prima utilizadas para obtenção de etanol E2G. Já o etanol de terceira geração (E3G) é obtido através de algas, que possuem grande produção de carboidratos e lipídeos por área e tempo. (RAY; RAMACHANDRAN, 2018; CARVALHO, 2018).

Em culturas amiláceas como a batata-doce, a glicose é armazenada como amido. Nesse caso é necessário realizar a conversão da molécula de amido em hexoses, através da hidrólise ácida ou enzimática. (CARVALHO, 2018). O maior gasto energético durante o processo de produção de etanol ocorre na conversão da molécula de amido em glicose. (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Avaliando hidrólise e fermentação a frio em amido de batata-doce, foi relatado potencial de 185 L Mg⁻¹ para o genótipo BRS Cuia[®] a qual possuía matéria seca de raiz de 401,2 g kg⁻¹ e teor médio de carboidrato de 28,7% (MASIERO *et al.*, 2014).

2.3 Batata-Doce

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) é uma espécie eudicotiledônea pertencente à família Convolvulaceae, ao gênero *Ipomoea* e à espécie *Ipomoea batatas*. (RAY; TOMLINS, 2010). A cultura possui sistema radicular robusto podendo chegar a 1,6 metros de profundidade, variando conforme o tipo de solo, o que confere a espécie tolerância à seca. A planta possui caule herbáceo de hábito prostrado, com ramificações de tamanho, cor e pilosidade variáveis, apresentando folhas largas, com formato, cor e recortes variáveis e pecíolo longo. As flores são hermafroditas, mas de fecundação cruzada devido à sua autoincompatibilidade. (COSTA, 2015).

O período de crescimento da cultura pode variar entre 12 e 35 semanas, porém períodos maiores com duração de 25 a 50 semanas também já foram reportados para algumas cultivares. (RAVI *et al.*, 2009). A etapa de desenvolvimento vegetativo se divide em três fases diferentes, sendo uma inicial responsável pelo crescimento extensivo das raízes adventícias e moderado

desenvolvimento da parte aérea, uma fase intermediária onde ocorre grande incremento da área foliar e início de tuberização, e uma fase final caracterizando-se pelo acúmulo de fotoassimilados nas raízes tuberosas ocorrendo estabilização e decréscimo da área foliar. (ERPEN *et al.*, 2013).

É uma planta tropical de origem da América Central e do Sul, portanto bem adaptada às nossas condições climáticas pelo fato ser originária da América tropical. Aproximadamente 92% do suprimento mundial de batata-doce é produzido na Ásia e nas Ilhas do Pacífico. (MOHANRAJ; SIVASANKAR, 2014). O país que apresenta maior produção é a China, com média relativa de 70,8% da produção mundial, em seguida o Malawi com 5,0%, já a produção brasileira representa 0,6%. (FAOSTAT, 2021). É a terceira tuberosa mais cultivada no Brasil, sendo utilizada essencialmente na alimentação humana. (LEONEL; CEREDA, 2002).

A batata-doce ocupa a sétima posição entre quase todas as culturas alimentares do mundo, com uma produção anual de 115 milhões de Mg. Dentre os componentes da batata-doce pode-se destacar o amido, seguido de açúcares simples, como sacarose, glicose, frutose e maltose. (MOHANRAJ; SIVASANKAR, 2014). Com base no seu elevado teor de amido a tuberosa se apresenta como uma cultura de múltiplos usos, podendo ser utilizada na alimentação humana in natura ou processada na forma de amido. Além do potencial bioenergético para a produção de etanol, pode ainda ser usada na alimentação animal, podendo as ramas serem fornecidas nas formas de forragem verde e silagem. (SILVEIRA, 2008; MONTEIRO *et al.*, 2007).

Avaliando dois experimentos com 08 genótipos de batata-doce, sendo 05 comerciais e 03 não identificados, com objetivo de determinar propriedades nutricionais por meio de diferentes épocas de corte (120, 150, 160, 170, 180 e 190 dias após o transplântio – DAT), para caracterizar o potencial em dietas de ruminantes, obteve-se valores de matéria seca de ramas variando de 163,6 a 181,9 g kg⁻¹. Os autores observaram que ramas com menores espaçamentos entre brotações tendem a ter maior quantidade de folhas, podendo levar a valores nutricionais diferentes e possível melhora na palatabilidade. Dos oito genótipos estudados, seis ficaram dentro do valor de amido determinante, com amido em base seca acima de 60% favorecendo um bom rendimento industrial para produção de etanol. (SILVEIRA, 2009). Estes genótipos apresentaram coloração de polpa da raiz, alaranjado intermediário, creme, creme escuro e fortemente pigmentado, havendo predominância da coloração creme. (VIEIRA, 2019). O cultivo foi conduzido sob plantio direto, técnica que se apresenta como fator relevante na redução da amplitude térmica do solo. (COSTA *et al.*, 2003).

Verificando os potenciais produtivo e genético de 10 clones de batata-doce visando a seleção de materiais genéticos mais produtivos, Cavalcante *et al.* (2009) encontraram comprimentos de rama variando de 67,4 a 102,1 cm. A distância de entrenós foi de 2,94 a 4,72 cm. Já o diâmetro do entrenó ficou entre de 4,33 a 6,00 mm.

Estudando nove características de parte aérea e cinco de raiz para 53 genótipos de batata-doce selecionados na região do Vale do Ribeira, observou-se alta variabilidade morfológica a partir da avaliação de 14 descritores morfológicos de parte aérea e raiz. Os descritores que apresentaram maior variabilidade para parte aérea foram a pigmentação da rama, formato dos lóbulos e pubescência do ápice da rama. Os autores atribuíram a diversidade encontrada ao sistema reprodutivo da espécie, a qual se dá por alogamia, por eventuais mutações somáticas e pelas trocas de material propagativo que ocorrem entre agricultores. Para o sistema radicular a maioria (46%) das variedades avaliadas apresentaram predominância da coloração creme para casca das raízes tuberosas. (VEASEY *et al.*, 2007).

Ao avaliar morfológicamente a parte aérea e o sistema radicular de 14 acessos de batata-doce, Daros *et al.* (2002) concluíram que mesmo as características comerciais sendo definidas pelo sistema radicular, a parte aérea se revelou com maior variabilidade, sendo mais útil na discriminação dos acessos estudados. A ocorrência de variabilidade genética entre os acessos foi proporcionada principalmente pelas características de pubescência do ápice das ramas, pigmentação das nervuras inferiores da folha e formato das raízes.

Testando cinco doses de nitrogênio (0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹), em três clones de batata-doce identificados como IPB-052, IPB-075 e IPB-149, com três repetições, Santos Neto *et al.* (2017) observaram média de produtividade total de raiz variando de 30,2 Mg ha⁻¹ a 55,2 Mg ha⁻¹. Já a matéria seca de raiz variando de 270 g kg⁻¹ a 320 g kg⁻¹. A biomassa da parte aérea dos clones avaliados respondeu linearmente às doses de nitrogênio utilizadas, sendo a dose de 120 kg ha⁻¹ a que proporcionou máximo rendimento.

Mensurando a produtividade média de raízes de batata-doce (Mg ha⁻¹), danos causados por insetos de solo, teor de matéria seca das raízes e rendimento de etanol (m³ ha⁻¹), com foco no rendimento potencial de etanol a partir de 100 genótipos de batata-doce, cultivados em dois locais diferentes, obtiveram-se rendimentos médios de raízes de 10,6 Mg ha⁻¹ a 55,1 Mg ha⁻¹ e teores de matéria seca de 293 g kg⁻¹ a 381 g kg⁻¹, alcançando rendimentos na produção de etanol de 181,6 L Mg⁻¹. Para os dois ambientes avaliados, três dos genótipos selecionados e uma cultivar, apresentaram alto potencial de produção de raízes, pouca incidência de insetos de solo,

podendo estes serem promissores para utilização na indústria de etanol. (SANTANA *et al.*, 2013).

Com objetivo de melhorar a qualidade de processamento e aumentar a atratividade de determinados genótipos de batata-doce em estudo de 10 acessos, Shumbusha *et al.* (2014) obtiveram conteúdo de matéria seca de raiz entre 235 g kg⁻¹ e 352 g kg⁻¹. Qualificando 30 clones de batata-doce, obteve-se rendimentos de raízes entre 3,1 Mg ha⁻¹ e 59,7 Mg ha⁻¹ e níveis de matéria seca entre 230 g kg⁻¹ e 381 g kg⁻¹. Os autores concluíram que dentre os clones selecionados houve predominância de altos teores de matéria seca para aqueles de coloração de polpa clara (branca, creme ou amarela). (MOMENTÉ *et al.*, 2004).

Avaliando a produtividade de raízes de cultivares de batata-doce desenvolvidas para a produção de etanol, trabalharam com 07 cultivares (05 eram destinadas a produção de etanol e 02 ao consumo *in natura*). Destacou-se que as cultivares Duda e Uruguaiana foram as mais indicadas para a produção de etanol por apresentarem os maiores teores de massa seca por unidade de área respectivos de 15,8 Mg ha⁻¹ e 12,2 Mg ha⁻¹. (RÓS, 2017).

Estudando a caracterização físico-química de sete tipos de tuberosas amiláceas, observaram genótipos de batata-doce com 322 g kg⁻¹ de matéria seca de raiz. (LEONEL; CEREDA, 2002). Ao analisar a variabilidade fenotípica e a divergência genotípica entre 50 clones de batata-doce, encontraram-se rendimentos de massa fresca de raiz variando entre 4,4 Mg ha⁻¹ e 45,5 Mg ha⁻¹ e valores de matéria seca de raiz variando entre 245 g kg⁻¹ e 391 g kg⁻¹. (MARTINS *et al.*, 2012).

Averiguando 39 genótipos de batata-doce para diversos usos, Gonçalves *et al.* (2011) identificaram-se 08 genótipos com aptidão para a produção de etanol. Estes alcançaram massa fresca de raiz entre 44,8 e 98,0 Mg ha⁻¹, massa seca de raiz 14,3 e 31,6 Mg ha⁻¹, alcançando matéria seca de raiz de 236 e 329 g kg⁻¹.

Avaliando 06 genótipos de batata-doce com potencial para produção de etanol cultivados em 03 diferentes períodos (3, 5 e 7 meses), obteve-se teor máximo de matéria seca de raiz de 383 g kg⁻¹, teor máximo de amido de 26,70% com concentração de amilose de 23% e rendimento de etanol de 176 L Mg⁻¹ para o genótipo IBP-149. A conclusão foi de que o período de cultivo de 05 meses foi o mais adequado. (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A cultura da batata-doce se apresenta com grande potencial para a produção de etanol, tendo em sua composição amido que apresenta um teor de 80% na base seca. O amido é um material industrial atrativo devido a sua alta produtividade, baixo custo e renovabilidade. (MIN GOU *et al.*, 2019; LAWTON, 2016; WANG *et al.*, 2020).

2.4 Amido

2.4.1 Composição e Formação Dos Grânulos De Amido

O amido é um carboidrato insolúvel em água, não estrutural, composto por polímeros de α -glicose sendo este sintetizado pelas plantas e algas para armazenamento de energia em uma forma densa. (PFISTER; ZEEMAN, 2016). Este se apresenta como a principal substância de reserva nas plantas superiores, estando presente em mais de 50% de farinhas e representando 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem. Os depósitos permanentes do amido nas plantas acontecem nos órgãos de reserva, como é o caso de grãos em cereais, de tubérculos e raízes. (LEONEL; CEREDA, 2002). Em geral o teor de amido representa de 20 a 30% da massa fresca de uma raiz tuberosa de batata-doce tornando as raízes tuberosas uma importante fonte de amido para diferentes usos. (AMS, OLIVEIRA *et al.*, 2017). Raízes e tubérculos produzem elevado rendimento em calorias por área cultivada. (KERBAUY, 2004).

Dentre os polissacarídeos, apenas o amido se organiza na forma de grânulos, sendo estas pequenas unidades relativamente densas. Os grânulos se desenvolvem ao redor do ponto de nucleação, qual é denominado como hilum, este contém grande proporção de terminais redutores das moléculas de amido e é normalmente menos organizado que o resto do grânulo. O hilum é encontrado no centro da cruz de Malta, a qual pode ser observada microscopicamente, esta é originada pela refração das regiões cristalinas, com forma e tamanho variando entre os vegetais (Figura 1). (DENARDIN; SILVA, 2009; PASCOAL, 2014).

O amido possui em sua constituição moléculas de glicose sendo uma mistura de dois polissacarídeos denominados amilose e amilopectina, apresentando cerca de 20 a 30% de amilose, um polímero linear composto por cadeias longas de glicose unidas por ligações glicosídicas α -(1,4) e 70 a 80% constituído pela amilopectina, um polímero altamente ramificado, formado por cadeias curtas de glicose unidas por ligações glicosídicas α -(1,4) e α -(1,6), os quais estão dispostos em um grânulo pouco solúvel em água e a moléculas grandes como amilases. (HUAMAN, 1992; LEE; KIM, 1990).

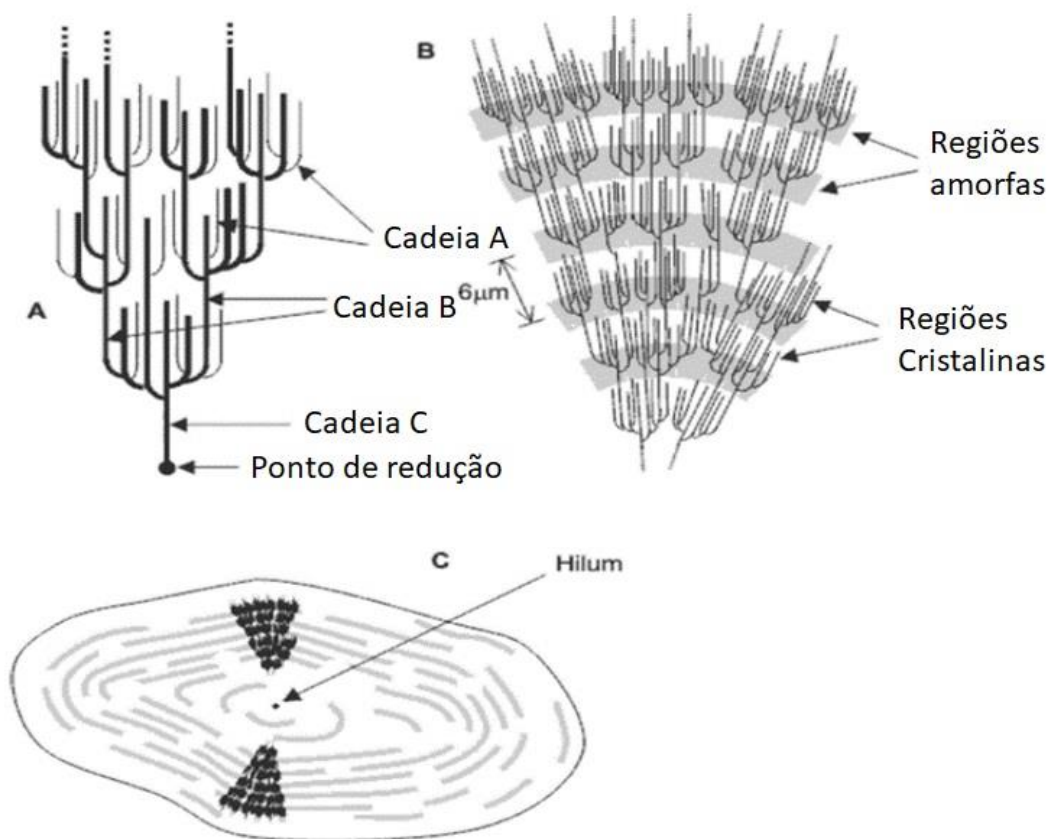
A amilose possui um importante papel na conversão de amido em glicose, seu teor no grânulo de amido varia conforme a fonte botânica, podendo ser afetado pelas condições climáticas e tipo de solo durante o período de crescimento. Alguns trabalhos correlacionam que a concentração de amilose é maior em grânulos maiores de amido bimodal. (LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004; AEHLE, 2007). A amilopectina é, estrutural e funcionalmente a mais

importante das duas frações pelo fato de sozinha ser suficiente para formar o grânulo, como ocorre em mutantes que são desprovidos de amilose. A amilopectina apresenta maior importância na cristalinidade do grânulo de amido. (DENARDIN; SILVA, 2009). Além disso a amilopectina absorve muita água durante o processo de cocção do amido, sendo a grande responsável pelo inchamento do grânulo. (PASCOAL, 2014).

Na região interna do grânulo o material se encontra depositado na forma de anéis concêntricos, conhecidos como anéis de crescimento (Figura 1C), estando organizados em regiões cristalinas e amorfas alternadas (Figura 1B). Tal forma de crescimento em anéis sugere que o amido seja depositado em um ritmo diário de forma que o material recém sintetizado esteja depositado na superfície, fazendo com que os grânulos aumentem seu tamanho no decorrer do tempo. (DENARDIN; SILVA, 2009).

O grânulo de amido é composto por regiões cristalinas e não cristalinas (amorfas) rearranjadas de forma alternada. A região cristalina é constituída por duplas hélices das cadeias paralelas A, B e C da amilopectina (Figura 1A). A cristalinidade tipo A ocorre na maioria dos cereais sendo composta por uma cadeia não redutora de glicoses unidas por ligações α -(1,4) sem ramificações, sendo unida a uma cadeia tipo B por meio de ligações α -(1,6). Cadeias do tipo B estão presentes em tubérculos, sendo compostas por glicoses ligadas em α -(1,4) e α -(1,6) com uma ou várias cadeias do tipo A e podendo conter cadeias do tipo B unidas por meio de um grupo hidroxila primário. A cadeia tipo C é única em uma molécula de amilopectina, formada por molécula com uma extremidade redutora livre. (SINGH *et al.*, 2003; PFISTER; ZEEMAN, 2016).

Figura 1 – Composição da estrutura do grânulo de amido. A) classificação das cadeias da amilopectina em tipo a, b e c. B) estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas. C) modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum



FONTE: Adaptado de Denardin; Silva, 2009

2.4.2 Estrutura Granular Do Amido

O tamanho de um grânulo de amido refere-se a medida do diâmetro do grânulo, variando de menos de 1,0 µm a mais de 100,0 µm. O amido de batata andina possui uma ampla distribuição de tamanho de grânulo, variando de 5 a 100 µm. A variação de tamanho tem total correlação com a origem botânica que o amido está sendo isolada. Grânulos de amido também se diferem em sua morfologia, por exemplo os provindos de tubérculos e raízes são geralmente ovais. (LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004; NODA *et al.*, 2005; NAGULESWARAN *et al.*, 2012). Lindeboom; Chang; Tyler, (2004) classificaram grânulos grandes como maiores que 25 µm, médios com valores entre 10 e 25 µm, pequenos entre 5 e 10 µm e bem pequenos com tamanhos menores que 5 µm. O tamanho dos grânulos afeta a composição do amido,

propriedades de pasta e gelatinização, características de panificação, cristalinidade e poder de inchamento (ANDO *et al.*, 2002).

Estudando tamanho de amido de mandioca conforme épocas de colheita (03, 07 e 11 meses), Fernandes; Santos; Leonel (2017) dimensionaram os tamanhos em pequeno, médio; em todas as épocas. Porém aos três meses a distribuição apresentou maior valor relativo de grânulos com 2 a 10 μm . O diâmetro médio de massa dos grânulos de amido de mandioca aos 03 meses foi de 12,9 μm diferindo estatisticamente do diâmetro médio aos 07 meses com 14,6 μm e 11 meses com 14,9 μm . Sendo assim, conforme as plantas se desenvolveram, os grânulos aumentaram de tamanho, devido ao processo de tuberização. Dessa forma de acordo com o uso desejado do amido é possível através da distribuição de tamanho de grânulo determinar o tempo de colheita para se obter elevadas quantidades de grânulos maiores ou menores. (FERNANDES; SANTOS; LEONEL, 2017).

Em pesquisa com a cultura do arroz Vandeputte; Delcour (2004), asseveram que o tamanho de partícula (2 a 100 μm), a distribuição de tamanho da partícula (unimodal, bimodal, trimodal) e a forma (redondo, oval, poliédrico) de grânulos de amido variam conforme a espécie botânica, a distribuição de tamanho varia ainda com o estágio de desenvolvimento da planta e forma de tuberização no caso de culturas tuberosas. Para a batata-doce, em geral o tamanho dos grânulos de amido está distribuído de forma diferente entre as diferentes colorações de variedades. Caracterizando a estrutura e físico-quimicamente sete variedades de batata-doce roxa Yong *et al.* (2018) relataram grânulos de amido com tamanho variando de 4,3 μm a 23,6 μm . Os formatos variaram em redondo, poligonal e hemisférico.

Avaliando grânulos de amido de tritcale, trigo e milho, Naguslewaran *et al.* (2012) mensuraram diâmetros médios de grânulo de 15,9 μm , 9,6 μm e 9,4 μm respectivamente. A classificação dos pesquisadores se deu como, grandes (>10 μm) e pequenos (<10 μm). Foi observado níveis de cristalinidade maiores em grânulos grandes. Os grânulos pequenos foram hidrolisados a uma taxa maior (1,0 hora à 55° C). Os autores concluíram que tal fato deveu-se ao maior tamanho de superfície de área por unidade de massa.

Estudando grânulos de amido de quatro genótipos com tamanho de grânulos indo de 5,4 a 22,4 μm , dividiu-se os mesmos em grânulos tipo A (10-40 μm) e B ($\leq$ 10 μm). De maneira geral, os autores observaram maior teor de amilose em grânulos grandes (>15 μm) que os grânulos pequenos ($\leq$ 10 μm). O teor de amilose apresentou correlação negativa com o grau de cristalinidade dos amidos, ou seja, quanto maior o teor de amilose do grânulo de amido, menor sua cristalinidade. Os amidos obtidos dos genótipos que apresentaram menores índices de

cristalinidade se mostraram mais susceptíveis à hidrólise enzimática. (YONEMOTO; CALORI; FRANCO, 2007).

Em estudo com onze cultivares de arroz para terras altas, foram encontrados grânulos de amido variando de 4,3 a 6,2 μm . Os grânulos de amido foram caracterizados como sendo de formatos poliédricos, irregulares com faces distintas e angulares para todos os genótipos avaliados. Os autores notaram que amidos de arroz ricos em amilose mostraram poder de inchamento e solubilidade inferiores, mesmo submetidos a maiores temperaturas, considerando o conteúdo de amilose um dos fatores que interferem no intumescimento do grânulo de amido. (RAÍZA; PRISCILA, 2016). Em trabalhos anteriores, o tamanho dos grânulos do amido de arroz já haviam sido caracterizados como muito pequenos, variando de 03 a 09 μm . (FRANCO; CABRAL; TAVARES, 2002; QI-HUA *et al.*, 2009).

Pela importância econômica caracterizada pela magnitude de utilização, a procura de matérias primas como fontes de amido é comum, tanto como de culturas alternativas quanto de coprodutos. A *Solanum lycocarp* conhecida como lobeira, encontrada naturalmente em campos sujos e cerrados brasileiros, apresenta grânulos de amido tipo C, de aspecto cônico, com formas irregulares e tamanho variando de 10,0 a 14,4 μm . (PASCOAL, 2014). Já o amido presente no mesocarpo do babaçu (*Attalea speciosa*), palmeira de grande importância econômica e social no Centro-oeste e Norte do Brasil, tem tamanho de grânulos de tamanho médio de 12,6 μm e desvio de 3,57 μm , apresentando formas esféricas ou ovais com superfície lisa. O fato de o tamanho dos grânulos de amido do mesocarpo do babaçu serem de tamanhos médios confere maior suscetibilidade enzimática durante o processo hidrolítico. (TORRES *et al.*, 2014).

Avaliando a forma e tamanho de grânulos de amido de diferentes fontes botânicas tuberosas (Açafrão, ahipa, araruta, batata-doce, biri, gengibre, mandioca, mandioquinha-salsa, taioba, taro e zedoária), relatou-se grânulos de amido de menor tamanho para taioba (*Xanthosoma sp.*) 12,9 μm , e os de maior tamanho o biri (*Canna edulis*) 59,6 μm . Para batata-doce os valores para o tamanho de amido variaram de 12 a 55 μm , com uma distribuição concentrada na faixa de 12 a 20 μm . Os grânulos de amido apresentaram formas circulares e poliédricas. A análise do amido de mandioquinha-salsa mostrou grânulos com forma circular predominantemente e alguns poliédricos. Quanto à distribuição de tamanho dos grânulos, observaram-se grânulos de diferentes tamanhos (7 a 45 μm) com predomínio de grânulos na faixa de 15 a 25 μm de diâmetro maior. (LEONEL, 2007).

Com objetivo de entender a relação entre a coloração de tubérculos de batata-doce com propriedades estruturais e funcionais do amido (estrutura cristalina, tamanho do grânulo,

solubilidade em água e propriedades termais), avaliaram-se 03 cultivares com coloração branca, 03 com coloração amarela e 03 com coloração roxa. Os autores encontraram diâmetros de 13,1µm, 14,6 µm e 18 µm para as variedades brancas. Já para as cultivares amarelas os valores foram de 28,9 µm, 31 µm e 31,5 µm. No caso da coloração roxa os dados foram 17,6 µm, 20,7 µm e 22,4 µm. Estes concluíram não haver relações entre as propriedades estruturais e funcionais do amido com as diferentes colorações de tubérculos de batata-doce avaliados. (GUO *et al.*, 2019).

Avaliando propriedades físico-químicas em grânulos de amido de 11 genótipos de batata-doce, relatou grande variação no tamanho dos grânulos encontrando tamanhos de 4,8 µm e 23,1 µm, ambos para genótipos com coloração roxo claro para a polpa (ZHU *et al.*, 2011). Os autores observaram grande diversidade para os formatos dos grânulos de amido, sendo encontrados formatos arredondados, poligonais, ovais ou semiovais, poligonais e semiovais juntos.

Comparando tamanhos de grânulos de amido de 07 genótipos de batata-doce com grânulos de amido provenientes de amido de milho (*Zea mays*) e de batata andina (*Solanum tuberosum* L.), relataram-se grânulos de batata-doce variando de 10,3 µm a 17,4 µm, atribuindo a variação de tamanho a diferença genética, a fisiologia da planta e ao ambiente de cultivo (ZHU; XIE, 2018).

O tamanho e estrutura do grânulo de amido influenciam propriedades físico-químicas, como a composição (razão entre amilose e amilopectina), massa e estrutura molecular, gelatinização, suscetibilidade à ação enzimática (hidrólise) e cristalinidade. (SILVA; MONTEIRO; ROUBOA, 2013; BORBA *et al.*, 2017).

2.4.3 Gelatinização e Suscetibilidade à Ação Enzimática

A gelatinização é o processo de ocorrência de perda da organização macro molecular dentro dos grânulos de amido na presença de água e calor. Tal processo demanda cerca de 30 a 40% da energia aumentando significativamente os custos na conversão de amido em etanol. Características como o tamanho de grânulos de amidos estão diretamente relacionadas com o processo de gelatinização. (LEONEL, 2007; ZHU *et al.*, 2011; MASIERO *et al.*, 2014). Ao comparar o processo hidrolítico para grânulos de amidos grandes e pequenos em cevada e milho, observaram-se taxas iniciais de hidrólise altas para grânulos pequenos e tempo de

duração do processo hidrolítico maior para grânulos maiores. (NAGULESWARAN *et al.*, 2013).

A entrada de enzimas hidrolisantes e outras moléculas grandes para o interior dos grânulos é restrita e somente possível através de poros ou canais. (DENARDIN; SILVA, 2009). A porosidade dos grânulos de amido à água e a pequenas moléculas solúveis ocorre devido à expansão reversível das regiões amorfas, que permeiam por todo o grânulo durante a hidratação formando uma fase contínua de gel. (ELIASSON, 2004).

Ao caracterizar grânulos de amido de lobeira (*Solanum lycocarpum*), Pascoal (2014) observaram a presença de poros na superfície de alguns grânulos na forma de orifícios ou canais que penetram em uma direção radial ao longo do grânulo de amido, no entanto mais estudos devem ser realizados para comprovar a existência desses poros e canais em todas as fontes de amido. Alguns trabalhos realizados em microscopia eletrônica de varredura sugerem orifícios com diâmetros entre 0,1 e 0,3 μm , enquanto canais interiores teriam valores variando entre 0,07 e 0,1 μm . (ELIASSON, 2004).

A suscetibilidade à ação enzimática, características termais, absorção de água e solubilidade dos grânulos de amido de batata-doce, estão intimamente correlacionadas ao teor de amilose. (ZHU *et al.*, 2011). Amidos que apresentam altos teores de amilose têm maior presença de regiões amorfas. Estas regiões são menos densas e apresentam expansão reversível, favorecendo a porosidade dos grânulos de amido a água e a pequenas moléculas solúveis, tornando-os mais susceptíveis ao ataque enzimático. Estas áreas possuem fragilidade das ligações de hidrogênio, característica que favorece o início do processo de gelatinização sob menores temperaturas. Fator contrário é observado em regiões cristalinas 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, uma vez que mais energia é necessária para iniciar a fusão na ausência de regiões amorfas ricas em amilose. (SINGH *et al.*, 2003; DENARDIN; SILVA, 2009; PASCOAL, 2014).

Comparando características de grânulos de amido de 03 genótipos de batata-doce, com feijão mungu (*Vigna radiata*) e batata andina (*Solanum tuberosum*), observou-se que quanto maior era o grânulo de amido, maior era a temperatura de início da gelatinização. (CHEN, 2003). Para os 03 genótipos de batata-doce avaliados os formatos do grânulo foram poligonais, poligonais arredondados, esféricos e ovalados. O genótipo XuShu18[®] apresentou tamanho de grânulo variando de 4,1 a 27,5 μm e temperatura inicial de gelatinização de 69°C. Para o genótipo SuShu2[®] o tamanho do grânulo variou entre 3,4 e 22,0 μm , e temperatura inicial de

gelatinização de 59°C. Já o genótipo SuShu8[®] o tamanho variou entre 3,4 e 24,1 µm, com temperatura inicial de gelatinização com 58°C.

Mensurando o efeito do tamanho dos grânulos de amido de duas variedades de mandioquinha-salsa, fracionados por tamanho e classificados em grânulos integrais, grânulos grandes ($\geq 20\mu\text{m}$), grânulos médios (>10 e $<20\mu\text{m}$) e grânulos pequenos ($\leq 10\mu\text{m}$), Rocha (2007) observou que as temperaturas de gelatinização obtidas através de calorimetria exploratório diferencial, diminuíram conforme o tamanho dos grânulos de amido reduziram. A autora concluiu que quanto menor o tamanho do grânulo, maior a suscetibilidade à ação enzimática no processo de hidrólise. Tal conclusão foi atribuída a maior área superficial dos grânulos e ao fato de que as enzimas atacam tanto as regiões amorfas quanto as regiões cristalinas dos grânulos de amido. Também se observou que grânulos grandes possuem formas circulares, enquanto grânulos pequenos eram predominantemente poligonais, para grânulos classificados como muito grandes ($\geq 30\mu\text{m}$) foi observado formas irregulares. A adsorção e ligação à superfície do grânulo é um passo fundamental na hidrólise de amido. (TORRES *et al.*, 2014).

O tamanho do grânulo de amido é um fator determinante na digestibilidade pela enzima amilase, onde grânulos maiores possuem área superficial reduzida quando comparados à grânulos menores, fator que reduz a digestibilidade. Noda *et al.* (2005) avaliaram a taxa de hidrólise em grânulos de amido de batata andina (*Solanum tuberosum*). Os pesquisadores dividiram estes em grandes, pequenos e extremamente pequenos com tamanho médio de 42,3 µm, 21,6 µm e 13,6 µm. A conclusão foi que a taxa de hidrólise através da enzima hidrolítica glucoamilase aumentou conforme houve redução no tamanho do grânulo de amido. O valor observado para a taxa de hidrólise foi de 1,21% para os grânulos extremamente pequenos sendo esta taxa 2,69 vezes maior para os grânulos grandes e 1,61 vezes maior para os grânulos pequenos.

Fatores ambientais como a temperatura do solo também podem influenciar o processo de gelatinização. Avaliando amido extraído de 02 cultivares de batata-doce cultivadas em 04 temperaturas diferentes de solo (15, 21, 27 e 33°C), os autores encontraram tamanhos de grânulos de amido variando de 8,9 a 13,0 µm e 9,3 a 13,2 µm para as 02 cultivares estudadas, havendo aumento de 4,1 e 3,9 µm respectivamente conforme a temperatura do solo se elevou de 15 para 27°C. Conforme a temperatura do solo foi elevada de 15°C para 33°C, as temperaturas iniciais de gelatinização para ambos os genótipos se elevaram em ao menos 20°C, houve também aumentos para os teores de amilose conforme a elevação de temperatura. Os

autores verificaram redução na eficiência do processo de hidrólise de 7,2 para 4,4% e 6,0 para 3,6% para as 02 cultivares, conforme a temperatura do solo foi elevada de 15 para 33°C. Estes concluíram que quanto maiores as temperaturas do solo durante o período de cultivo, maiores temperaturas foram exigidas durante o processo de gelatinização (NODA *et al.*, 2001).

Avaliando a eficiência enzimática por meio da enzima amilase em 07 diferentes fontes de amido, concluiu que grânulos com diâmetros maiores e menor área de superfície por unidade de massa, são substratos menos susceptíveis para amilase em relação aos indicativos da disponibilidade de amido, eficiência catalítica e taxa inicial de hidrólise. (TAHIR; ELLIS; BUTTERWORTH, 2010).

Grânulos de amido menores são considerados adequados aos processos de liquefação e sacarificação com foco na obtenção de produtos à base de açúcares e álcool. Tal afirmação está embasada no fato de grânulos maiores apresentarem superfície de área por unidade de peso relativamente menores possuindo menor afinidade quando comparado a grânulos menores em relação à ligação/adsorção da enzima α -amilase. (TAHIR; ELLIS; BUTTERWORTH, 2010; ZHU; WANG, 2014).

Estudos relacionados a características físico-químicas de grânulos de amido são de extrema importância na produção de etanol, levando em consideração que o maior gasto energético durante o processo ocorre na conversão de amido em glicose. (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente estudo foi caracterizar a biomassa de 10 genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) com potencial para produção de bioetanol.

3.2 Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo geral, as seguintes ações foram realizadas:

- 1) Classificar morfológicamente as raízes tuberosas.
- 2) Classificar morfológicamente a parte aérea.
- 3) Avaliar o tamanho do grânulo de amido.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi em blocos aleatorizados com dez tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram em dez genótipos de batata-doce. As parcelas a campo tinham 12,0 m² (3,0 x 4,0 m) e área amostral de 4,0 m² (2,0 x 2,0 m).

O experimento foi realizado na safra 2019/2020 na Comunidade Quilombola da Restinga. Está localizada no município da Lapa, Paraná, Brasil (Latitude Sul 25° 43'53.84", Longitude Oeste 49° 42'33.29") a 908 m de altitude. O clima é caracterizado como temperado Cfb, com variação anual da temperatura média entre 17,1 °C e 18 °C, e precipitação anual média entre 1.400 mm e 1.600 mm (IAPAR, 2019). O tipo de solo com maior predominância no município da Lapa é caracterizado como Cambissolo. Na Tabela 1 observamos os resultados de análises química da área experimental.

Tabela 1 - Resultados das análises química do solo da área experimental, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 2018

ANÁLISE QUÍMICA											
Prof.	pH CaCl ₂	C-Org g dm ⁻³	Al	Ca	Mg	K	H+Al	CTC (pH 7,0)	CTC efetiva	V%	P _{Mehlich} mg dm ⁻³
0 – 20 cm	5,3	25,5	0	3,6	1,0	0,6	6,7	11,4	5,2	45,9	4,5

A obtenção das mudas foi realizada a partir dos genótipos de batata-doce mantidas no banco de germoplasma do Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama /UEPG). Destes, cinco correspondiam a acessos coletados junto a agricultores camponeses nas mesorregiões no Centro Sul, Sudeste e região Metropolitana de Curitiba do Estado do Paraná, e nomeados como BD2 (Batata-Doce 2), BD3 (Batata-Doce 3), BD8 (Batata-Doce 8), BD19 (Batata-Doce 19) e BD20 (Batata-Doce 20). Os demais genótipos correspondiam a cinco variedades comerciais de batata-doce: BD1 (BRS Cuia®), BD4 (Brazlândia Roxa®), BD5 (BRS Amélia®), BD6 (BRS Rubissol®), pertencentes a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa); e BD7 (Beauregard®), cultivar estadunidense introduzida no país pela Embrapa.

O cultivo se deu em casa de vegetação de 276 m² com cobertura plástica transparente de 150 micras de espessura, com sistema de resfriamento da marca PAD-FAN®. Cada muda foi obtida através do corte de ramas de plantas matrizes, seguindo método descrito por CHENG;

CHU (2004). Estas possuíam em média 15 cm de comprimento, priorizando-se o uso da porção apical da rama e a presença de ao menos 04 gemas por muda. Utilizou-se copos plásticos descartáveis para desenvolvimento das mudas, sendo utilizado substrato composto pela mistura de terra de barranco peneirada mais esterco de curral curtido e calcário, na proporção respectiva de 50 L por 4,0 L por 0,1 kg (Figura 2).

Figura 2 – Mudas de batata-doce (*Ipomoea batatas*) propagadas em copos plásticos descartáveis em casa de vegetação, safra 2019-2020, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)



FONTE: Lama/UEPG

As mudas permaneceram em casa de vegetação pelo período de 15 dias. Posteriormente foram transportadas para o município da Lapa, em caixas de verdura vazadas cobertas com lona plástica para evitar danos causados pelo vento, até a área onde ocorreu o transplantio. As mudas foram transplantadas em leiras com espaçamento de 0,8 m, e 0,4 m entre plantas (Figura 3). O transplantio ocorreu em meados de outubro de 2019 e a colheita em meados de abril de 2020.

Figura 3 – Mudas de batata-doce (*Ipomoea batatas*) propagadas em copos plásticos descartáveis prontas para serem transplantadas na área definitiva, Universidade Estadual De Ponta Grossa (UEPG), safra 2019-2020



FONTE: Lama/UEPG

Com 180 dias após o transplântio (DAT) realizou-se a colheita das plantas e caracterização morfológica dos órgãos da parte aérea e das raízes tuberosas dos 10 genótipos. Para tal, foram analisados 25 descritores para folhas (Tabela 2), caules (Tabela 3) e raízes tuberosas (Tabela 4) sugeridos pelo *Centro Internacional de la Papa* - CIP (1991).

O método para caracterização morfológica é visual, através do mesmo pode-se classificar qualitativamente e quantitativamente folhas, caules e raízes tuberosas. No caso qualitativo classifica-se quanto a formato, cores principais, cores secundárias, pigmentação, cores de composição (exemplo: são periderme e polpa) entre outros parâmetros. No caso quantitativo são classificadas magnitudes e proporções de folhas, caule e raízes tuberosas.

Para determinação da massa fresca das raízes, os tubérculos após colhidos foram acondicionados em sacolas plásticas e transportados até o laboratório, onde utilizou-se balança, marca Balmak® modelo ELP-25, com acurácia de 1 g. Após as raízes foram cortadas, acondicionadas em formas de metal, e levadas para estufa de ventilação forçada, marca Bipolar® modelo SA80AD, onde permaneceram horas à temperatura de 60°C até massa constante, aproximadamente 72 horas. Após o período realizou-se nova determinação de massa, para obtenção da massa seca da parte raiz. Para a determinação de massa fresca e seca de parte aérea foi realizado o mesmo procedimento.

Para determinação da matéria seca definitiva ou matéria seca total (MS) utilizou-se 0,2 g da amostra pré-seca, a qual foi determinada a massa em balança analítica da marca

Shimadzu® modelo AUX220, com acurácia de 0,0001 g. Esta foi disposta em cadinhos, previamente esterilizados, e os recipientes com as amostras foram colocados em estufa regulada a temperatura entre 100/105 °C por 16 horas, depois de retiradas as amostras foram colocadas em dessecador por 20 minutos, para atingirem temperatura ambiente e assim determinar a massa final. A MS foi calculada conforme equação 1.

$$\text{Matéria Seca (g g}^{-1}\text{)} = \frac{(MF-MC)}{MA} \times 100$$

Onde: MF= Massa Final após a secagem (recipiente + amostra) em gramas (g);

MC= Massa do recipiente vazio em gramas (g);

MA= Massa da Amostra em gramas (g).

Para determinação do conteúdo de amido nas raízes tuberosas, estas após colhidos foram lavadas em água corrente, descascadas manualmente, cortadas em cubos. Destes determinou-se massa, sendo triturados em liquidificador com uso de água deionizada em proporção de 1:1 (massa/massa). A mistura foi então filtrada em peneira de malha 80 (0,177 mm). O filtrado permaneceu à temperatura ambiente por aproximadamente 15 minutos até a precipitação do amido, então este foi lavado por três vezes com água destilada e duas vezes com álcool 70%, entre cada lavagem, esperava-se 15 minutos de intervalo para precipitação do amido. O amido foi seco em estufa de ventilação forçada a 50°C por 20 horas e peneirado em peneira malha 200 (0,064 mm). As imagens dos grânulos de amido foram obtidas via microscopia eletrônica de varredura (MEV), e o tamanho do grânulo foi determinado por meio da utilização do programa Image J (free).

As variáveis analisadas foram:

- 1) Na raiz: o formato, defeito da superfície, espessura do córtex, cor predominante da periderme, intensidade da cor da periderme, cor secundária da periderme, cor predominante da polpa, cor secundária da polpa, distribuição da cor secundária da polpa, massa fresca da raiz e massa seca da raiz.
- 2) Na parte aérea: a pigmentação da rama, pubescência do ápice da rama, comprimento das ramas principais, comprimento do entrenó da rama, diâmetro do entrenó, perfil geral da folha madura, tipo de lóbulo da folha madura, número de lóbulos da folha madura, forma do lóbulo central da folha madura, tamanho da folha, pigmentação das nervuras

inferiores, cor da folha madura, cor da folha imatura, pigmentação do pecíolo, comprimento do pecíolo, massa fresca da parte aérea e massa seca da parte aérea.

- 3) O tamanho do grânulo de amido em cada genótipo e sua relação na produção de bioetanol.

Tabela 2 – Classificação morfológica das folhas conforme descritores propostos pelo *Centro Internacional de la Papa* - CIP (1991)

Descritores parte aérea (folha)		Notas atribuídas
Forma	Perfil geral da folha madura (PG)	Arredondada=1/Reniforme=2/Cordada=3/Triangular=4/Lanceolada=5/Lobulada=6/Quase dividida=7
	Tipo de lóbulo da folha madura (TL)	Ausência de lóbulos=0/ Lóbulos muito superficiais=1/ Superficiais=3/ Moderados=5/ Lóbulos profundos=7/ Muito profundos=9
	Folha madura (NL)	Lóbulo ausente=0/ Dentada=1/ Triangular=2/ Semicircular=3/ Semi-elíptica=4/ Elíptica=5, Lanceolada=6/ Oblongo lanceolada=7/ Linear=8/ Lóbulo linear-estreito=9
	Forma do lóbulo central da folha madura (FLC)	
Tamanho da folha (TAM)		Para o tamanho da folha (TAM) atribuiu-se nota 3 para Folha pequena com tamanho menor que 8 cm=3/ Folha média com tamanho de 8 a 15 cm=5/ Grande com 16 a 25 cm=7/ Folha muito grande com tamanho maior que 25 cm=9
Pigmentação das nervuras inferiores (PNI)		Amarelo=1/ Verde=2/ Mancha roxa na base da nervura principal=3/ Manchas roxas em várias nervuras=4/ Nervura principal parcialmente roxa=5/ Nervura principal parcialmente ou totalmente roxa=6/ Todas as nervuras parcialmente roxas=7/ Nervuras totalmente roxas=8/ Toda face inferior e nervuras totalmente roxas=9
Cor	Folha madura (FM)	Amarelo-verde=1/ Verde=2/ Verdes com bordas roxas=3/ Verde cinzento=4/ Verde com nervuras roxas na face=5/ Ligeiramente roxa=6/ Predominantemente roxa=7/ Verde na face superior e roxo na face inferior=8/ Roxa em ambas as superfícies=9
	Folha imatura (FI)	Amarelo-verde=1/ Verde=2/ Verde com borda roxa=3/ Verde cinzento=4/ Verde com nervuras roxas na face=5/ Ligeiramente roxa=6/ Predominantemente roxa=7/ Verde na face superior e roxo na face inferior=8/ Roxa em ambas as superfícies=9
Pigmentação do pecíolo (PIP)		Verde=1/ Verde com roxo próximo a rama=2/ Verde com roxo próximo a folha=3/ Verde com roxo em ambos os extremos=4/ Verde com manchas roxas ao longo do pecíolo=5/ Verde com bandas roxas=6/ Roxo com verde próximo a folha=7/ Alguns verdes outros roxos=8/ Totalmente roxo=9
Comprimento do pecíolo (COM)		Muito curto com pecíolo menor que 10 cm=1/ Curto com comprimento entre 10 e 20cm=3/ Intermediário e comprimento entre 21 e 30 cm=5/ Longo com comprimento entre 31 e 40 cm=7/ Muito longo com comprimento maior que 40 cm=9

Tabela 3 – Classificação morfológica das ramas (caule) conforme descritores propostos pelo *Centro Internacional de la Papa* - CIP (1991)

Descritores parte aérea (folha)		Notas atribuídas
Pigmentação da rama (PIG)	Cor predominante (CP)	Cor verde =1/ Cor verde com alguns pontos roxos =3/ Cor verde com muitos pontos roxos =4/ Cor verde com muitos pontos roxos escuros=5/ Moderadamente roxo =6/ Moderadamente roxo escuro =7/ Totalmente roxo=8/ Totalmente roxo escuro=9
	Cor secundária da rama (CS)	Ausência de cor=0/ Base verde=1/ Ápice verde=2/ Nós verdes=3/ Base roxa=4/ Ápice roxo=5/ Nós roxos=6/ Outros=7
Pubescência do ápice da rama (PAR)		Ausente=0/ Escasso=3/ Moderado=5/ Denso=7
Comprimento das ramas principais (CRP)		Ereta com rama menor que 75 cm=3/ Semiereta com rama medindo entre 75 e 150 cm=5/ Espalhado com rama medindo entre 151 e 250 cm =7/ Extremamente espalhado com rama maior que 250 cm =9
Entrenó	Comprimento do entrenó da rama (CE)	Muito curto com entrenó menor que 3 cm =1/ Curto com entrenó variando entre 3 e 5 cm =3 Intermediário com entrenó variando entre 6 e 9 cm =5/ Longo com entrenó variando entre 10 e 12 cm =7/ Muito longo para entrenó maior que 12 cm =9
	Diâmetro do entrenó (DEN)	Muito fino, com diâmetro menor que 4 mm =1/ Fino com diâmetro entre 4 e 6 mm =2/ Intermediário com diâmetro entre 7 e 9 mm =5/ Grosso para diâmetro entre 10 e 12 mm =7/ Muito grosso com diâmetro maior que 12 mm =9

Tabela 4 – Classificação morfológica das raízes tuberosas conforme descritores propostos pelo *Centro Internacional de la Papa* - CIP (1991)

Descritores raízes tuberosas	Notas atribuídas
Formato da raiz (FOR)	Redondo (perfil quase circular com uma proporção de largura e comprimento L/A1:1)=1/ Redondo-elíptico (perfil ligeiramente circular com bordos agudos e uma proporção de largura e comprimento L/A menor ou igual 2:1)=2/ Elíptico (perfil com a largura máxima igual à distância de ambos os extremos e uma proporção de largura e comprimento L/A não superior a 3:1)=3/ Ovado (perfil semelhante a um ovo)=4/ Obovado (perfil inverso a ovado)=5/ Oblongo (perfil quase retangular com os lados paralelos e uma proporção largura e comprimento L/A igual a 2:1)=6/ Largo oblongo (perfil oblongo com uma proporção de largura e comprimento L/A superior a 3:1)=7/ Largo irregular ou curvado =9
Defeito da superfície (DS)	Ausente=0/ Pele de crocodilo=1/ Veias proeminentes =2/ Constrições horizontais superficiais =3/ Constrições horizontais profundas=4/ Fendas longitudinais superficiais=5/ Fendas longitudinais profundas=6/ Constrições e rachaduras profundas=7/ Outros=8
Espessura do córtex (ESPCORT)	Muito fina (<1mm) =1/ Fina (1-2mm) =3/, Intermediária (2-3mm) =5, Grossa (3-4mm)=7/ Muito grossa (>4mm)=9
Cor predominante da periderme (CORPRED)	Branco=1/ Creme=2/ Amarela=3/ Alaranjada=4/ Marrom alaranjada=5/ Rosada=6/ Vermelho=7/ Roxo-avermelhado=8/ Roxo escuro=9
Intensidade da cor da periderme (INT)	Pálida=1/ Intermediária=2/ Escura=3
Cor predominante da polpa (CPP)	Branca=1/ Creme=2/ Creme escuro=3/ Amarelo pálido=4/ Amarelo escuro=5/ Alaranjado pálido=6/ Alaranjado intermediário=7/ Alaranjado escuro=8/ Fortemente pigmentado com antocianinas=9
Cor secundária da polpa (CSP)	Ausente=0/ Branco=1/ Creme=2/ Amarelo=3/ Alaranjado=4/ Rosado=5/ Vermelho=6/ Roxo-avermelhado=7/ Roxo=8/ Roxo escuro=9
Distribuição da cor secundária da polpa (DCS)	Anel fino no córtex=1/ Anel largo no córtex=2/ Manchas espalhadas=3/ Anel fino na polpa=4/ Anel largo na polpa=5/ Anel em outras áreas da polpa=6/ Anel em seções longitudinais=7/ Cobrindo a maior parte da polpa=8/ Anel cobrindo totalmente a polpa=9

Os dados foram submetidos ao teste Hartley para verificação da homocedasticidade das variâncias. A normalidade foi mensurada por Shapiro-Wilk. As médias dos tratamentos foram submetidas aos testes de Fisher-Snedecor e Scott-Knott com um grau de confiança superior a 95% de probabilidade. Realizou-se análise estatística apenas para as características quantitativas (massa fresca parte aérea, massa fresca raiz, massa seca parte aérea, massa seca raiz, matéria seca parte aérea, matéria seca raiz). As análises para tamanho do grânulo de amido foram realizadas em triplicata e os resultados expressos por média, não sendo realizado análise estatística devido ao elevado custo para se ter o número de repetições que validasse cientificamente o experimento (12 graus de liberdade no resíduo).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 5 pode ser verificada a classificação morfológica do caule, separando as características em pigmentação da rama, pubescência do ápice da rama, comprimento das ramas principais e entrenó, obtida para os 10 genótipos estudados e avaliados de acordo com os descritores propostos pelo *Centro Internacional de la Papa* - CIP (1991).

Tabela 5 - Classificação morfológica das partes aéreas (caule) de 10 genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2019-2020, Universidade Estadual De Ponta Grossa (UEPG)

Genótipo	Caule					
	PIG		PAR	CRP	Entrenó	
	CP	CS			CE	DEN
BD1 BRS Cuia®	3	0	7	3	3	2
BD2	6	4	5	7	5	2
BD3	4	0	7	7	5	5
BD4 Brazlândia Roxa®	1	0	3	5	1	2
BD5 BRS Amélia®	9	0	3	5	3	2
BD6 BRS Rubissol®	3	0	7	5	3	2
BD7 Beauregard®	3	0	0	7	3	2
BD8	1	0	3	7	3	2
BD19	3	0	5	7	3	2
BD20	4	0	5	7	3	2

PIG = pigmentação da rama; **CP**= cor predominante da rama (1 = verde, 3 = verde com alguns pontos roxos, 4 = verde com muitos pontos roxos, 5 = verde com muitos pontos roxos escuros, 6 = moderadamente roxo, 7 = moderadamente roxo escuro, 8 = Totalmente roxo, 9 = totalmente roxo escuro); **CS**= cor secundária da rama (0 = ausente, 1 = base verde, 2 = ápice verde, 3 = nós verdes, 4 = base roxa, 5 = ápice roxo, 6 = nós roxos, 7 = outro); **PAR**= pubescência do ápice da rama (0 = ausente, 3= escasso, 5 = moderado, 7 = denso); **CRP**= comprimento das ramas principais (3 = ereta {< 75 cm}, 5= semiereta {75-150 cm}, 7= espalhado {151-250 cm}, 9 = extremamente espalhado {> 250 cm}); **CE** = Comprimento do entrenó da rama (1= Muito curto {< 3 cm}, 3 = Curto {3-5 cm}, 5 = Intermediário {6-9 cm}, 7 = Longo {10-12 cm}, 9 = muito longo {> 12 cm}); **DEN**= Diâmetro do entrenó (1= Muito fino {< 4 mm}, 2 = Fino {4-6 mm}, 5 = Intermediário {7-9 mm}, 7 = Grosso {10-12 mm}, 9 = Muito Grosso {> 12 mm}).

Fonte: Adaptado de *Centro Internacional de la Papa* - CIP, 1991.

No que se refere as características relacionadas ao caule, na pigmentação da rama (PIG), a cor predominante (CP) ficou em 40% para genótipos apresentando cor verde com alguns pontos roxos, 20% apresentando cor verde com muitos pontos roxos, 20% com cor verde, 10% com cor moderadamente roxo e 10% totalmente roxo escuro. Essa característica se apresenta como um bom descritor possibilitando maior discernimento para os genótipos avaliados.

Para a pubescência do ápice da rama (PAR), 30% dos genótipos apresentaram pubescência densa, 30% escassa, 30% moderada e 10% ausente. Já o comprimento das ramas principais (CRP), 60% dos genótipos apresentaram ramas principais espalhadas, 30% ramas principais semieretas e 10% ramas principais eretas. Na avaliação das características de entrenós, o comprimento do entrenó da rama (CE), ficou com 70% dos genótipos com entrenó curto, 20% intermediário e 10% muito curto, diâmetro do entrenó (DEN) com nota 2 (fino), com diâmetro entre 4 e 6 mm para 90% dos genótipos avaliados e nota 5 (intermediário) com diâmetro entre 7 e 9 mm para 10% dos genótipos em estudo.

Com relação a cor secundária (CS), notou-se pouca variação, o que não corrobora com observado por Daros *et al.* (2002), que descreveu a cor secundária como importante no discernimento dos acessos estudados pela alta variabilidade. Os valores para diâmetro de entrenó (DEN) e comprimento de entrenó (CE) se assemelham com os valores de 4,3 mm a 6,0 mm, e 2,9 cm a 4,7 cm respectivamente, observados por Cavalcante *et al.* (2009). Já os valores para comprimento de ramas principais (CRP) ficaram acima dos observados por Cavalcante *et al.* (2009) e Vieira (2019).

Na tabela 6 pode ser verificada a classificação morfológica das folhas, separando as características em forma, tamanho, pigmentação das nervuras inferiores, cor e pecíolo obtida para os 10 genótipos estudados e avaliados de acordo com os descritores propostos pelo *Centro Internacional de la Papa* - CIP (1991).

Para a característica tamanho da folha (TAM) todos os genótipos avaliados permaneceram com nota 5 (folha média) com tamanho de 8 a 15 cm, nota 2 para cor da folha madura apresentando folhas verdes e nota 3 para comprimento do pecíolo (COM) com comprimento entre 10 e 20 cm (curto). Nas características relacionadas a folha no que diz respeito a forma, para o perfil geral da folha madura (PG), 60% dos genótipos apresentaram perfil triangular, 30% perfil lobulada e 10% cordada. Para o tipo de lóbulo da folha madura (TL), 40% dos genótipos apresentaram lóbulos muito superficiais, 30% superficiais e 30% lóbulos ausentes.

Ao se analisar o número de lóbulos da folha madura (NL), 30% dos genótipos apresentaram 03 lóbulos, 30% apenas um lóbulo, 20% 05 lóbulos e 20% 07 lóbulos. Para a forma do lóbulo central da folha madura (FLC), 50% dos genótipos apresentaram lóbulos semielípticos, 40% lóbulos triangulares e 10% lóbulos dentados. Para pigmentação das nervuras inferiores (PNI), 50% dos genótipos apresentaram mancha roxa na base da nervura principal,

20% apresentaram todas as nervuras parcialmente roxas, 20% nervuras totalmente roxas e 10% nervuras verdes.

Com relação a cor da folha imatura (FI), 30% dos genótipos apresentaram cor ligeiramente roxa, 20% cor verde, 20% cor verde com borda roxa, 10% folha predominantemente roxa, 10% verde na face superior e roxo na face inferior e 10% roxa em ambas as superfícies. Para pigmentação do pecíolo (PIP), 60% dos genótipos apresentaram pecíolo verde com manchas roxas, 20% pecíolo verde, 10% pecíolo verde com roxo próximo a folha e 10% pecíolo verde com roxo em ambos os extremos. Para o caso em estudo observou-se pouca ou nenhuma variabilidade morfológica para cor secundária da rama (CS), com nota 0 (coloração ausente) para 90% dos genótipos e nota 4 (base roxa) para 10% dos genótipos.

Tabela 6 - Classificação morfológica da parte aérea (folha) de 10 genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2019-2020, Universidade Estadual De Ponta Grossa (UEPG)

Genótipo	Folha									
	Forma				TAM	PNI	Cor		Pecíolo	
	PG	TL	NL	FLC			FM	FI	PIP	COM
BD1 BRS Cuia [®]	4	1	3	4	5	7	2	8	5	3
BD2	6	3	5	4	5	2	2	6	5	3
BD3	4	1	7	2	5	8	2	7	5	3
BD4 Brazlândia Roxa [®]	4	0	1	4	5	3	2	3	1	3
BD5 BRS Amélia [®]	6	3	3	4	5	8	2	2	4	3
BD6 BRS Rubissol [®]	4	1	5	2	5	3	2	6	5	3
BD7 Beauregard [®]	6	3	3	4	5	3	2	6	5	3
BD8	3	0	1	2	5	3	2	3	3	3
BD19	4	0	1	2	5	3	2	2	1	3
BD20	4	1	7	1	5	7	2	9	5	3

PG = perfil geral da folha madura (1 = arredondada, 2 = reniforme, 3 = cordada, 4 = triangular, 5 = lanceolada, 6 = lobulada, 7 = quase dividida); **TL** = tipo de lóbulo da folha madura (0 = ausência de lóbulos, 1 = muito superficiais, 3 = superficiais, 5 = moderados, 7 = profundos, 9 = muito profundos); **NL** = número de lóbulos da folha madura; **FLC** = forma do lóbulo central da folha madura (0 = ausente, 1 = dentada, 2 = triangular, 3 = semicircular, 4 = semielíptica, 5 = elíptica, 6 = lanceolada, 7 = oblongo lanceolada, 8 = linear, 9 = linear-estrito); **TAM** = tamanho da folha (3 = pequena {< 8 cm}, 5 = média {8-15 cm}, 7 = grande {16-25 cm}, 9 = muito grande {> 25 cm}); **PNI** = pigmentação das nervuras inferiores (1 = amarelo, 2 = verde, 3 = mancha roxa na base da nervura principal, 4 = manchas roxas em várias nervuras, 5 = nervura principal parcialmente roxa, 6 = nervura principal parcialmente ou totalmente roxa, 7 = todas as nervuras parcialmente roxas, 8 = nervuras totalmente roxas, 9 = toda face inferior e nervuras totalmente roxas); **FM** = cor da folha madura (1 = amarelo-verde, 2 = verde, 3 = verdes com bordas roxas, 4 = verde cinzento, 5 = Verde com nervuras roxas na face, 6 = ligeiramente roxa, 7 = predominantemente roxa, 8 = verde na face superior e roxo na face inferior, 9 = roxa em ambas superfícies); **FI** = cor da folha imatura (1 = amarelo-verde, 2 = verde, 3 = verde com bordo roxo, 4 = verde cinzento, 5 = verde com nervuras roxas na face, 6 = ligeiramente roxa, 7 = predominantemente roxa, 8 = verde na face superior e roxo na face inferior, 9 = roxa em ambas superfícies); **PIP** = pigmentação do pecíolo (1 = verde, 2 = verde com roxo próximo a rama, 3 = verde com roxo próximo a folha, 4 = verde com roxo em ambos extremos, 5 = verde com manchas roxas ao longo do pecíolo, 6 = verde com bandas roxas, 7 = roxo com verde próximo a folha, 8 = alguns verdes outros roxos, 9 = totalmente roxo); **COM** = comprimento do pecíolo (1 = muito curto {< 10 cm}, 3 = curto {10-20 cm}, 5 = intermediário {21-30 cm}, 7 = longo {31-40 cm}, 9 = muito longo {>40 cm}).

Fonte: Adaptado de *Centro Internacional de la Papa* - CIP, 1991.

Observa-se que houve variação para 12 das 16 características de parte aérea avaliadas, corroborando com o observado por Vieira (2019) qual encontrou diferenças ao caracterizar morfológicamente 08 genótipos de batata-doce.

Veasey *et al.* (2007) observou predominância de 60% da cor verde para folha madura, de 50% para cor verde com borda roxa para característica de folha imatura e predominância de 30% para pecíolos de cor verde com listras roxas nos genótipos avaliados.

Na Tabela 7 pode ser verificada a classificação morfológica da raiz obtida para os 10 genótipos estudados de acordo com o método proposto pelo *Centro Internacional de la Papa - CIP* (1991). Observa-se variação para quase todas as variáveis analisadas, com exceção da cor secundária da periderme (CORSEC), que permaneceu ausente para todos os genótipos avaliados. Para cor predominante da polpa (CPP) observou-se predominância da cor creme, sendo que 30% dos genótipos apresentaram cor creme e 30% cor creme escuro.

Tabela 7 - Classificação morfológica da raiz de 10 genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2019-2020, Universidade Estadual De Ponta Grossa (UEPG)

Genótipo	Raiz								
	FOR	DS	ESPCORT	Cor da periderme			Cor da polpa		
				CORPRED	INT	CORSEC	CPP	CSP	DCS
BD1 BRS Cuia [®]	1	0	5	2	1	0	2	1	8
BD2	1	0	5	9	3	0	9	1	3
BD3	1	0	5	9	2	0	3	2	5
BD4 Brazlândia Roxa [®]	3	0	5	9	2	0	3	2	5
BD5 BRS Amélia [®]	2	0	9	6	2	0	7	0	0
BD6 BRS Rubissol [®]	2	0	5	9	2	0	2	3	3
BD7 Beauregard [®]	8	0	7	8	3	0	8	0	0
BD8	5	0	3	6	2	0	3	2	5
BD19	6	2,3	7	9	3	0	4	3	5
BD20	2	2,3	5	9	1	0	2	0	0

FOR = formato da raiz [1 = redondo (L/A1:1), 2 = redondo-elíptico (L/A<2:1), 3 = elíptico (L/A<3:1), 4 = ovado, 5 = obovado, 6 = oblongo (L/A=2:1), 7 = largo oblongo (L/A>3:1), 8 = largo elíptico (L/A>3:1), 9 = largo irregular ou curvado]; **DS** = defeito da superfície [0 = ausente, 1 = pele de crocodilo, 2 = veias proeminentes, 3 = constrictões horizontais superficiais, 4 = constrictões horizontais profundas, 5 = fendas longitudinais superficiais, 6 = fendas longitudinais profundas, 7 = constrictões e rachaduras profundas, 8 = outros]; **ESPCORT** = espessura do córtex [1 = muito fina (<1mm) 3 = fina (1-2mm), 5 = intermediária (2-3mm), 7 = grossa (3-4mm), 9 = muito grossa (>4mm)]; **CORPRED** = cor predominante da periderme [1 = branco, 2 = creme, 3 = amarela, 4 = alaranjada, 5 = marrom alaranjada, 6 = rosada, 7 = vermelho, 8 = roxo-avermelhado, 9 = roxo escuro]; **INT** = intensidade da cor da periderme [1 = pálida, 2 = intermediária, 3 = escura]; **CORSEC** = cor secundária da periderme [0 = ausente, 2 = creme, 9 = roxa]; **CPP** = cor predominante da polpa [1 = branca, 2 = creme, 3 = creme escuro, 4 = amarelo pálido, 5 = amarelo escuro, 6 = alaranjado pálido, 7 = alaranjado intermediário, 8 = alaranjado escuro, 9 = fortemente pigmentado com antocianinas]; **CSP** = cor secundária da polpa [0 = ausente, 1 = branco, 2 = creme, 3 = amarelo, 4 = alaranjado, 5 = rosado, 6 = vermelho, 7 = roxo-avermelhado, 8 = roxo, 9 = roxo escuro]; **DCS** = distribuição da cor secundária da polpa [1 = anel fino no córtex, 2 = anel largo no córtex, 3 = manchas espalhadas, 4 = anel fino na polpa, 5 = anel largo na polpa, 6 = anel em outras áreas da polpa, 7 = em seções longitudinais, 8 = cobrindo a maior parte da polpa, 9 = cobrindo totalmente a polpa].

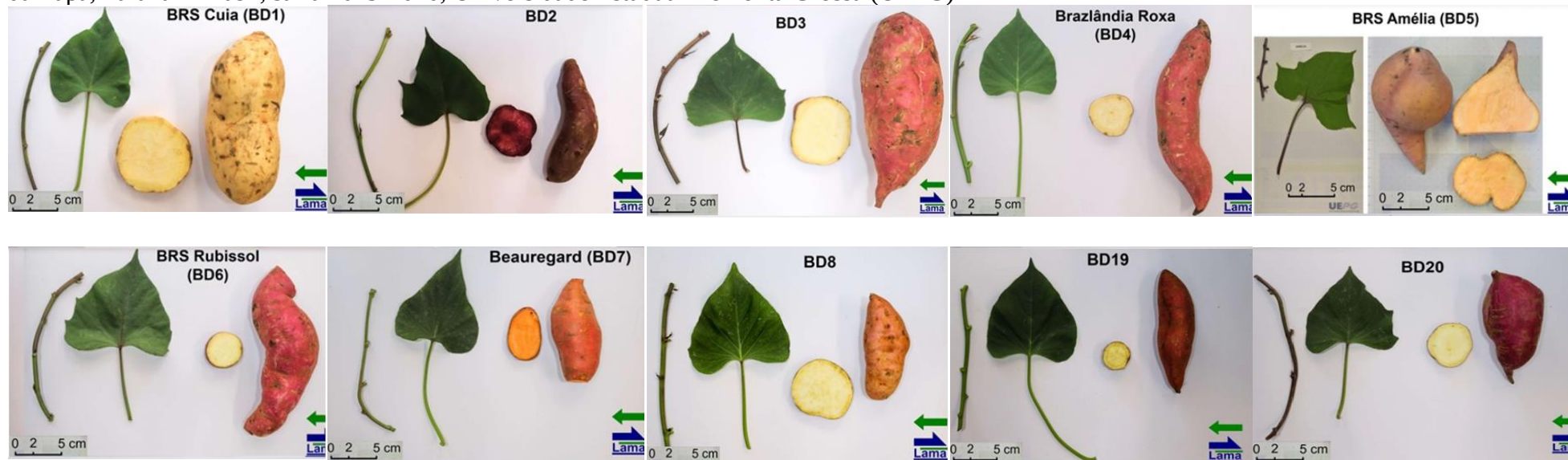
Fonte: Adaptado de *Centro Internacional de la Papa* – CIP, 1991.

A predominância da cor creme para a polpa foi observada em trabalhos realizados por Veasey *et al.* (2007) e Daros *et al.* (2002). Vieira (2019) destacaram que 50% dos 8 genótipos estudados possuíam coloração creme ou creme escuro, com destaque para o genótipo BD16 qual apresentou amido determinante favorável à produção de etanol. Os genótipos BD4, BD5, BD6, BD7, BD19 e BD20 apresentaram coloração predominante da polpa variando entre creme, creme-escuro, amarelo pálido e alaranjado intermediário com valores médios de tamanho de amido menores que 10 μm , próximos aos já relatados por Noda *et al.* (2001) para essas colorações.

Os dados tabulados destacaram que houve predominância de coloração de polpa clara (Branca, creme, creme escura e alaranjada) para os genótipos com maiores rendimentos de matéria seca sendo está uma característica quantitativa (Tabelas 2 e 3), corroborando com o observado por Momenté *et al.* (2004), os autores concluíram que o descritor coloração da polpa apresenta-se como característica interessante na seleção de genótipos com potencial para produção de etanol. Já Guo *et al.* (2019) concluíram não haver relações entre as propriedades estruturais e funcionais do amido com as diferentes colorações de tubérculos de batata-doce avaliados.

Na Figura 4 podem ser verificados os 10 genótipos cultivados no município da Lapa-PR, separados em folha, pecíolo e raiz tuberosa. Os testes de média para massa fresca e massa seca da parte aérea (Mg ha^{-1}), massa fresca e massa seca da raiz (Mg ha^{-1}), matéria seca parte aérea (g kg^{-1}), matéria seca raiz (g kg^{-1}) encontram-se na Tabela 8. Conforme classificação proposta por Pimentel (1985) coeficientes de variação (CV) para massa fresca de raiz, matéria seca da parte aérea e raiz e massa seca da parte aérea foram baixos ($<10\%$), mostrando existir uma boa precisão experimental na avaliação dessas características. Já para as características massa fresca da parte aérea e massa seca de raiz os coeficientes de variação são considerados médios (10 – 20%). Considera-se que quanto menor o CV mais homogêneos são os dados. (Garcia, 1989).

Figura 4 – Imagem do pecíolo, folha, tubérculo inteiro e corte transversal de genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2019-2020, Universidade Estadual De Ponta Grossa (UEPG)



FONTE: Lama/UEPG

Tabela 8 – Testes de média das características dos genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2019-2020, Universidade Estadual De Ponta Grossa (UEPG)

Genótipo	Massa fresca parte aérea (Mg ha ⁻¹)	Massa fresca raiz (Mg ha ⁻¹)	Massa seca parte aérea (Mg ha ⁻¹)	Massa seca raiz (Mg ha ⁻¹)	Matéria Seca parte aérea (g kg ⁻¹)	Matéria Seca raiz (g kg ⁻¹)
BD1 BRS Cuia [®]	23,5 a	24,1 b	2,77 a	7,7 b	120 b	320 b
BD2	15,5 c	12,2 d	2,01 c	3,4 d	130 b	280 b
BD3	16,3 c	18,3 c	2,33 b	4,2 d	140a	230 d
BD4 Brazlândia Roxa [®]	18,8 b	14,7 d	2,06 d	4,4 d	110 c	300 b
BD5 BRS Amélia [®]	12,1 d	19,4 c	1,47 d	6,0 c	120 b	310 b
BD6 BRS Rubissol [®]	12,7 d	17,9 c	1,54 e	4,6 d	120 b	260 c
BD7 Beauregard [®]	9,1 e	22,8 b	0,87 e	4,3 d	100 d	190 e
BD8	15,0 c	31,1 a	1,93 c	10,9 a	130 b	350 a
BD19	23,2 a	22,2 b	2,86 a	6,0 c	120 b	270 c
BD20	17,7 b	23,6 b	2,20 b	6,4 c	120 b	270 c
CV (%)	11,2	9,7	7,63	10,26	6,2	5,2

1 - Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott (P > 0,05)

Para massa fresca da parte aérea as médias variaram entre 9,1 Mg ha⁻¹ e 23,5 Mg ha⁻¹, com destaque para os genótipos BD1 e BD19 com médias de 23,5 e 23,2 Mg ha⁻¹ respectivamente, os valores ficaram acima dos observados por Vieira (2019). O valor para matéria seca ficou abaixo do observado por Masiero *et al.* 2014, qual encontrou valor de 401,2 g kg⁻¹ para matéria seca do mesmo genótipo, a referida diferença pode dar-se por possíveis características morfológicas relacionadas ao ciclo produtivo de cada genótipo e/ou época de colheita. Vieira (2019) observou interação entre genótipos e diferentes épocas de colheita para o teor de matéria seca da raiz. Os valores médios para matéria seca de parte aérea variaram entre 110 e 140 g kg⁻¹, com destaque para o genótipo BD3, os valores ficaram abaixo dos observados por Vieira (2019), que ficaram entre 160 e 180 g kg⁻¹.

Os valores médios da massa fresca de raiz variaram entre 12,2 Mg ha⁻¹ e 24,1 Mg ha⁻¹. Os valores de massa fresca e massa seca de raiz ficaram abaixo dos observados por Santos Neto *et al.* (2017), Santana *et al.* (2013) e Shumbusha *et al.* (2014). Os valores para massa seca de raiz ficaram abaixo dos observados por Rós (2017), qual concluiu que os genótipos potenciais para produção de etanol em seu estudo apresentaram valores de 12,2 e 15,8 Mg ha⁻¹. Os valores para massa fresca de raiz, ficaram abaixo dos valores observados por Gonçalves *et al.* (2011), porém os valores para massa seca de raiz (%) corroboram com os valores encontrados pelo autor, qual avaliou 39 genótipos de batata-doce para potencial na produção de etanol. No entanto cabe ressaltar a importância de estudos relacionados as propriedades físico-químicas dos grânulos de amido, com relação ao potencial na produção de etanol.

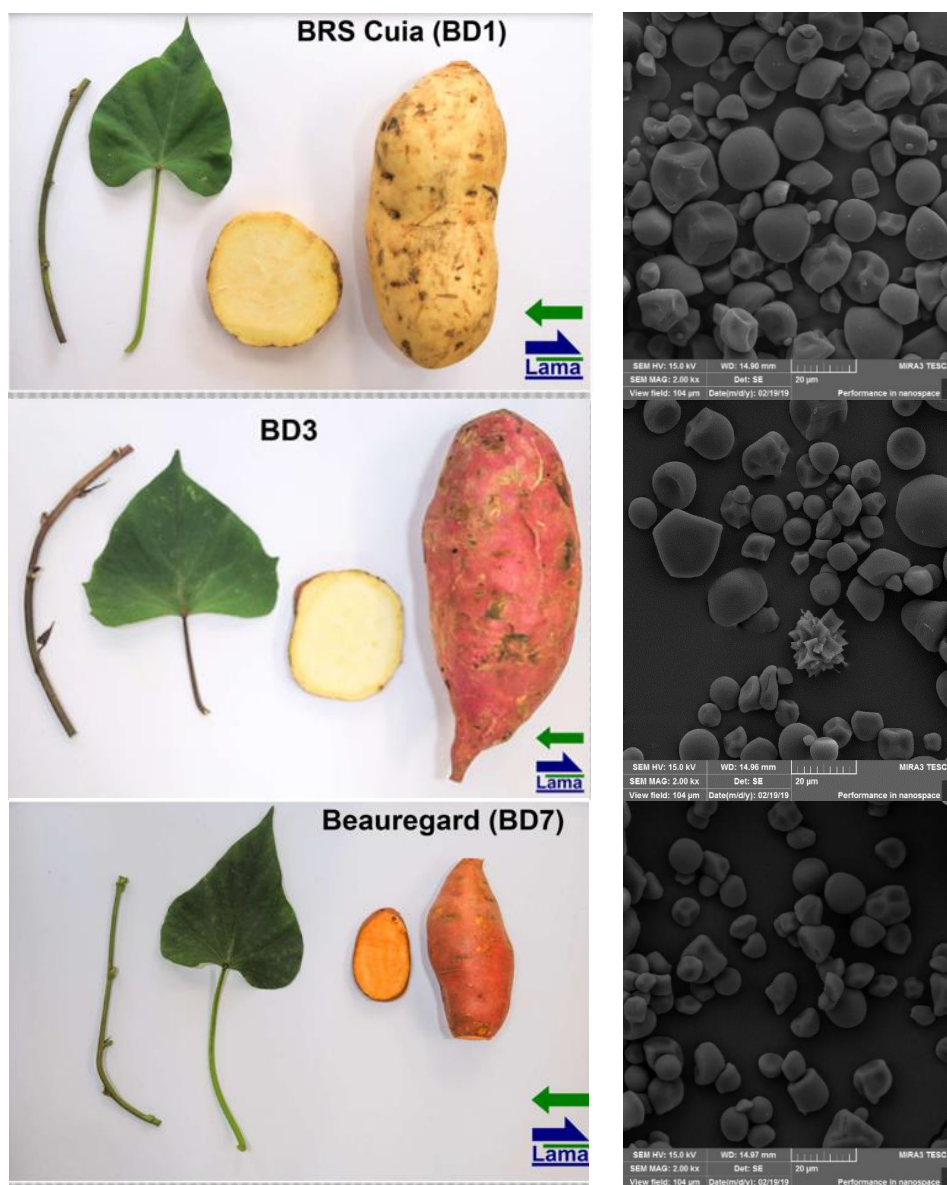
O registro para matéria seca de raiz variou entre 190 e 350 g kg⁻¹, com destaque para o genótipo BD8. Momenté *et al.* (2004) sugere valores de matéria seca variando entre 229,5 e 380,5 g kg⁻¹ para produção de etanol, com exceção do genótipo BD7 os demais genótipos estudados corroboram com os valores indicados pelo autor com destaque para o genótipo BD8 qual apresentou 350 g kg⁻¹ de matéria seca de raiz. Em relação a produção de etanol, além das variáveis de rendimento, já descritas, assume também importância características físicas dos grânulos de amido visto que a aplicabilidade dos genótipos não pode ser baseada apenas em critérios morfológicos.

Na figura 5 observa-se três dos genótipos estudados (BD1, BD3 e BD7) com Fotomicrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura dos grânulos de amido. O genótipo BD1 (BRS Cuia®) apresentou coloração predominante da polpa creme, pigmentação do pecíolo verde com manchas roxas, grânulo com tamanho médio de 15,6 µm e teor de matéria seca de raiz de 320 g kg⁻¹. Para o genótipo BD3 a coloração predominante da polpa foi

determinada como sendo creme escuro, pigmentação do pecíolo roxo com verde próximo a folha, grânulo com tamanho de 4,6 μm e teor de matéria seca da raiz de 230 g kg^{-1} . O genótipo BD7 (Beuregard®) apresentou coloração predominante da polpa alaranjado escuro, pigmentação do pecíolo verde com manchas roxas, grânulo com tamanho de 8,3 μm e teor de matéria seca de 190 g kg^{-1} .

Com relação ao formato os grânulos de amido foram observados formatos arredondados, poligonais e esféricos, alguns grânulos apresentaram faces distintas e angulares, corroborando com o observado por Yong *et al.* (2018), Zhu *et al.* (2011) e Chen (2003). Outros autores observaram perfis similares nos grânulos de amido de trigo e milho. Singh *et al.* (2003), encontraram grânulos de amido de batata andina (*Solanun tuberosum*) com formato oval irregular ou cuboide, grânulos de amido de milho com formas angulares e grânulos de amido de arroz com formatos angulares e pentagonais.

Figura 5 – Imagem do pecíolo, folha, tubérculo inteiro, corte transversal e fotomicrografia de microscopia eletrônica de varredura dos grânulos de amido dos genótipos BD1, BD3 e BD7, cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2019-2020, Universidade Estadual De Ponta Grossa (UEPG)



FONTE: Lama/UEPG

Observou-se grande diversidade no tamanho dos grânulos de amido (Tabela 9). A variação do tamanho dos grânulos de amido corrobora com o observado por Leonel (2007) qual observou concentração de tamanhos entre 12 e 20 μm e com Yong *et al.* (2018), qual atribuiu a distribuição de forma diferente entre as diferentes colorações de variedades de batata-doce. Os autores encontraram grânulos de amido com tamanho variando de 4,3 μm a 23,6 μm , com

formatos redondo, poligonal e hemisférico para grânulos de amido provenientes de batata-doce da polpa roxa. Para o genótipo BD2 em estudo, qual apresenta coloração da polpa roxa observou-se tamanho médio do grânulo de amido foi 12,9 μm , e formatos redondo, poligonal, hemisférico e ovais, corroborando com Yong *et al.* (2018), Zhu *et al.* (2011) e Chen (2003).

Conforme classificação proposta por Lindeboom; Chang; Tyler, (2004), os grânulos de amido do presente estudo tiveram a seguinte classificação: Genótipo BD3 foi classificado como bem pequeno ($< 5 \mu\text{m}$), os genótipos BD4, BD5, BD6, BD7, BD19 e BD20 foram classificados como pequenos (5 e 10 μm) e os genótipos BD1, BD2 e BD8 foram classificados como médios (10 e 25 μm).

Tabela 9 –Tamanho de grânulos de amido dos genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivados no município da Lapa, Paraná – Brasil, safra 2020. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 2022

Genótipo	Média e desvio padrão do diâmetro grânulo de amido (μm)
BD1 BRS Cuia [®]	15,64 $\pm$ 5,92
BD2	12,94 $\pm$ 3,79
BD3	04,59 $\pm$ 1,52
BD4 Brazlândia Roxa [®]	09,62 $\pm$ 3,69
BD5 BRS Amélia [®]	08,62 $\pm$ 3,46
BD6 BRS Rubissol [®]	09,24 $\pm$ 2,71
BD7 Beauregard [®]	08,31 $\pm$ 3,06
BD8	10,39 $\pm$ 3,23
BD19	09,75 $\pm$ 4,03
BD20	08,96 $\pm$ 4,23

Os valores de tamanho de grânulos de amido ficaram abaixo dos observados por Leonel (2007), qual encontrou grânulos de amido com distribuição concentrada de 12 a 20 μm . Alguns trabalhos sugerem haver correlação entre o tamanho de grânulos de amido e o processo de gelatinização, onde quanto maior o grânulo de amido maior a temperatura de início da gelatinização. (CHEN, 2003 e NODA *et al.*, 2001). Em um dos experimentos, observou-se que grânulos abaixo de 10 μm foram mais responsivos ao processo de hidrólise quando comparados com grânulos com tamanhos acima, isto pelo fato que grânulos com tamanhos menores apresentam maior área superficial facilitando o processo enzimático. (NODA *et al.*, 2001).

O método de cultivo da batata-doce também apresenta correlação quanto ao processo de gelatinização superficial, visto que técnicas como o plantio direto reduzem a amplitude

térmica do solo, proporcionando a formação de grânulos de tamanhos menores e consequentemente redução nas temperaturas de gelatinização. (NODA *et al.*, 2001; COSTA *et al.*, 2003). Naguleswaran *et al.* (2013) obtiveram taxas iniciais de hidrólise altas para grânulos pequenos e tempo de duração do processo hidrolítico maior para grânulos maiores comparando grânulos de amidos grandes e pequenos em cevada e milho. Técnicas que visem a redução da amplitude térmica do solo no cultivo de batata-doce e estudos futuros relacionados ao tamanho dos grânulos de amido, são necessários na busca por genótipos com potenciais para a produção de etanol.

Os genótipos BD3, BD4, BD5, BD6, BD7, BD19 e BD20 apresentaram tamanhos de grânulos abaixo de 10 μm , caracterizando-se como genótipos potenciais para produção de etanol conforme observado por Noda *et al.* (2001). Destes genótipos, com relação a produtividade média de raiz destacou-se o genótipo BD20 com rendimento médio de raiz de 23,6 Mg ha^{-1} , ficando abaixo dos valores observados por Santana *et al.* (2013), Santos Neto *et al.* (2017) e entre os valores obtidos por Momenté *et al.* (2004) e Martins *et al.* (2012).

Dentre estes, com relação ao tamanho do grânulo destaca-se o genótipo BD3 com 04,59 μm , sendo classificado como bem pequeno ($< 5 \mu\text{m}$) conforme classificação proposta por Lindeboom; Chang; Tyler, (2004). Para característica de matéria seca destacaram-se os genótipos BD4 e BD5, com teores de 300 e 310 g kg^{-1} respectivamente, corroborando com o sugerido por Momenté *et al.* (2004) qual apresentou valores de matéria seca variando entre 229,5 e 380,5 g kg^{-1} para produção de etanol.

6 CONCLUSÃO

Os genótipos apresentam características morfológicas diferentes para parte aérea e raízes tuberosas, e características distintas para o tamanho de grânulos de amido.

Genótipos que apresentam grânulos de amido com tamanhos abaixo de 10 μm e teor de matéria seca entre 230 e 400 g kg^{-1} são mais interessantes para a produção de etanol em função do menor gasto energético durante a gelatinização e maior suscetibilidade ao ataque enzimático (hidrólise). Os genótipos BD3, BD4, BD5, BD6, BD7, BD19 e BD20 possuem potencial para a produção de etanol.

REFERÊNCIAS

AEHLE, W. **Enzymes in industry: production and applications**. 3.ed. Darmstadt: Wiley-vch. p.516, 2007.

ANDO, H.; TANG, H.; WATANABE, K.; MITSUNAGA, T. Some physicochemical properties of large, medium and small granule starches in fractions of wheat grain. **Food Science and Technology Research**, v.8, n.1, p.24-27, 2002.

ANP-Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/publicacoes/boletins-anp/producao/2020-02-boletim.pdf>. Acesso em: 16 jan, 2020.

AZEVEDO, A.N.G.; AZEVEDO, L.B.G. Biocombustíveis: influência no desenvolvimento e inserção internacional. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 6, n. 1, 2016.

BORBA, V. S.; SILVEIRA, C.O.; ALVES, J.B.; GROPRLLI, V.M.; BADIALE-FURLONG, E. Modificações do amido e suas implicações tecnológicas e nutricionais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas**, p.429-457, 2017.

BRUCKNER, T. I.A.; BASHMAKOV, Y.; MULUGETTA, H.; CHUM, A. DE LA V. N. J.; EDMONDS, A.; FAAIJ, B.; FUNGTAMMASAN, A.; GARG, E. H. D.; HONNERY, D.; INFELD, M.; KAINUMA, S.; KHENNAS, S.; KIM, H.B.; NIMIR, K.; RIAHI, N.; STRACHAN, R.; ZHANG, X. **Energy Systems. In: Climate Change: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p.1435, 2014.

CARVALHO, J. M. A. **Produção de bioetanol de terceira geração a partir de Euglena gracilis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/27079/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Digital.pdf>. Acesso em: 4 nov, 2020.

CAVALCANTE, M.; FERREIRA, P.V.; PAIXÃO, S.L.; COSTA, J.G.; DA, PEREIRA, R.G.; MADALENA, J.A.S. Potenciais produtivo e genético de clones de batata-doce. **Acta Scientiarum**. v. 31, p. 421-426, 2009.

CHENG, S. S.; CHU, E. Y. Técnica de enraizamento de ponteira para propagação e cultivo do tomateiro. **Comunicado Técnico**, Belém: EMBRAPA, v.117, p.3, 2004.

COSTA D.M.; **Avaliação de cultivares de batata-doce quanto a produtividade, composição e aproveitamento das ramas visando a produção de etanol**. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins. Palmas/TO, 2015.

COSTA, F. D. S. ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; PEREIRA, T.N.S.; LEAL, N.R.; FREITAS, S.P.; SEDIYAMA, T. Caracterização morfológica de genótipos não identificados de batata-doce. **Revista Horticultura Brasileira**, v.20, p.43-47, 2002.

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.

DIPTI.; PRIYANKA. Bioenergy crops an alternative energy. **International Journal of Environmental Engineering and Management**, v.4, no 3, p.265–272, 2013.

ELIASSON, A.C., **Starch in food: Structure, function and applications**, Nova Iorque: CRC, 2004.

ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; FREITAS, C. P. D. O. D.; ANDRIOLO, J. L.Tuberização e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 396-402, 2013.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Balanço energético nacional. **Relatório síntese, ano base**, 2019.

FAO- Food and Agriculture Organization. **FAOSTAT** Estatística Banco de Dados da Food and Agriculture Organization das Nações Unidas, Roma, Itália. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em: 15 de maio, 2021.

FERNANDES, D. S.; SANTOS, T. P. R.; LEONEL, M. Distribuição e tamanho de grânulos de amidos de mandioca. Anais do simpósio Latino Americano de ciência dos alimentos. **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/slaca/slaca2017/papers/distribuicao-e-tamanho-de-granulos-de-amidos-de-mandioca-?lang=pt-br> Acesso em: 20 set, 2022.

FERREIRA, S.; MOREIRA, N.A.; MONTEIRO, E. Bioenergy overview for Portugal. **Biomass and Bioenergy**, v.33, p.1567–1576, 2009.

FRANCO, C. M. L.; CABRAL, R. A. F.; TAVARES, D. Q. Structural and physicochemical of lintnerized native and sour cassava starches. **Starch/ Starke, Weinheim**, v.54, p.469-475, 2002.

GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. **Circular técnica 171**. IPEF, p.11, 1989.

GONÇALVES NETO A.C; MALUF W.R; GOMES L.A.A; GONÇALVES R.J.S; SILVA V.F; LASMAR A. Aptidões de genótipos de batata-doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.46, p.1513-1520, 2011.

GUO, K.; LIU, T.; XU, A.; ZHANG, L.; BIAN, X.; WEI, C. Structural and functional properties of starches from root tubers of white, yellow, and purple sweet potatoes. **Food hydrocolloids**, v. 89, p. 829-836, 2019.

HUAMAN, Z. Systematic Botany and Morphology of the Sweet potato Plant. **Technical Information Bulletin 25**. Lima: International Potato Center. p.22, 1992.

IEA-International Energy Agency. **World Energy Outlook 2021**, Paris. Disponível em <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>>. Acesso em: 18 de março de 2021.

KERBAUY, G. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro, BR: Guanabara Koogan. p.452, 2004.

LAWTON J.W. Uses of Native Starch, ARS-USDA. **Reference Module in Food Sciences**, Elsevier, 2016.

LEE, YC; KIM, KT. Gelatinization and liquefaction of starch with a heat stable α -amylase. **Journal of Food Science**, v.55, p.1365-1372, 1990.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.1, p.65-69, 2002.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 579-588, 2007.

LEMO, E. G. M.; STRADIOTTO, N.R. (Org.). Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. **Coleção PROPe Digital - UNESP**. ISBN 9788579832567. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/123648>>. Acesso em: 04 abril, 2020.

LINDEBOOM, N.; CHANG, P.R.; TYLER, R.T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. **Starch-Stärke**, v.56, n. 3-4, p.89-99, 2004.

MARTINS, E.C.A.; PELUZIO, J.M.; COIMBRA, R.R.; OLIVEIRA JÚNIOR, W.P. Variabilidade fenotípica e divergência genética em clones de batata-doce no estado do Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.4, 2012.

MASIERO, S.S; PERETTI, A; TRIERWEILER, L.F; TRIERWEILER, J.O. Simultaneous cold hydrolysis and fermentation of fresh sweet potato. **Biomass Bioenergy** v.70, p.174–183, 2014.

MIN GOU.; HAO WU.; AHMED S.M. SALEH.; LUZHEN JING.; YU LIU.; KUN ZHAO.; CHUNYAN SU.; BO ZHANG.; HAO JIANG, WENHAO LI: Effects of repeated and continuous dry heat treatments on properties of sweet potato starch, **International Journal of Biological Macromolecules**, v.129, p.869-877, 2019.

MOHANRAJ, R.; SIVASANKAR, S. Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) - A valuable medicinal food: A review. **Journal of medicinal food**, v. 17, n. 7, p. 733-741, 2014.

MOMENTÉ, V. V.; RODRIGUES, S. C. S.; TAVARES, I. B.; SILVEIRA, M. A. da; SANTANA, W. R. Desenvolvimento de cultivares de batata-doce no estado do Tocantins, visando à produção de álcool, como fonte alternativa para as condições tropicais. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n.2, p.340-342, 2004.

MOMENTÉ, V. V.; TAVARES, I. B.; RODRIGUES, S. C. S.; SILVEIRA, M. A. da; SANTANA, W. R. Seleção de cultivares de batata-doce adaptados à produção de biomassa, via

programa de melhoramento, visando à produção de álcool no estado do Tocantins. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, p.343-344, 2004.

MONTEIRO, A. B.; MASSAROTO, J. A.; GASPARINO, C. F.; SILVA, R. R.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R.; SANTOS FILHO, J. C. Silagens de cultivares e clones de batata-doce para a alimentação animal visando sustentabilidade da produção agrícola familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 978-981, 2007.

MORAIS, P. P. Etanol de segunda geração: atual produção e perspectivas. **Bioenergia em revista: diálogos**, v. 7, n. 1, p. 45-57, 2017.

MOREIRA, R. Bioenergia, Sentido e significado. **Revista da ANPEGE**. v. 3, p. 43-56. 2007.

MORENO, M.; COELHO, S. T. A. Bioenergia no mundo. O Setor Elétrico, São Paulo, **Atitude Editorial**, v.7, n.79, p.34-40, 2012.

MOULIN, M. M; DOS SANTOS BENTO, C; JÚNIOR, A. C. S; RODRIGUES, R. Caracterização de acessos de batata-doce baseado em características morfológicas. **Biológicas & Saúde**, v. 4, n. 13, 2014.

NAGULESWARAN, S.; LI, J. H.; VASANTHAN, T.; BRESSLER, D.; HOOVER, R. Amylolysis of large and small granules of native triticale, wheat and corn starches using a mixture of α - amylase and glucoamylase. **Carbohydrate Polymers**, v.88, p.864–874, 2012.

NAGULESWARAN, S.; VASANTHAN T.; HOOVER, R.; BRESSLER, D. The susceptibility of large and small granules of waxy, normal and high-amylose genotypes of barley and corn starches toward amylolysis at sub-gelatinization temperatures. **Food Research International**, v.51, n.2, p.771-782, 2013.

NODA, T.; KOBAYASHI, T.; SUDA, I. Effect of soil temperature on starch properties of sweet potatoes. **Carbohydrate Polymers**, v.44, n.3, p.239-246, 2001.

NODA, T; TAKIGAWA, S.; MATSUURA-ENDO, C.; KIM, S. J.; HASHIMOTO, N.; YAMAUCHI, H.; HANASHIRO, I.; TAKEDA, Y. Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules. **Carbohydrate Polymers**, v.60, n.2, p.245-251, 2005.

OLIVEIRA, A.M.S.; BLANK, A.F.; ALVES, R.P.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; MALUF, W.R.; FERNANDES, R.P.M. Performance of sweet potato clones for bioethanol production in different cultivation periods. **Horticultura Brasileira**, v.35, p.057-062, 2017.

PASCOAL, A.M. **Extração e caracterização do amido de lobeira (*Solanum lycocarpum*)**. Tese (Doutorado em Biologia) - Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Biologia, Goiânia, 2014.

PFISTER, B; ZEEMAN, S. C. Formation of starch in plant cells. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.73, n.14, p.2781-2807, 2016.

- QI-HUA, L.; XUE-BIAO, Z.; LIAN-QUN, Y.; TIAN, L. Effects of chalkiness on cooking, eating and nutritional qualities of rice in two indica varieties. **Rice Science, Hangzhou**, v.16, n.2, p.161-164, 2009.
- RAÍZA C. F; PRISCILA Z. B. Poder de Inchamento e Microscopia Eletrônica de Varredura de Diferentes Genótipos de Arroz de Terras Altas. **Revista Processos Químicos**, 2016.
- RAVI, V.; NASKAR, S.K.; MAKESHKUMAR, T.; BABU, B.; KRISHNAN, B.S.P. Molecular physiology of storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Journal of Root Crops**, v.35, p.1-27, 2009.
- RAY, R. C.; TOMLINS, K. I. Sweet potato: Post harvest aspects in food, feed and Industry. Nova Iorque. **Nova Science Publishers**, p.27-58, 2010.
- RAY, R.C.; RAMACHANDRAN, S. **Bioethanol Production from Food Crops: Sustainable Sources, Interventions, and Challenges**. 3. Ed. Academic Press: London, UK, 2018.
- ROCHA, T. **Estudo da hidrólise enzimática do amido de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*): efeito do tamanho dos grânulos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. São José do Rio Preto, 2007.
- RÓS, A. B.; Produtividade de raízes de batata-doce destinada a produção de etanol. **Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios**, v.13 p.161-166, 2017.
- SANTANA, W. R.; MARTINS, L. P.; DA SILVEIRA, M. A.; DOS SANTOS, W. F.; GONÇALVES, R. C.; DE SOUZA, F. R.; MATA LIMA, M. Identificação agronômica de genótipos de batata-doce em banco de germoplasma para fins industriais de etanol carburante. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.7, n.1, p.31-34, 2013.
- SANTOS NETO, AR; SILVA, TO; BLANK, AF; SILVA, JO; ARAÚJO FILHO, RN. Produtividade de clones de batata doce em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.35, p.445-452, 2017.
- SHUMBUSHA, D; TUSIIME, G; EDEMA, R; GIBSON, P; ADIPALA, E.; MWANGA, R.O.M. Inheritance of Root Dry Matter Content in Sweet potato. **African Crop Science Journal**, v.22, p.69–78, 2014.
- SILVA, G. S. P. **Concentração de amido e estimativa de rendimento de álcool em batata-doce cultivada com diferentes fontes e doses de potássio**. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava-PR, p.50, 2013.
- SILVA, V., MONTEIRO, E.; ROUBOA, A. An analysis on the opportunities, technology and potential of biomass residues for energy production in Portugal. In: **13 Materials and processes for energy: Communicating current research and technological developments**. p.190–201, 2013.
- SILVEIRA, M. A. Batata-Doce: uma Nova Alternativa para a Produção de Etanol. Núcleo Central – Brasília. **Álcool combustível, (Série Indústria em Perspectiva)**. cap. 8, p.109-122, 2008.

SILVEIRA, M.A. **Batata-Doce: A Bionergia da Agricultura Familiar**. Universidade Federal do Tocantins p.19, 2009.

SINGH, N., SINGH, J., KAUR, L., SODHI, N. S., & GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, p.219-231, 2003.

TAHIR, R; ELLIS, P. R; BUTTERWORTH, P. J. The relation of physical properties of native starch granules to the kinetics of amylolysis catalysed by porcine pancreatic alpha-amylase. **Carbohydrate Polymers**, v.81, p.57–62, 2010.

VANDEPUTTE, G.E.; DELCOUR, J.A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p.245-266, 2004.

VEASEY, E.A.; SILVA, J.R.Q.; ROSA, M.S.; BORGES, A.; BRESSAN, E.A.; PERONI, N. Phenology and morphological diversity of sweet potato (*Ipomoea batatas*) landraces of three Vale do Ribeira. **Scientia Agrícola**, v.64, p.416-427, 2007.

VIEIRA, J.R. **Caracterização de raízes e ramas de Batata-Doce (*Ipomoea batatas* L.) e seu potencial na alimentação animal**. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2019.

VIDAL, M. F. Produção e uso de biocombustíveis no Brasil. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, **Caderno Setorial ETENE**, ano 4, n.79, 2019.

WANG, H.; XU, K.; MA, Y.; LIANG, Y.; ZHANG, H.; CHEN, L. Impact of ultrasonication on the aggregation structure and physicochemical characteristics of sweet potato starch. **Ultrasonics sonochemistry**, v.63, p.104868, 2020.

YONEMOTO, P. G.; CALORI, D. M. A.; FRANCO, C. M. L. Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo. **Food Science and Technology**, v.27, p.761-771, 2007.

YONG, H.; WANG, X.; SUN, J.; FANG, Y.; LIU, J.; JIN, C. Comparison of the structural characterization and physicochemical properties of starches from seven purple sweet potato varieties cultivated in China. **International journal of biological macromolecules**, v.120, p.1632-1638, 2018.

ZABED, H.; SAHU, J. N.; SUELY, A.; BOYCE, A. N.; FARUQ, G. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.71, p.475-501, 2017.

ZHU, F; YANG, X; CAI, Y. Z; BERFOTOFT, E; CORKE, H. Physicochemical properties of sweet potato starch. **Starch/Starke**, v.63 p.249-259, 2011.

ZHU, F.; WANG, S. Physicochemical properties, molecular structure, and uses of sweet potato starch. **Trends in Food Science & Technology**, v.36, p.68–78, 2014.

ZHU, F.; XIE, Q. Rheological and thermal properties in relation to molecular structure of New Zealand sweet potato starch. **Carbohydrate polymers**, v.188, p.181-187, 2018.