

JULIANA APARECIDA MARQUES EBURNEO

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDOS EXTRAÍDOS DE BATATAS
CULTIVADAS SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Botucatu

2017

JULIANA APARECIDA MARQUES EBURNEO

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDOS EXTRAÍDOS DE
BATATAS CULTIVADAS SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO
NITROGENADA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientadora: Magali Leonel

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

E16c Eburneo, Juliana Aparecida Marques, 1986-
Características físico-químicas de amidos extraídos de batatas cultivadas sob diferentes doses de adubação nitrogenada / Juliana Aparecida Marques Eburneo. - Botucatu : [s.n.], 2017
70 p. : fots. color., grafos., ils., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017
Orientador: Magali Leonel
Inclui bibliografia

1. Batata - Cultivo. 2. Fertilizantes nitrogenados. 3. Amido - Viscosidade. I. Leonel, Magali. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte."

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE AMIDOS EXTRAÍDOS DE BATATAS CULTIVADAS SOB DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA

AUTORA: JULIANA APARECIDA MARQUES EBURNEO

ORIENTADORA: MAGALI LEONEL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof.ª. Dra. MAGALI LEONEL
CERAT / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES
CERAT / Universidade Estadual Paulista - UNESP



Prof.ª. Dra. MARIANA CAMARGO SCHMIDT
Departamento de Alimentos / Instituto Federal de São Paulo

Botucatu, 30 de janeiro de 2017

DEDICATÓRIA

Ao meu amado marido Ricardo, presente de Deus para mim, que sempre está ao meu lado me apoiando, com muita paciência, carinho, amor e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste curso de mestrado não é fruto apenas do meu esforço. O mérito deste trabalho deve ser dividido com muitas pessoas que, de maneira direta ou indireta, participaram da realização dele.

Agradeço primeiramente a Deus que me fez forte e me concedeu paciência e sabedoria mostrando que eu alcançaria todos os meus objetivos.

Ao meu marido Ricardo e ao nosso filho Getúlio que Deus nos concedeu.

À minha irmã Patrícia que tanto amo e tanto quero bem e especialmente minha mãe Lenise, uma mulher guerreira que sempre lutou por mim, e que a vida toda foi meu porto seguro, pois sem ela eu nada seria.

À minha orientadora Prof.^a Dra. Magali Leonel pela amizade, dedicação, paciência, incentivo e confiança.

Ao Prof. Dr. Cláudio Cabello, que me apresentou o Centro de Raízes e Amidos Tropicais.

Ao CERAT pelo suporte para execução deste trabalho.

Aos amigos Alessandra, Amanda, Camila, Daiana, Danilo, Delba, Elder, Emerson, Ezequiel, Nice e Thaís pelo auxílio e pela amizade em todos os momentos.

Aos pesquisadores Dr. Adalton Mazetti Fernandes, Dra. Thaís Paes Rodrigues dos Santos e Dra. Mariana Camargo Schimdt pelas correções e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

A todos, muito obrigada.

“O que fazemos para nós mesmos morre conosco.
O que fazemos pelos outros e pelo mundo
permanece e é imortal.” Albert Pine.

RESUMO

A batata é a hortaliça com maior área cultivada no Brasil, sendo que sua produção se concentra nos estados da região sul e sudeste. Na cultura da batata o manejo inadequado da adubação nitrogenada pode causar crescimento exagerado da parte aérea, reduzir a qualidade de tubérculos e aumentar o custo de produção. Além disso, as condições de cultivo também podem influenciar as características do amido, principal carboidrato de reserva da batata, o que pode levar a interferências na aplicabilidade deste pelas indústrias alimentícias. Frente ao exposto, este trabalho teve por objetivo caracterizar amidos extraídos de batata cv Ágata cultivada sob diferentes doses de adubação nitrogenada e avaliar a possível interferência desta prática sobre a morfologia e distribuição de tamanho dos grânulos de amido, teor de amilose, teores de fósforo, cálcio, potássio e magnésio, composição físico-química, propriedades de pasta e térmicas; parâmetros estes determinantes para o estabelecimento das potencialidades de aplicabilidades do amido pelas indústrias. Para o alcance deste objetivo foram utilizados tubérculos de batata resultantes da colheita de ensaio experimental com adubação nitrogenada instalado em propriedade rural na região da cidade de Avaré, estado de São Paulo. Após o cultivo de 117 dias, as batatas foram colhidas, lavadas e processadas para a extração e análise do amido. Os resultados obtidos mostram que o amido de batata extraído de plantas cultivadas sem a aplicação de adubo nitrogenado apresentou grânulos redondos e ovalados, com predomínio de diâmetro maior na faixa de 26 a 50 μ m, padrão de difração de raio X do tipo B, 22,16% de cristalinidade relativa, elevada pureza, presença de 1090 ppm de fósforo, 893 ppm de potássio, 200 ppm de cálcio e 88 ppm de magnésio. Temperatura de pasta de 67,94°C, pico de viscosidade de 796,88 RVU, quebra de viscosidade de 622,03 RVU, viscosidade final de 236,28 RVU e tendência a retrogradação de 65,76 RVU. A gelatinização iniciou em 65,85°C, com pico em 68,03°C e final em 70,79°C, com variação de entalpia de 9,92 J g⁻¹. A análise dos dados mostrou interferência da adubação nitrogenada sobre as características do amido de batata cv Ágata, sendo que o incremento nas doses de nitrogênio levou a obtenção de amidos com menor cristalinidade relativa, menores teores de fósforo, cálcio e magnésio, menor resistência à temperatura e agitação e menores temperaturas de gelatinização. Estes resultados indicam que o manejo

cultural pode afetar importantes propriedades determinantes de aplicabilidade do amido de batata.

Palavras-chave: *Solanun tuberosum*, nitrogênio, viscosidade, cristalinidade.

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF STARCHS EXTRACTED FROM POTATOES CULTIVATED UNDER DIFFERENT NITROGEN FERTILIZATION DOSES. Botucatu, 2017. 70p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Juliana Aparecida Marques Eburneo

Adviser: Phd Magali Leonel

ABSTRACT

Potato is a vegetable with the largest cultivated area in Brazil and its production is concentrated in the states of the southeast region. In potato cultivation nitrogen fertilization management can cause overgrown growth, reduce the quality of tubers and increase the cost of production. In addition, the cultivation conditions may also influence the characteristics of the starch, main reserve carbohydrate of the potato, which can lead to interference in applicability of starch by industries. In view of the above, the objective of this work was to characterize starches extracted from Ágata cultivar cultivated under different rates of nitrogen fertilization, and to evaluate possible interference on morphology and size distribution of starch granules, amylose content, phosphorus, calcium, potassium and magnesium, physical-chemical composition, pasting and thermal properties, important characteristics for establishing the potential of starch application by industries. In order to reach this objective was analyzed tubers obtained from experimental area in the region of the Avaré city, state of São Paulo. After cultivation of 117 days potatoes were harvested, washed and processed for extraction and analysis of the starches. The results obtained show that potato starch extracted from plants cultivated without a nitrogen fertilizer application showed round and oval granules, with a larger diameter in the range of 26 to 50 μm , pattern type B of X-ray diffraction, 22,16% of relative crystalline, high purity, presence of 1090 ppm of phosphorus, 893 ppm of potassium, 200 ppm of calcium and 88 ppm of magnesium. The pasting temperature was 67.94°C, viscosity peak was 796.88 RVU, viscosity breakdown was 622.03 RVU, final viscosity was 236.28 RVU and setback was 65.76 RVU. The gelatinization of starch granules started at 65.85°C, with peak at 68.03°C, and final at 70.79°C, with enthalpy variation of 9.92 J g⁻¹. The analysis of the data showed the interference of nitrogen fertilization on the characteristics of Ágata potato starch. The increase in

nitrogen rates led to the obtaining of starches with lower relative crystalline, lower phosphorus, calcium and magnesium contents, lower resistance to temperature and agitation and lower gelatinization temperatures. These results indicate that cultural management can affect important determining properties of potato starch application, which is of great interest to the food industry.

Keywords: *Solanun tuberosum*, nitrogen, starch, viscosity, crystallinity.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estrutura da amilose e da amilopectina em um grânulo de amido	28
Figura 2. Estrutura do grânulo de amido.	30
Figura 3. Padrões de difração de raio x tipo A (mandioca) e tipo B (batata)	32
Figura 4. Fluxograma do processo de extração dos amidos de batata	40
Figura 5. Perfil típico de viscosidade do amido	46
Figura 6. Morfologia dos grânulos de amido, sem adubação nitrogenada (A), dose 60kg ha ⁻¹ (B), dose 120kg ha ⁻¹ (C) e dose 160kg ha ⁻¹ (D).....	47
Figura 7. Distribuição dos tamanhos dos grânulos com o aumento das doses.....	48
Figura 8. Padrões de difração de raio x dos amidos de batata com diferentes doses de N.....	49
Figura 9. Cristalinidade relativa do amido em função das doses de adubação nitrogenada	50
Figura 10. Teor de amilose no amido em função das doses de adubação nitrogenada	51
Figura 11. Efeito da adubação nitrogenada nos teores de minerais dos amidos de batata cv Ágata	53
Figura 12. Propriedades de pasta dos amidos em função das doses de adubação nitrogenada	57
Figura 13. Propriedades térmicas dos amidos em função das doses de adubação nitrogenada	59

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Tratamentos, fonte de nitrogênio, dose e forma de aplicação do adubo ...	39
Tabela 2. Média e desvios padrão da concentração dos minerais no amido de batata em função das doses de adubação nitrogenada.....	52
Tabela 3. Média e desvio padrão das características físico-químicas dos amidos de batata cultivadas em diferentes doses	54
Tabela 4. Média e desvio padrão das propriedades de pasta dos amidos.....	56
Tabela 5. Média e desvio padrão das propriedades térmicas dos amidos.....	58

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1 Batata	23
2.2 Adubação nitrogenada	24
2.3 Amido	27
2.3.1 Estrutura do amido	27
2.3.2 Distribuição de tamanho de grânulo	30
2.3.3 Padrão de raio X e cristalinidade.....	31
2.3.4 Minerais.....	33
2.3.5 Propriedades de pasta	34
2.3.6 Propriedades térmicas.....	36
3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1 Obtenção das batatas	38
3.2 Delineamento experimental.....	38
3.3 Características do adubo utilizado	39
3.4 Extração dos amidos.....	39
3.5 Caracterização dos amidos	40
3.5.1 Forma e distribuição de tamanho dos grânulos.....	40
3.5.2 Padrão de raio X e cristalinidade.....	41
3.5.3 Amilose.....	41
3.5.4 Minerais.....	42
3.6 Caracterização físico-química dos amidos	42
3.6.1 Umidade	42
3.6.2 Cinzas	42
3.6.3 Amido	43

3.6.4 Açúcares solúveis totais	43
3.6.5 Proteína	43
3.6.6 Lipídeos	44
3.6.7 pH e Acidez titulável	44
3.6.8 Fibras.....	44
3.7 Propriedades de pasta (RVA)	45
3.8 Propriedades térmicas do amido (dsc)	46
3.9 Análise dos dados.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Forma e distribuição de tamanho dos grânulos	47
4.2 Padrão de raio X e cristalinidade	48
4.3 Amilose	50
4.4 Minerais	51
4.5 Caracterização físico-química dos amidos	54
4.6 Propriedades de pasta.....	55
4.7 Propriedades térmicas	58
5 CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) é cultivada mundialmente tendo como centro de origem a divisa entre Peru e Bolívia (FILGUEIRA, 2008). O maior produtor mundial é a China com 88 milhões de toneladas, cuja produção em conjunto com a da Índia (45 milhões) corresponde a mais de um terço da produção mundial de 365 milhões de toneladas (FAO, 2016).

No Brasil, a área cultivada supera as demais olerícolas, destacando-se como maiores produtores os estados de Minas Gerais com 1,2 milhões de toneladas, Paraná com 843 mil toneladas e São Paulo com 729 mil toneladas, a produção nacional no ano de 2015 foi de 3,8 milhões de toneladas. No *ranking* mundial no ano de 2014 o Brasil ficou na vigésima primeira posição (IBGE, 2016; FAO, 2016).

Muitas espécies de tubérculos estão sendo utilizadas para a extração do amido e o uso desse carboidrato tem sido o mais variado possível, principalmente na indústria de alimentos (PEREIRA; SANTOS, 1997).

O grânulo de amido é formado essencialmente por dois polissacarídeos: a amilose e a amilopectina. A amilose é definida como uma molécula essencialmente linear formada por unidades de D-glicose unidas por ligações glicosídicas $\alpha(1,4)$. A amilopectina é uma molécula ramificada formada por unidades de α -D-glicose ligadas em $\alpha(1,4)$, e essas cadeias estão unidas entre si por ligações $\alpha(1,6)$. A propriedade do amido depende da massa molar destes dois componentes, bem como, da organização molecular no grânulo. Cada amido é único na organização e na estrutura dos seus grânulos e geralmente possui estrutura, propriedade e comportamento limitado. Sendo assim, amidos de fontes botânicas diferentes não se comportam da mesma maneira (COUTINHO, 2007).

As propriedades dos amidos são determinadas pela estrutura química e molecular dos polímeros amilose e amilopectina e pela quantidade de outros componentes, como os lipídios, proteínas e açúcares (COUTINHO, 2007). As características físico-químicas e funcionais do amido estão relacionadas às características estruturais do grânulo, as quais dependem da fonte botânica, do local e das condições de crescimento, entre outras (HERMANSSON; SVEGMARK, 1996; SLATTERY; KAVAKLI; OKITA, 2000).

O acúmulo de amido nas plantas ocorre principalmente nos órgãos de reserva como é o caso de grãos de cereais, como o arroz, o milho e o trigo; de tubérculos e

de raízes, como a batata, a mandioca, o taro, a batata-doce e outras e de leguminosas, como o feijão e a ervilha (CIACCO; CRUZ, 1987; LEONEL; CEREDA, 2002). O amido apresenta características físico-químicas e qualidade nutricional superiores quando comparado com outros carboidratos (WHISTLER; BEMILLER, 1997).

O amido de batata possui uma interessante variedade de propriedades que o tornam desejável para alimento e aplicação na indústria. Ele apresenta maior viscosidade em relação a outros amidos comercialmente disponíveis e baixos níveis de proteína residual. Suas pastas são extremamente claras e com pouca tendência a formar gel ou retrogradar. Isto se deve ao elevado peso molecular das frações de amilose e das substituições por grupos fosfatos (ALEXANDER, 1995).

Os nutrientes são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo importantes na formação das raízes, principalmente no acúmulo de carboidratos, lipídios e proteínas.

O nitrogênio (N) é o elemento que mais frequentemente limita o desenvolvimento da planta de batata. A aplicação de N é usualmente necessária para garantir a rentabilidade da produção de batata, uma vez que grande parte deste nutriente no solo está na forma orgânica, tanto na matéria orgânica do solo, como em resíduos de cultivos antecessores; portanto, não estão prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas plantas. Dessa forma, a adubação nitrogenada na cultura da batata se faz necessária (ZEBARTH; ROSEN, 2007).

Este trabalho fundamentou-se nas seguintes premissas: a batata tem grande importância econômica, nutricional e social; a adubação nitrogenada aplicada na forma do ENTEC® 26, um adubo estabilizado com um inibidor de nitrificação, pode levar ao aumento da produtividade; a interferência da adubação nitrogenada no acúmulo de carboidratos nos tubérculos de batata pode interferir nas propriedades do amido.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da adubação nitrogenada no cultivo da batateira cv Ágata sobre as características de seu amido, visando fornecer informações de grande importância ao setor produtivo e agroindustrial, além de um maior entendimento sobre a interferência da adubação nas propriedades do amido.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Batata

No ano de 2014 a batata foi cultivada em mais de 125 países, com produção de aproximadamente 385 milhões de toneladas (FAO, 2016) e com consumo por mais de um bilhão de pessoas (MULLINS et al., 2006).

Entre os brasileiros, a batata não constitui um alimento básico para a população, como ocorre entre os europeus, norte-americanos e em muitos outros povos latino-americanos (LILJEBERG, 2002), contudo, a batata é a principal cultura olerícola em área e em preferência alimentar (STRECK et al., 2006).

O ciclo cultural da batata, nas condições tropicais e subtropicais, varia de 90 a 110 dias, dependendo da cultivar (PEREIRA; DANIELS, 2003). A alta produtividade e o ciclo relativamente curto fazem da batateira uma cultura exigente quanto à presença de nutrientes na forma prontamente disponível na solução do solo (FELTRAN, 2005).

A produção de batata no Brasil se estende por quase todo o ano a fim de atender às necessidades de suprimento da demanda de consumo *in natura* e da indústria; sendo que os fatores de importância comercial dos tubérculos são o teor e a qualidade do amido e a composição bioquímica do tubérculo, principalmente, em termos de açúcares redutores. O teor da matéria seca pode variar de acordo com a cultivar, condições de cultivo e grau de maturidade dos tubérculos, visto que os compostos químicos são distribuídos homoganeamente no tubérculo (VAN ES; HARTMANS, 1987).

Os tubérculos de batata são compostos por, aproximadamente, 76% de água, 20% de carboidratos, 2% de proteínas e baixo teor de lipídeos. O amido é a principal fonte de reserva, sendo de 60% a 80% da matéria seca (FINGER; FONTES, 1999).

No cultivo da batata, em sistemas intensivos, normalmente são utilizadas altas doses de fertilizantes inorgânicos com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (COGO et al., 2006; SILVA et al., 2007). Outra característica dessa cultura é o seu elevado custo de produção, o qual tem aumentado nos últimos anos (DELEO, 2010). Embora seja uma cultura exigente em nutrientes e com custo elevado, muitos produtores não acatam as recomendações técnicas de adubação para a cultura e adubam, muitas vezes, sem sequer realizar a análise química do solo (NAVA et al.,

2007), utilizando quantidades superiores às necessárias de fertilizantes no momento do plantio (FELTRAN, 2005).

Segundo Fontes (1997), entre muitos produtores, a regra geral é adubar a cultura, não procurando adequar a dose ótima de fertilizante com a produção ponderada e nem mesmo com a produção classificada de tubérculos. Assim, é comum verificar após a colheita da batata, a presença visível de fertilizantes no solo (FELTRAN, 2005).

2.2 Adubação nitrogenada

O nitrogênio (N) é o macronutriente mais abundante na planta e, portanto, o mais exigido em relação a outros, com exceção de algumas culturas. O N na planta, como no solo, encontra-se principalmente na forma orgânica, sendo um importante constituinte das proteínas e aminoácidos desta. Pode ser absorvido pelas plantas na forma de Amônio (NH_4^+) ou Nitrato (NO_3^-). A eficiência na adubação nitrogenada depende de diversos fatores, como o tipo de adubo utilizado, ocorrência de precipitação antes ou após a aplicação e outros. O N é altamente móvel no solo e facilmente lixiviado, ou seja, levado a grandes profundidades no solo com as águas da chuva. Essa é a principal razão por não se quantificar N nas análises de solo e por, em muitas vezes, a eficiência de absorção de nitrogênio ser baixa (CORRÊA; ARARIPE, 2016).

Na cultura da batata, o N influencia o desenvolvimento da parte aérea, a diferenciação e o crescimento dos tubérculos. O aumento da dose de N ocasiona aumento na produção de massa da matéria seca da planta (MEYER; MARCUM, 1998; GOFFART et al., 2008; COELHO et al., 2009). Entretanto, devem ser evitadas doses excessivas de N, principalmente as aplicadas tardiamente, que induziriam a planta a produzir folhas em demasia e a alongar o período de crescimento e maturação, o que implicaria na redução do período desejável de tuberização e, conseqüentemente, menor armazenagem de amido nos tubérculos, resultando em menor produtividade (FONTES, 1987; ZVOMUYA et al., 2003).

Outros dados relatados são que o nitrogênio pode aumentar o conteúdo de matéria seca e proteínas, contudo, um decréscimo no acúmulo de amido tem sido observado (WESTERMANN et al., 1994, FONTES et al., 2010, ÖZTÜRK et al., 2010, MICHALSKA et al., 2016). Este fato pode estar relacionado à biossíntese de amido

nos tubérculos, e, assim, também na fosforilação do amido. Na cultura da batata, doses elevadas de N podem causar crescimento exagerado da parte aérea, fazendo com que as folhas e as hastes fiquem quebradiças e acabem acamando, tornando-se susceptíveis a entrada de fungos e bactérias (FREITAS, 2003).

Além disso, o excesso de N interfere na qualidade dos tubérculos, pois aumenta o teor de água e o teor de açúcares redutores dos mesmos, favorecendo o escurecimento e a maior retenção de gordura após o processo de fritura (LONG et al., 2004; BRAUN et al., 2010).

Nos estados do centro-sul do Brasil, a dose de N recomendada varia de 60 a 250kg ha⁻¹ (FONTES, 1997). Entretanto, na cultura comercial da batata brasileira, não é difícil encontrar produtores utilizando até 400kg ha⁻¹ de N. Uma recomendação geral é 190kg ha⁻¹ de N (FONTES, 1999), podendo variar de 170 a 210kg ha⁻¹ dependendo da variedade (BUSATO, 2007).

Nas últimas décadas, os esforços têm sido direcionados no sentido de otimizar a eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas, visando reduzir os custos de produção, evitar a degradação dos recursos ambientais e aumentar o rendimento das culturas (ZEBARTH et al., 2009).

Do total do N aplicado no solo, cerca de 40% a 60% é aproveitado pela planta de batata, sendo que uma grande porcentagem do N residual é incorporado à matéria orgânica do solo, representando potencial risco de ser lixiviado para o lençol freático (ZEBARTH et al., 2007; GOFFART et al., 2008).

Essas perdas podem agravar-se principalmente em região onde ocorre elevado índice pluviométrico, pois a batata apresenta um sistema radicular raso e pouco desenvolvido quando comparado com outras culturas como milho e o trigo (HECKMAN, 2002).

De acordo com Silva et al. (2009), o parcelamento da dose recomendada de N pode melhorar a eficiência da fertilização nitrogenada, sendo essa decisão obtida pela avaliação do estado nutricional de N da batateira. Alguns autores recomendam apenas uma aplicação em cobertura de N e outros, embasados em estudos de perda de N, sugerem o fracionamento da dose desse nutriente em mais de uma vez após o plantio constituindo-se em uma alternativa interessante em solos de textura grosseira e sob irrigação (KLEINHENZ, 2001). Steiber e Mahler (2003) citam que a cultura de batata é uma das que requerem mais parcelamento do adubo nitrogenado. Alguns autores recomendam até cinco parcelamentos, pelo fato das

raízes apresentarem-se superficiais e pela fácil perda de N por lixiviação. Porém, estas operações tornam-se inviáveis, devido à adição de custos e disponibilidade de equipamentos para mais essas adicionais operações, e devido a possíveis atrasos na aplicação causados pelas condições climáticas e ainda pode causar danos no sistema radicular em aplicações incorporadas (WOLKOWSKI et al., 1995).

Segundo Fernandes et al. (2011), o percentual de acúmulo de N na cultura da batata, especificamente da cultivar Ágata é de 13% na fase de crescimento vegetativo, 8% na tuberização, 43% no início do enchimento de tubérculos mais 34% na segunda metade desta fase e de 2% na maturação. Dessa forma, pensando-se nas perdas por lixiviação, a estratégia mais apropriada é fornecer o N de acordo com as exigências da cultura, utilizando pequenas doses no sulco do plantio e o restante em cobertura (FERNANDES; SORATTO, 2012).

Diante disso, a utilização de parcelamento e fontes de adubo que contenham inicialmente NH_4^+ , NO_3^- e adicionalmente algum tipo de inibidor de nitrificação, tornam-se uma estratégia para suprir a demanda de N pela batateira durante seu ciclo. Dessa forma, a partir da última década estudos vêm sendo realizados com o sulfonitrato de amônio mais o inibidor de nitrificação DMPP (3,4-dimetilpirazol fosfato) (SOUZA; SORATTO, 2006; SILVA et al., 2008; ARREGUI; QUEMADA, 2008; BINOTTI, 2009; MIGLIORATI et al., 2014); no mercado encontra-se o ENTEC[®] 26 desenvolvido pela empresa BASF, que é composto por 26% nitrogênio (N) total, sendo 7,5% (N) nítrico, 18,5% (N) amoniacal, 32,5% trióxido de enxofre (SO_3) solúvel em água e 0,8% DMPP em relação com o nitrogênio amoniacal (EUROCHEM AGRO, 2016).

A tecnologia que utiliza o DMPP (3,4-dimetilpirazol fosfato) atua sobre as bactérias nitrificadoras do solo, que transformam o nitrogênio amoniacal em nitrogênio nítrico, mantendo a população deste microrganismo, mas controlando a sua atividade. Com fertilizantes sem tecnologia de controle, a maioria do nitrogênio aplicado ao solo pode ser rapidamente convertido em nitrogênio nítrico, muito móvel no solo, e se este não for rapidamente imobilizado ou absorvido pelas plantas, sofre lixiviação, originando perdas, pouca eficiência e contaminações desnecessárias (AMARAL; NUNES, 2015).

2.3 Amido

O amido fornece de 70% a 80% das calorias consumidas pelo homem, esta disponível em quantidades suficiente e os processos industriais permitem que o amido seja extraído com elevada pureza. Pois trata-se de uma matéria-prima renovável e não tóxica (VAN DER BURGT et al., 2000). Devido a suas propriedades físico-químicas e funcionais exclusivas, este carboidrato tem grande importância nos mais diversos setores industriais (FRANCO et al., 2002).

Os amidos obtidos de diferentes fontes contribuem para as propriedades de textura de muitos alimentos e são amplamente usados em diversas aplicações industriais, tais como espessante, estabilizador coloidal, agente gelificante e de retenção de água (SINGH; KAURB; MCCARTHY, 2007).

O amido apresenta características físicas e químicas e qualidade nutricional superiores quando comparado com outros carboidratos (WHISTLER; BEMILLER, 1997). Tais como diferenciação na forma e tamanho dos grânulos, na proporção entre amilose e amilopectina, capacidade de absorção de água e temperatura de gelatinização (CABELLO, 1995).

2.3.1 Estrutura do amido

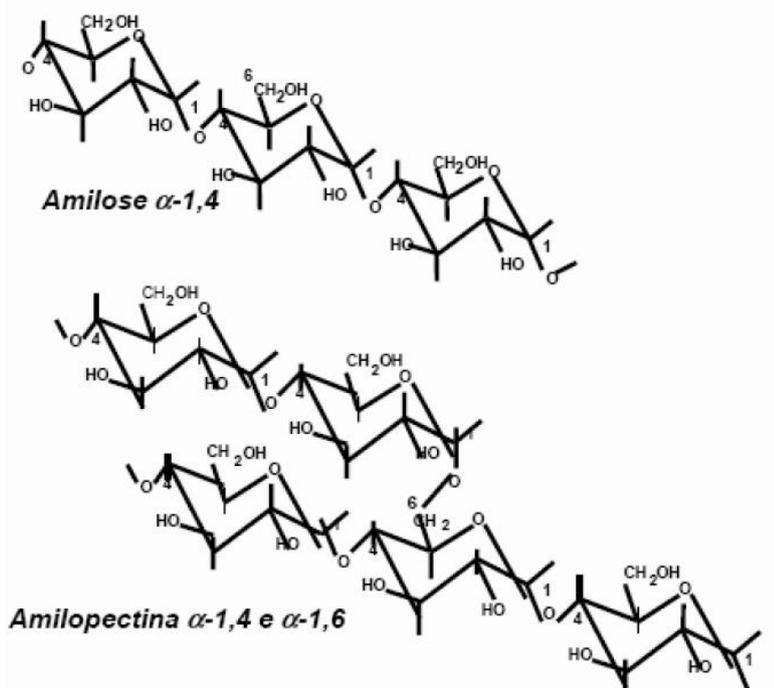
Quimicamente, pode-se afirmar que o amido é um polímero natural formado pela reação de condensação de moléculas de α - glicose com eliminação de água. Amidos são polissacarídeos, ou seja: carboidratos que, por hidrólise, originam uma grande quantidade de monossacarídeos. Portanto, os polissacarídeos são macromoléculas formadas pela união de muitos monossacarídeos (RECHSTEINER, 2009).

Os grânulos de amido são misturas heterogêneas de duas macromoléculas, amilose e amilopectina, que diferem entre si no tamanho molecular e no grau de ramificação (MIZUKAMI et al., 1999) (Figura 1). A maioria dos amidos contém 20% a 30% de amilose e 70% a 80% de amilopectina (WURZBURG, 1986). De acordo com Swinkels (1985), os amidos de batata e de mandioca possuem baixo conteúdo de amilose com, respectivamente, 21% e 17%, quando comparados aos 28% dos amidos de milho e trigo.

As moléculas de amilose têm a capacidade de, quando em solução, associarem-se entre si, formando precipitados. Esses precipitados ocorrem porque as cadeias lineares apresentam a tendência de alinharem-se paralelamente umas às outras, levando à associação através de pontes de hidrogênio e, conseqüentemente, reduzindo sua afinidade pela água. Ao longo do tempo, o tamanho dos agregados aumenta, causando a precipitação, num fenômeno conhecido como retrogradação (ALBANO, 2012).

A amilopectina é bastante ramificada ao contrário da amilose e pode apresentar massas molares que variam de várias centenas de milhares até milhões, devido à presença de milhares de unidades de glicose em cada molécula. Vários tipos de ligações podem existir nas moléculas de amilopectina, embora sejam, em sua maioria ligações $\alpha(1,4)$ e $\alpha(1,6)$. É na ligação $\alpha(1,6)$ que ocorrem as ramificações (LEE, 1983).

Figura 1. Estrutura da amilose e da amilopectina em um grânulo de amido



Fonte: Adaptado de Wong (1989).

Conforme a cultivar, o amido pode apresentar de 18,5% a 32% de amilose, sendo que os amidos com altos teores de amilose são preferidos para obtenção de

produtos fritos, por apresentarem menor absorção de gordura durante e após o processamento (KOBLOITZ, 2011).

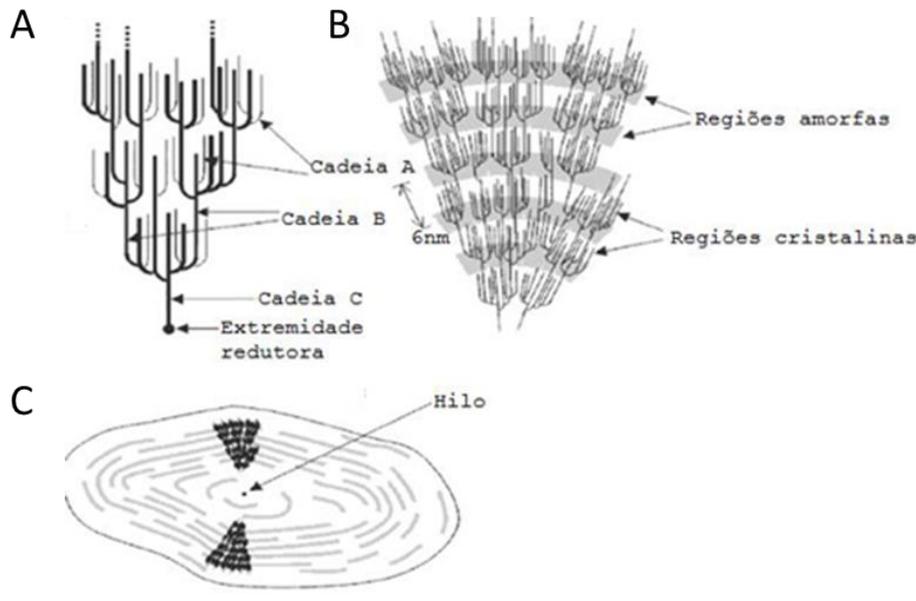
A amilose é considerada a responsável pelo processo de retrogradação, sendo esta uma das mais importantes propriedades do amido. Existe uma relação entre o comprimento da cadeia de moléculas de amilose e a facilidade em retrogradar. Moléculas muito grandes ou muito curvas têm dificuldade em se reassociarem, diminuindo a velocidade de retrogradação. O grau de polimerização da amilose depende da fonte do amido. Amidos de batata contêm moléculas de amilose com alto grau de polimerização quando comparadas com amidos de milho e trigo (SWINKELS, 1985).

As moléculas de amilose e amilopectina são dispostas no grânulo formando uma estrutura de camadas, que se superpõem ao redor de um ponto denominado hilo (Figura 2C), o qual pode estar no centro do grânulo ou deslocado lateralmente. As camadas que circundam o hilo são resultantes da deposição de amido de diferentes graus de hidratação, resultantes da presença de amilose ou da amilopectina. Devido a isto existem regiões alternadas de alto e baixo índice de refração, densidade, cristalinidade e resistência ao ácido e a enzimas (FRANCO et al., 2002).

A organização das cadeias de amilopectina é baseada na identificação das cadeias A, B e C (Figura 2A). As cadeias A são ligadas nas outras (B ou C) pelo grupo terminal redutor por ligações $\alpha(1,6)$, mas delas não saem ramificações. As cadeias B são ligadas em outra cadeia B ou C, mas delas ramificam outras cadeias A ou B. Cada molécula de amilopectina tem apenas uma cadeia C, que possui o único grupo terminal redutor da molécula (VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004; DENARDIN; SILVA, 2009; JANE, 2009).

Figura 2. Estrutura do grânulo de amido.

A) Classificação das cadeias de amilopectina em tipo A, B e C.). B) Estrutura do grânulo dividida em regiões amorfas e cristalinas. C) Modelo da estrutura do grânulo com visualização dos anéis de crescimento e centro de nucleação



Fonte: Parker e Ring (2001).

Os grânulos de amido são formados por camadas que podem ser visualizadas em microscopia ótica. Geralmente, camadas claras e escuras são identificadas. Quando tratados termicamente em meio aquoso essas camadas distanciam, devido à absorção de água. Cerca de dois terços do grânulo de amido não está arranjado de maneira cristalina, ficando evidente que nessas regiões amorfas as moléculas estão parcialmente hidratadas, ou seja, os grânulos estão um pouco inchados (intumescidos). O grau de hidratação está relacionado com o poder de inchamento dos grânulos, influenciado pela associação molecular e pela composição química (FRANCO et al., 2001).

2.3.2 Distribuição de tamanho de grânulo

O tamanho dos grânulos varia de 1 a 100 μ m, dependendo da origem do amido. A maioria dos grânulos é oval, embora apresentem formas redondas, esféricas, poligonais e também formas irregulares. Quando observados por microscópio

eletrônico de superfície, todos os grânulos apresentam superfície lisa, sem nenhuma fissura (HOOVER, 2001).

O exame microscópico dos grânulos fornece informações sobre a origem dos amidos contribuindo para sua caracterização. Grânulos de amidos nativos podem ser reconhecidos pela forma, tamanho e posição do hilo (FRANCO et al., 2001).

Leonel (2007), analisando a forma e tamanho de grânulos de amido de diferentes tuberosas, observou grande diversidade para os parâmetros estudados entre as tuberosas. A análise do amido de batata mostrou grânulos circulares e ovalados com predomínio de grânulos com diâmetro maior na faixa de 20 a 40 μ m, apresentando uma faixa de distribuição de tamanho de 10 a 140 μ m.

Os grânulos de amidos de tuberosas são geralmente volumosos e elipsoidais com hilos excêntricos ou poliédricos (GUILBOT; MERCIER, 1985). A composição do amido, gelatinização, propriedades de pasta, suscetibilidade enzimática, características de cozimento e propriedade de inchamento e cristalinidade, são todos afetados pelo tamanho do grânulo (RAEKER et al., 1998; LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004). O teor de amilose é maior em grânulos maiores, entretanto, o conteúdo de lipídeos é mais elevado em grânulos menores (ROCHA, 2007).

2.3.3 Padrão de raio X e cristalinidade

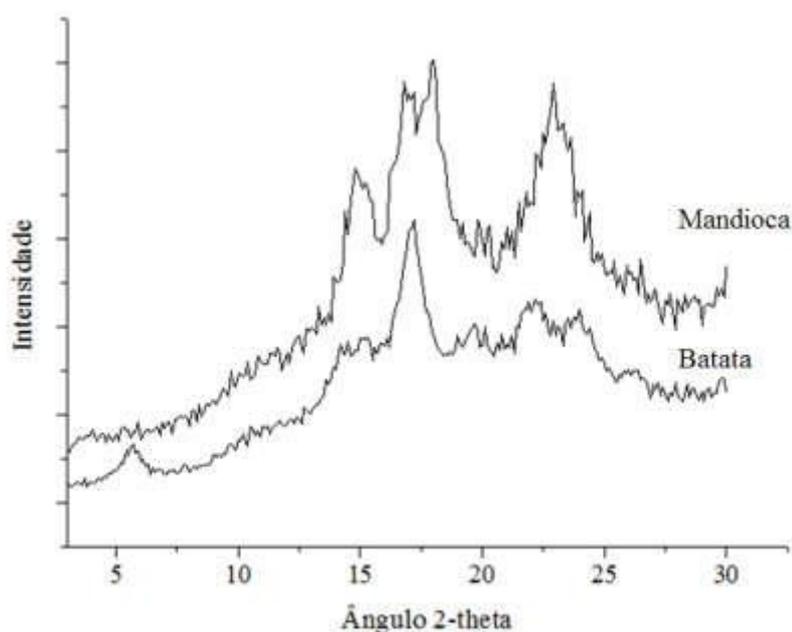
Os grânulos de amido apresentam tipos de cristalinidade diferentes, tendo os padrões de difração de raios X do tipo A, B ou C variando com comprimento das cadeias ramificadas da amilopectina, descrito principalmente em função das duplas hélices formadas (JANE, 2006).

Segundo estudos realizados por Gallant et al. (1982), a organização estrutural das regiões amorfas e cristalinas do grânulo de amido nativo pode ser estudada por difração de raios X, sendo este um dos melhores métodos para investigação das regiões cristalinas. Por este método, o grânulo de amido pode ser dividido em dois grupos. No primeiro se concentra os amidos de cereais que apresentam um padrão de raios X tipo A, formado de duplas hélices dispostas em arranjo monocíclico. No segundo grupo estão presentes os amidos de tubérculos e raízes com padrões de raios X tipo B, formado de uma estrutura aberta e altamente hidratada, com duplas hélices dispostas em arranjo hexagonal (GALLANT; BOUCHET; BALDWIN, 1997;

WHISTLER; BeMILLER, 1997; BLENNOW et al., 2000; PARKER; RING, 2001). Amidos de leguminosas exibem um padrão tipo C, considerado, por alguns autores como uma mistura dos tipos A e B (PERONI, 2003).

A maioria dos amidos de raízes e tubérculos possuem padrão de difração de raios X do tipo B conforme Figura 3, com picos que apontam duas reflexões principais centradas em $5,5^\circ$ e $17,2^\circ$ a 2θ (HOOVER, 2001).

Figura 3. Padrões de difração de raio x tipo A (mandioca) e tipo B (batata)



Fonte: Santos (2016).

A cristalinidade dos grânulos de amido nativos varia de 15% a 45%. Devido a esta razão, a cristalinidade desempenha um papel importante na arquitetura do grânulo de amido e nas características físico-químicas, tais como a susceptibilidade à degradação enzimática e a fraca solubilidade em água fria (TANG et al., 2006).

Na gelatinização, o amido incha aumentando o seu tamanho inicial em muitas vezes. O grânulo frágil sofre rupturas e parte da amilose é lixiviada para o meio aquoso. Segundo Singh et al. (2003), o comportamento de inchamento do amido é uma característica do conteúdo de amilopectina e a ação da amilose é ao mesmo tempo diluente e inibidor do inchamento. Devido a amilopectina ter papel importante na cristalinidade do grânulo de amido, a presença de amilose diminui o ponto de solubilidade das regiões cristalinas e a energia de início de gelatinização. Portanto, maior energia é necessária para iniciar a solubilização na ausência de regiões

amorfos que são ricos em amilose. A extensão da interação entre os componentes das regiões cristalinas e amorfas é influenciada pela concentração entre amilose e amilopectina, e pelas características da amilose e amilopectina em termos de peso e distribuição molecular, grau e tamanho das ramificações (HOOVER, 2001).

2.3.4 Minerais

Os minerais absorvidos pelas plantas são divididos em macro ou micronutrientes, de acordo com o nível de exigência (em quantidade) das plantas para cada um. Cada um deles tem uma função específica no metabolismo da planta, não podendo ser substituído por outro elemento; são essenciais ao desenvolvimento da planta e são absorvidos apenas sobre determinada forma. Embora o teor exigido de cada nutriente seja distinto para cada espécie vegetal, sua função nas diversas plantas são similares. No solo os nutrientes relacionam-se quanto à absorção pela planta, podendo a falta de um nutriente beneficiar ou atrapalhar a absorção de outro. Essas interações são bem complexas e acontecem apenas sob certas condições (CORRÊA; ARARIPE, 2016).

Sabe-se que diferentes combinações formadas por fósforo podem ligar-se covalentemente ao amido, desempenhando papéis importantes nas propriedades funcionais dos amidos (MESQUITA, 2015).

O fósforo pode ser encontrado nos amidos em três formas principais: monoéster fosfato, lisofosfolípídeos e fosfato inorgânico. Em amidos de raízes e tubérculos o fósforo se encontra principalmente como monoéster fosfato ligado covalentemente às moléculas de amilopectina e, em pequena quantidade, como fósforo inorgânico (HOOVER, 2001).

O amido de batata contém resíduos de glucose fosforilados, aproximadamente uma em cada 200-300 unidades de glucose é fosforilada. Esse grau de fosforilação tem um efeito profundo sobre as propriedades físicas e químicas do amido de batata (JACOBSEN et al., 1998). O aumento dos níveis da fosforilação do amido promove um aumento na viscosidade do amido gelatinizado e diminuição na temperatura de gelatinização (NODA et al., 2007).

Noda et al. (2007), analisando o teor de fósforo em diferentes cultivares de batata e os efeitos sobre as propriedades do amido, observaram teores de fósforo variando de 308 a 1244ppm. O aumento da quantidade de fósforo resultou em

aumentos significativos do poder de inchamento, pico de viscosidade e quebra da viscosidade, assim como aumento da temperatura inicial e de pico da gelatinização. O teor de amilose, tamanho de grânulo e variação de entalpia de gelatinização não apresentaram influência pelos teores de fósforo.

Além do fósforo alguns autores citam que o amido de batata contém cátions ligados aos ésteres fosfatos por forças iônicas (Zaidul et al., 2007; Noda et al., 2014).

Noda et al. (2014) reportam teores de 663 ppm de potássio, 113 ppm de sódio, 89 ppm de magnésio e 99 ppm de cálcio em amidos industriais de batata.

De acordo com Zaidul et al. (2007), os teores de cátions divalentes em amidos, como o cálcio e o magnésio, podem ter influência sobre as propriedades de pasta dos amidos, possivelmente por ligações iônicas tipo *cross-linking* com os ésteres fosfatos.

2.3.5 Propriedades de pasta

A propriedade principal do amido é a gelatinização, que é a capacidade de tornar-se viscoso em água com o aumento da temperatura. O conteúdo dos polissacarídeos formadores do amido influencia a arquitetura do grânulo de amido, as propriedades de pasta e os atributos de textura, podendo afetar sua aplicação em alimentos industrializados (THOMAS; ATWELL, 1999).

O perfil de viscosidade é muito útil na determinação do comportamento do amido sob várias condições e para comparar diferenças relativas entre amidos (CARMO, 2014).

Grânulos de amido em contato com água fria incham ligeiramente (10-20%), devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas, mas este inchamento é um processo reversível com a secagem. Entretanto, quando os grânulos são aquecidos em água com temperaturas mais altas, atinge-se um ponto em que os grânulos inchados apresentam um fenômeno irreversível, perdem a ordem estrutural (perde-se a birrefringência), devido à solubilização. Quando os grânulos continuam a se expandir, a amilose é lixiviada para a fase aquosa entre os grânulos, resultando em um aumento na viscosidade. Em conjunto, a ruptura da estrutura granular, o inchamento, a hidratação e a solubilização das moléculas de amido, determina o

término do processo de gelatinização (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006).

A gelatinização do amido se inicia no hilum e se expande para a periferia, inicialmente ocorre nas regiões amorfas onde as ligações de hidrogênio são mais fracas. Quando acontece o rompimento da estrutura cristalina, as moléculas de água expõem seus grupos hidroxil formando ligações de hidrogênio entre a amilose e amilopectina, causando um aumento no inchamento e na solubilidade do grânulo (SINGH et al., 2003). O amido começa a sofrer mudanças em determinada temperatura a qual é denominada de temperatura de gelatinização. Não são todos os grânulos de amido que começam a gelatinizar na mesma temperatura, sendo a temperatura de gelatinização mais apropriadamente definida como sendo uma faixa de temperatura relativamente limitada em lugar de uma temperatura específica (THOMAS; ATWELL, 1999).

As modificações que acontecem nos grânulos de amido durante a gelatinização e retrogradação são determinantes no comportamento de pasta desses amidos, as quais são medidas principalmente pelas variações de viscosidade durante o aquecimento e o resfriamento de dispersões de amido, usando equipamentos como viscoamílografo Brabender e o analisador rápido de viscosidade (RVA) (THOMAS; ATWELL, 1999). No RVA, durante a fase inicial de aquecimento de uma suspensão aquosa de amido, um aumento na viscosidade é registrado quando os grânulos começam a inchar. Neste ponto os polímeros com baixa massa molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a ser lixiviadas dos grânulos. Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento (TSAI; LI; LII, 1997; WHISTLER; BeMILLER, 1997).

Na fase de temperatura constante os grânulos começam a se quebrar e a solubilização dos polímeros continua. Neste ponto ocorre uma quebra na viscosidade seguida de sua diminuição. Durante a fase de resfriamento, polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a se reassociar, e outro aumento na viscosidade é registrado. Este segundo aumento da viscosidade é conhecido como tendência a retrogradação ou *setback* (PERONI, 2003).

A retrogradação é essencialmente um processo de cristalização das moléculas de amido que ocorre pela forte tendência de formação de pontes de hidrogênio entre moléculas adjacentes. A associação das moléculas do amido propicia a formação de uma rede tridimensional unida pelas áreas cristalinas. Esta rede é composta por

grânulos de amido parcialmente inchados e componentes do amido em solução. A construção desta rede durante o resfriamento resulta na formação de géis (HOOVER, 2001). Durante o processo de retrogradação o amido começa a se tornar opaco e, com o tempo, o gel passa para o estado gomoso e tende a perder água, o que em alguns produtos causa a perda da qualidade sensorial (AROCAS; SANZ; FIZMAN, 2009). A liberação da água neste processo é conhecida como sinérese e é facilmente encontrada em alguns produtos, como molhos em geral (FRANCO et al., 2001).

O comportamento reológico de dispersões de amido gelatinizado é afetado pelo tamanho do grânulo, pela distribuição de tamanho e formato, assim como pela interação entre os grânulos, pela viscosidade da fase contínua e pela taxa e tempo de deformação (ACQUARONE; RAO, 2003). Grânulos pequenos de amido possuem, no geral, temperatura de pasta mais baixa do que grânulos grandes (PARK; BAR; PAPINI, 1971; LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004).

2.3.6 Propriedades térmicas

Segundo Carmo (2014), as propriedades térmicas dos amidos podem contribuir para a determinação de sua funcionalidade específica e, portanto, sua utilidade na indústria de alimentos.

O comportamento térmico de amidos, incluindo temperaturas de gelatinização, retrogradação, temperatura de transição vítrea e cristalização, nos últimos vinte anos foram muito estudado pelo calorímetro diferencial de varredura (DSC) (YU; CHRISTIE, 2001), que mede a energia requerida para a quebra das ligações, principalmente as ligações de hidrogênio que estabilizam as duplas hélices no interior dos grânulos de amido no momento que são aquecidos em água, e quantifica a temperatura e energia envolvida (variação de entalpia) na transição de um grânulo semicristalino para um gel amorfo (PERONI, 2003).

Todo amido tem suas temperaturas características de gelatinização, temperatura inicial (T_i), temperatura de pico (T_p) e temperatura de conclusão (T_c) e sua variação de entalpia de gelatinização (ΔH) obtidas do DSC (TESTER, 1997). Depois de atingida a temperatura de conclusão (T_c), toda dupla hélice da amilopectina está dissociada, embora a expansão da estrutura granular possa ser conservada até que temperaturas mais altas e cisalhamento sejam aplicados. Acima de 95°C um gel

amorfo é formado. O intervalo de temperatura T_c-T_i representa o período de gelatinização. A cristalinidade do amido pode ser estimada pela variação da entalpia (ΔH) requerida para fundir os segmentos de duplas hélices. As temperaturas de gelatinização (inicial e de pico) podem ser usadas como medida da estabilidade ou perfeição das regiões cristalinas, e a largura do pico endotérmico como estimativa da heterogeneidade da estrutura cristalina (BLENNOW et al., 2000).

As propriedades de gelatinização e inchamento são controladas em parte pela estrutura da amilopectina. Como as regiões cristalinas do grânulo de amido são geralmente compostas de amilopectina e não de amilose, amidos normais com alto teor de amilose apresentam baixas temperaturas de gelatinização (inicial e de pico) e variação de entalpia (NODA et al., 1998). Por outro lado, a maior proporção de cadeias longas na amilopectina contribui para aumentar a temperatura de gelatinização, devido a essas cadeias longas formarem duplas hélices resultando em regiões cristalinas mais longas, e assim mais energia térmica é necessária para romper a barreira cinética, para que ocorra completa dissociação (FRANCO et al., 2002).

As variações de entalpia possuem pequenas diferenças entre os amidos, que podem ser atribuídas ao grau de cristalinidade e ao teor de amilose. Amidos com baixo teor de amilose possuem menos regiões amorfas e mais regiões cristalinas, conseqüentemente, maior energia é necessária para a fusão dos cristais (SINGH et al., 2003).

Quando armazenados e resfriados o comportamento dos amidos gelatinizados, geralmente expresso como retrogradação, é de grande interesse para cientistas e tecnólogos na área de alimentos, por afetar profundamente a qualidade, aceitabilidade e vida de prateleira de muitos alimentos constituídos de amido (KARIM et al., 2000).

Os amidos de raízes e tubérculos como batata (58-65°C) e mandioca (52-65°C) geralmente possuem temperatura de gelatinização mais baixas que a de amidos de cereais como milho (62-80°C) e trigo (59-85°C) (THOMAS; ATWELL, 1999; SINGH et al., 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção das batatas

Os tubérculos de batata cv Ágata utilizados foram obtidos em área experimental no município de Avaré no estado de São Paulo (23°02'27" S; 48°47'57" W, com altitude de 744m). O solo da área é caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico típico, de textura arenosa (EMBRAPA, 2006).

Previamente ao plantio, realizou-se a adubação de base com distribuição manual dos fertilizantes nos sulcos, a qual constou de iguais aplicações nos experimentos de 384kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), 100kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e o fertilizante nitrogenado de acordo com os tratamentos.

Vinte cinco dias após o plantio realizou-se a adubação de cobertura com 150kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e os fertilizantes nitrogenados, de acordo com os tratamentos. Para a adubação com P e K as doses foram aplicadas conforme recomendado por Lorenzi et al. (1997).

Os tubérculos de batata foram colhidos aos 117 dias após o plantio.

Uma amostra de 5kg dos tubérculos de batata proveniente de cada tratamento/repetição foi encaminhada ao laboratório do CERAT/UNESP para a extração do amido.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de N (0, 80, 120 e 160kg ha⁻¹) aplicados na forma do fertilizante Entec® 26. Nas doses de 80kg ha⁻¹ de N, o nutriente foi aplicado todo no sulco de plantio de acordo com o Boletim 200, já as doses maiores foram parceladas, sendo 40kg ha⁻¹ de N aplicado no plantio e o restante em cobertura, antes da amontoa (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos, fonte de nitrogênio, dose e forma de aplicação do adubo

Nº	Tratamento	Fonte	Dose de N (kg ha ⁻¹)		
			Plantio	Cobertura	Total
1	Controle	-	0	0	0
2	E1	Entec26	80	0	80
3	E2	Entec26	40	80	120
4	E3	Entec26	40	120	160

3.3 Características do adubo utilizado

O Entec® 26 é um fertilizante nítrico-amoniaco, na forma de sulfonitrato de amônio ((NH₄)SO₄NO₃), possui 26% de N e 13% de S, na sua maior parte na forma amoniaco (18,5% amoniaco e 7,5% nítrico). Segundo o fabricante, em condições normais de cultivo, a forma amoniaco do adubo não passa rapidamente para a nítrico em função da presença do agente estabilizante e inibidor de nitrificação DMPP (fosfato de 3,4-dimetilpirazol) que é originado do grupo dos pirazóis (K+S Brasileira fertilizantes e Produtos Industriais Ltda, São Paulo, Brasil).

Tratando-se especificamente do DMPP, sabe-se que esse é um inibidor temporário no processo de nitrificação pelas bactérias *Nitrosomonas*.

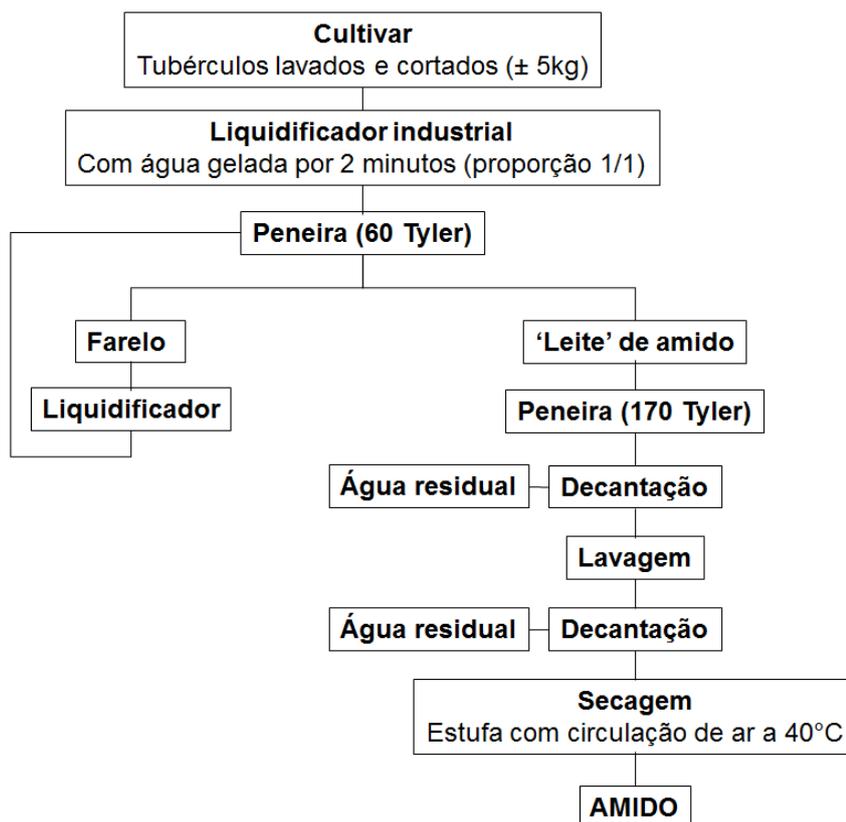
3.4 Extração dos amidos

Os tubérculos de batata foram lavados em água corrente e secos ao sol.

A extração dos amidos seguiu a metodologia de Rocha et al. (2008) com modificações. As amostras de tubérculos de batata provenientes das diferentes doses de fertilizantes nitrogenados foram lavadas, cortadas em tamanhos de aproximadamente 3cm e os amidos foram obtidos por processo físico de extração em água gelada. As batatas foram desintegradas com água na proporção de 1:1 (v:v) em liquidificador industrial de aço inox com capacidade para 4L por 2 min. A suspensão foi filtrada através de peneiras de abertura de 60 tyler (0,250mm) e 170 tyler (0,088mm). O bagaço retido nas peneiras foi novamente triturado em liquidificador, nas mesmas condições, para retirada do amido residual. A suspensão de amido recuperada do bagaço foi misturada à primeira suspensão e mantida em câmara fria a 5°C durante 6h para decantação do amido. O sobrenadante foi

descartado e o amido foi suspenso novamente com água até que o sobrenadante estivesse limpo. Após descarte do sobrenadante o amido foi seco em estufa com circulação de ar a 40°C. O fluxograma a seguir exemplifica o processo.

Figura 4. Fluxograma do processo de extração dos amidos de batata



3.5 Caracterização dos amidos

Os amidos extraídos dos tubérculos cultivados nas diferentes condições de adubação nitrogenada foram analisados quanto ao pH, acidez titulável, umidade, açúcares totais, amido, cinzas, fibras, lipídeos e proteína.

Também foram analisados quanto à forma e distribuição de tamanho de grânulos, teor de amilose, teor de fósforo, propriedades de pasta, propriedades térmicas, poder de inchamento e difração de raio X.

3.5.1 Forma e distribuição de tamanho dos grânulos

A forma e distribuição de tamanho dos grânulos de amido foram determinadas através de um Microscópio óptico (Axioskop 2 Plus da Zeiss) e a imagem foi

analisada pelo programa Axio Vision Rel. 4.8.2 – SP2. Foram preparadas 10 lâminas para cada amostra, sendo que em cada lâmina foram acrescentadas 2 a 3 gotas de solução de glicerina 50% (v/v) e com o auxílio de um fio de platina foi misturada uma pequena quantidade de amido, e a solução coberta por uma lamínula. Após o preparo, as lâminas foram observadas ao microscópio e analisadas pelo programa.

3.5.2 Padrão de raio X e cristalinidade

As umidades dos amidos foram equilibradas em dessecador contendo solução de cloreto de Bário (BaCl_2) saturada (25°C , $a_w = 0,9$) durante 10 dias.

As amostras de amidos foram compactadas em suporte de alumínio e analisadas, a temperatura ambiente, utilizando-se um difratômetro de raios X da marca Rigaku Rotaflex (modelo RU 200 B), operando com filtro monocromático, radiação K_α de cobre, potência de 0,8kW, corrente de 100mA e voltagem de 50kV e ânodo rotatório. O comprimento de onda utilizado foi de $1,542\text{Å}$. As análises foram feitas entre 5° e 50° em 2θ , sendo a velocidade de varredura de $1^\circ \text{minuto}^{-1}$. A intensidade foi expressa em contagem de picos por segundo (cps). A cristalinidade relativa foi quantitativamente estimada baseada na relação entre a área sob os picos e a área total dos difratogramas (como sendo a razão entre a área da região cristalina (A_c) e área total coberta pela curva ($A_c + A_a$), composta pela área da região cristalina (A_c) e a área da região amorfa (A_a)) seguindo o método de Nara e Komiya (1983) utilizando o software Origin versão 7.5 (Microcal Inc., EUA).

3.5.3 Amilose

O teor de amilose foi determinado segundo metodologia ISO-6647 (1987). Foram pesadas 150mg de amostra previamente desengorduradas, obtidas do processo de extração de lipídeos. Posteriormente foram adicionados 1ml de etanol 95% e 9ml de $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$, agitando suavemente. Os Erlenmeyers foram levados ao banho-maria em ebulição por 10 minutos e resfriado à temperatura ambiente.

Posteriormente, o material foi transferido para balão volumétrico 100ml e o volume completado, alíquotas de 18ml dessa solução foi transferida para tubos de ensaio de 50ml que continham 2ml de $\text{NaOH } (0,09 \text{ mol L}^{-1})$. Deste uma alíquota de 50ml foi transferida para balão volumétrico de 100ml e adicionado 1ml de ácido

acético (1 mol L^{-1}) e 2ml de solução de iodo ($0,00785 \text{ mol L}^{-1}$) e o volume completado com água deionizada. Os balões foram deixados em repouso durante 20 minutos ao abrigo da luz e as absorvâncias medidas em espectrofotômetro a 620nm. Os resultados foram apresentados em porcentagem de amilose.

3.5.4 Minerais

A determinação dos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio nos amidos das cultivares de batata foram analisados em triplicata de acordo com a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

3.6 Caracterização físico-química dos amidos

3.6.1 Umidade

A determinação do teor de umidade, que representa o conteúdo total de água na amostra, foi obtida através da secagem do material a 105°C em estufa, com circulação de ar forçado, até a obtenção de peso constante. Foram pesadas, em triplicata, aproximadamente 3g de amostra de cada material, após a secagem foram retiradas da estufa em dessecador e novamente pesadas, obedecendo ao método da AOAC (2012). Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.6.2 Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, conteúdo que representa o total de resíduos inorgânicos contidos na amostra (substâncias não voláteis a 550°C), utilizou-se o método de incineração. Foram pesadas, em triplicata, amostras com aproximadamente 3g, em cadinho de porcelana tarados, e colocadas em mufla aumentando a temperatura até atingir 550°C , em seguida deixadas por 2 horas ou até a calcinação completa. Após esse período as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas para determinação da quantidade de cinzas (AOAC, 2012). Os resultados foram expressos na base seca em $\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

3.6.3 Amido

A determinação de amido foi realizada pelo método enzimático. Amostras de 200mg de amido foram pesadas em Erlenmeyers, em triplicata, e diluídas em 42ml de água. Foram acrescentados 100 μ L de solução comercial de alfa-amilase (Novozymes) as suspensões e colocadas em banho-maria a 90°C durante 120 minutos, com agitação constante. Após resfriamento das amostras, acrescentou-se 1ml de tampão acetato 4M, pH 4,8 e 100 μ L de solução comercial amiloglucosidade (Novozymes) e as amostras retornaram para banho-maria a 60°C por 120 minutos, com agitação constante. Após atingir temperatura ambiente, as amostras hidrolisadas foram transferidas para balões volumétricos de 250ml e completado o volume com água destilada. Em seguida, 5ml da amostra foram transferidos para balões volumétricos de 100ml, neutralizadas com NaOH (4M), completado o volume com água destilada e filtradas. Em seguida foram determinados o teor de açúcares redutores pelo método de Somogyi, adaptado por Nelson (1944), sendo feita a conversão para amido pela multiplicação da porcentagem de açúcar obtida pelo fator 0,9. Os resultados foram expressos na base seca em g 100g⁻¹.

3.6.4 Açúcares solúveis totais

Para a determinação do teor de açúcares solúveis totais pesou-se 1g de amostra em um Erlenmeyer, acrescentou-se 30ml de etanol absoluto P.A. e 30ml de água destilada, em seguida foi colocado em banho com aquecimento a 60°C por 60 minutos. Depois foi acrescentado 1ml de HCl P.A. concentrado e as amostras retornaram ao banho por mais 60 minutos e em seguida foram resfriadas, neutralizadas e diluídas. O teor de açúcares totais foi determinado pelo método de Somogyi, adaptado por Nelson (1944). Os resultados foram expressos na base seca em g 100g⁻¹.

3.6.5 Proteína

Para o teor de proteína, que representa o conteúdo total de protídeos na amostra, foram pesadas, em triplicata, aproximadamente 200mg de cada amostra, as quais foram submetidas em bloco digestor, seguido de destilação (Micro-

Kjeldahl), obedecendo à metodologia da AOAC (2012). O fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína bruta é de 6,25. Os resultados foram expressos na base seca em $\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

3.6.6 Lipídeos

O teor de lipídeos foi determinado em extrator Soxhlet utilizando éter de petróleo para a extração. Foram pesadas, em triplicata, aproximadamente 3g de cada amostra em cartucho de papel e colocadas para extração, segundo a metodologia da AOAC (2012). Os resultados foram expressos na base seca em $\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

3.6.7 pH e Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada através de titulação com NaOH 0,1N até atingir o pH 8,2 a 8,3, utilizando solução alcoólica de fenolftaleína para determinação da mudança de cor. A suspensão de 10g de amostra em 100ml de água destilada foi agitada por 20 minutos, em seguida titulada. A acidez foi realizada em duplicata e expressa em mililitros de NaOH por 100g de matéria pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

O pH foi determinado por leitura direta do líquido sobrenadante, após mistura de 10g da amostra em 100ml de água destilada, realizados em duplicata pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

3.6.8 Fibras

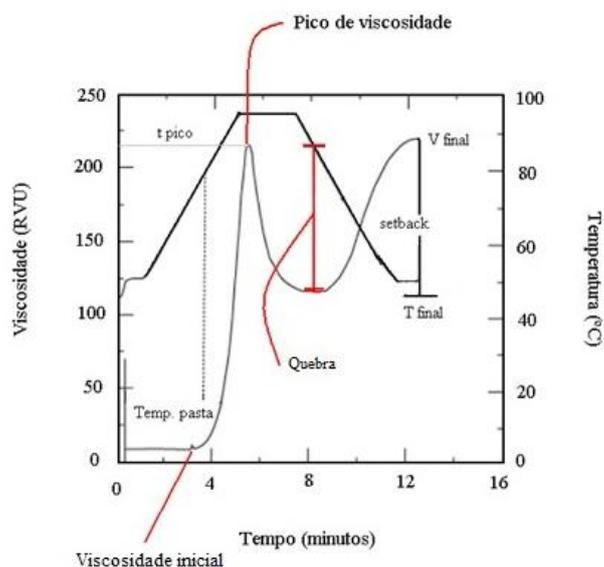
Para determinar o teor de fibra bruta dos alimentos, que representa o conteúdo total de fibras, utilizou-se do método de digestão ácido-base. Foram pesados, em triplicata, aproximadamente 3g de cada amostra em béquer e transferidos para tubo de digestão, em seguida acrescentados 200ml de solução de H_2SO_4 a 1,25% e submetidos à ebulição branda durante 30 minutos. O material foi filtrado em filtro de papel e lavado com auxílio de água destilada quente. O material retido no filtro foi transferido para o tubo digestor com auxílio de 200ml de NaOH a 1,25% e submetido novamente ao processo de digestão e filtragem, em papel filtro tarado. O filtro juntamente com a amostra retida foi submetido ao processo de secagem completa

em estufa a 105°C, com circulação de ar forçado. Em seguida, foram resfriados à temperatura ambiente por 1 hora em dessecador e pesados, conforme a metodologia da AOAC (2012). Os resultados foram expressos na base seca em $g\ 100g^{-1}$.

3.7 Propriedades de pasta (RVA)

As propriedades de pasta foram determinadas através do “Rapid Visco Analyser” (RVA), série 4, da “Newport Scientific” com auxílio do programa “Thermocline for Windows”, segundo método descrito no manual do fabricante (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998). As amostras contendo 2,5g de amido foram dispersas em 25ml de água destilada. Para o cálculo desta concentração, anteriormente, foram efetuadas correções na quantidade de amido a ser adicionada, segundo a tabela fornecida pelo manual do fabricante, tomando como base um teor de umidade de, aproximadamente, 14%. A mistura foi agitada a 960rpm por 10 segundos e a 160rpm durante o restante do teste. A viscosidade aparente foi expressa em RVU.

A programação utilizada foi a STD 2: manutenção a 50°C por 1 min., seguida de aquecimento de 50°C a 95°C, a uma taxa de 6°C min.⁻¹; manutenção a 95°C por 5 min, e resfriamento a 50°C, a 6°C min.⁻¹. Do gráfico obtido, foram avaliadas as seguintes características: temperatura da pasta, viscosidade máxima (pico), quebra de viscosidade (diferença entre a viscosidade máxima e da pasta mantida a 95°C por 5 min.), viscosidade final e tendência à retrogradação (diferença entre a viscosidade final e da pasta a 50°C por 5 minutos) e tempo para atingir o pico, como mostra a Figura 5. As análises foram realizadas em duplicatas.

Figura 5. Perfil típico de viscosidade do amido

Fonte: Rechsteiner (2012).

3.8 Propriedades térmicas do amido (dsc)

As propriedades térmicas de gelatinização e retrogradação dos amidos foram analisadas através do Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) Pyris 1 - (Perkin Elmer - USA). Pesou-se 2mg das amostras dos amidos, em cadinhos de alumínio, adiciono-se 6 μ L de água deionizada e posteriormente seladas. As amostras foram mantidas por 2 horas em temperatura ambiente para equilíbrio e, em seguida, colocadas no calorímetro, aquecidas a 10°C por minuto de 25°C a 100°C, foi utilizado cadinho de alumínio vazio como referência. As temperaturas inicial, de pico, final e a variação de entalpia dos amidos foram determinadas através do software Pyris 1 da Perkin Elmer (USA), seguindo a metodologia descrita por Franco et al. (2002).

3.9 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Os efeitos das doses de N foram avaliados por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo, a magnitude dos coeficientes de regressão significativos ao nível de 5% de probabilidade

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Forma e distribuição de tamanho dos grânulos

Os resultados obtidos na observação microscópica evidenciaram que os grânulos de amido de batata se mostraram volumosos e apresentaram dois formatos principais: ovalados e esféricos, o que concorda com o relatado por outros autores (LIU et al., 2007; LEONEL, 2007; ALEXANDER, 1995). Não foi observada interferência da adubação sobre as formas observadas para os amidos de batata (Figura 6).

Com relação à distribuição de tamanho dos grânulos de amido observou-se predomínio de grânulos com diâmetro maior na faixa de 21 a 50 μ m (Figura 7). Os resultados obtidos se assemelham ao citado por Alexander (1995), o qual reporta que os grânulos de amido de batata possuem diâmetro variando de 5 a 100 μ m e diâmetro médio predominante de 27 μ m.

Figura 6. Morfologia dos grânulos de amido, sem adubação nitrogenada (A), dose 60kg ha⁻¹(B), dose 120kg ha⁻¹(C) e dose 160kg ha⁻¹(D)

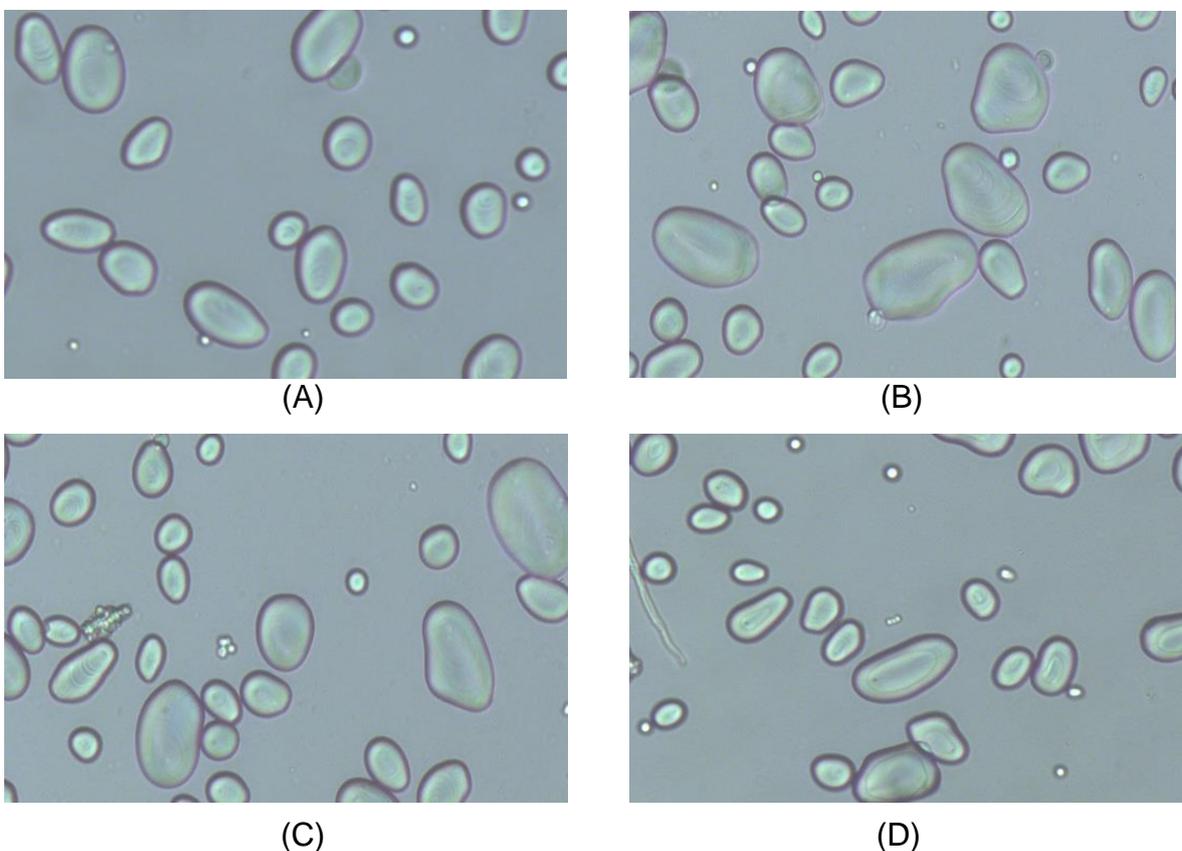
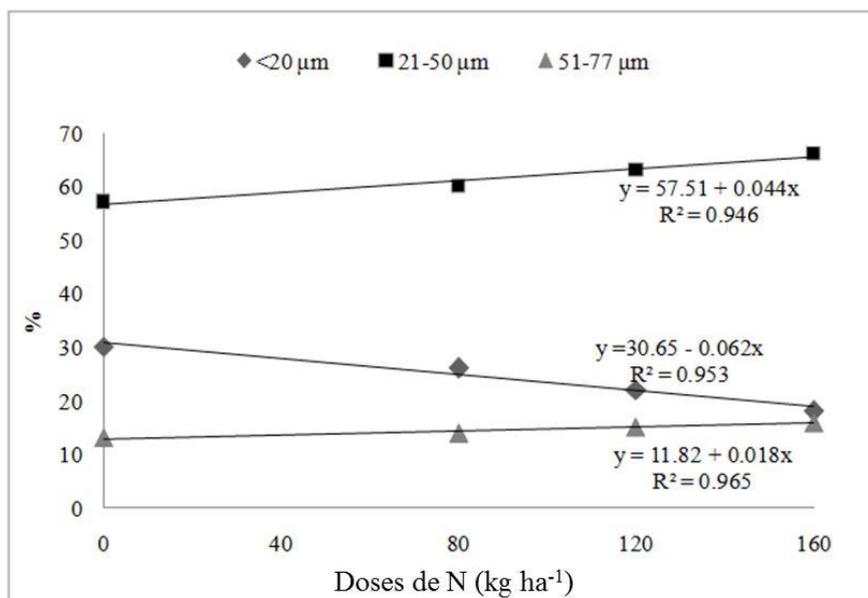


Figura 7. Distribuição dos tamanhos dos grânulos com o aumento das doses

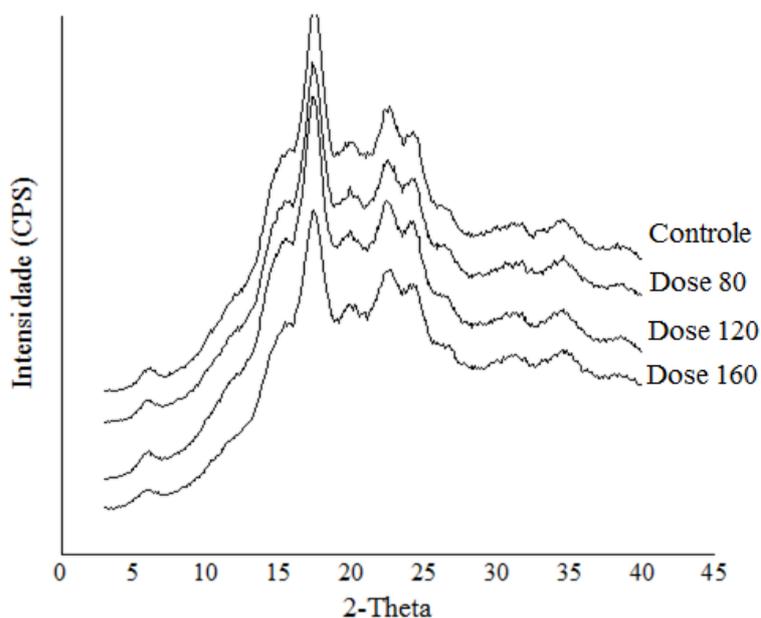
O aumento da dose de adubação nitrogenada evidenciou aumento linear do tamanho médio dos grânulos na faixa de 21-50µm, o que pode estar relacionado com o processo fotossintético.

4.2 Padrão de raio X e cristalinidade

A amilopectina é a principal responsável pela estrutura cristalina dos grânulos de amido e a difração de raios X tem sido utilizada para revelar características desta estrutura (HOOVER, 2001).

Os padrões de difração de raio X dos amidos de batata não diferiram com o aumento das doses de nitrogênio. Todas as amostras tiveram picos em 5,6, 15, 17, 18 e 23° em 2θ, conforme a Figura 8, sendo o pico em 5,6° de intensidade média e em 17° de intensidade forte. Dessa forma concluiu-se que a posição dos picos, bem como suas intensidades, caracterizou o amido de batata como padrão tipo B de cristalinidade. Estes resultados também foram encontrados em trabalhos realizados por outros autores com amido de batata (VAN SOEST et al., 1996; SANTOS et al., 2016).

Figura 8. Padrões de difração de raio x dos amidos de batata com diferentes doses de N

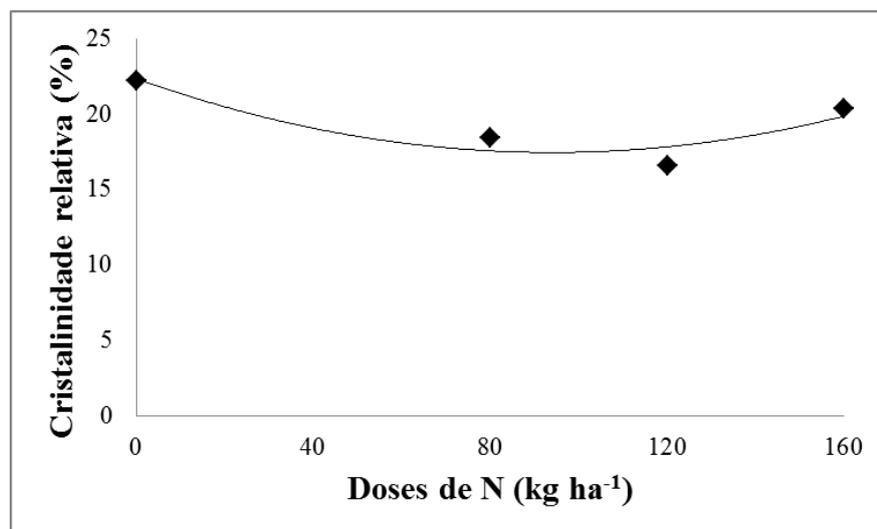


A estrutura do tipo B possui duas unidades de D-glicose na célula unitária e adota uma organização mais aberta entre as macromoléculas, com uma coluna de água presente entre o arranjo das duplas hélices de amilopectina (GALLANT; BOUCHET; BALDWIN, 1997).

O grau de polimerização das cadeias ramificadas da amilopectina está relacionado com o tipo de polimorfismo e os amidos com padrão tipo B normalmente apresentam grande proporção de cadeias longas ($DP \geq 37$) (SANTOS et al., 2016).

A cristalinidade relativa, quantitativamente estimada na relação entre a área dos picos e a área total dos difractogramas de acordo com Nara e Komiya (1983), mostrou que a cristalinidade relativa dos amidos de batata cv. Ágata variou de 16,59% a 22,16%, com diminuição desta com o aumento da adubação nitrogenada durante o cultivo (Figura 9). Este resultado pode indicar interferência das condições de cultivo sobre a estrutura dos grânulos de amido.

Santos et al. (2016), observou cristalinidade relativa semelhante para a mesma cultivar utilizada neste trabalho (21,00%).

Figura 9. Cristalinidade relativa do amido em função das doses de adubação nitrogenada

$$y = 0,0006x^2 - 0,104x + 22,317$$

$$R^2 = 0,8531^{**}$$

**p<0,01 pelo teste F.

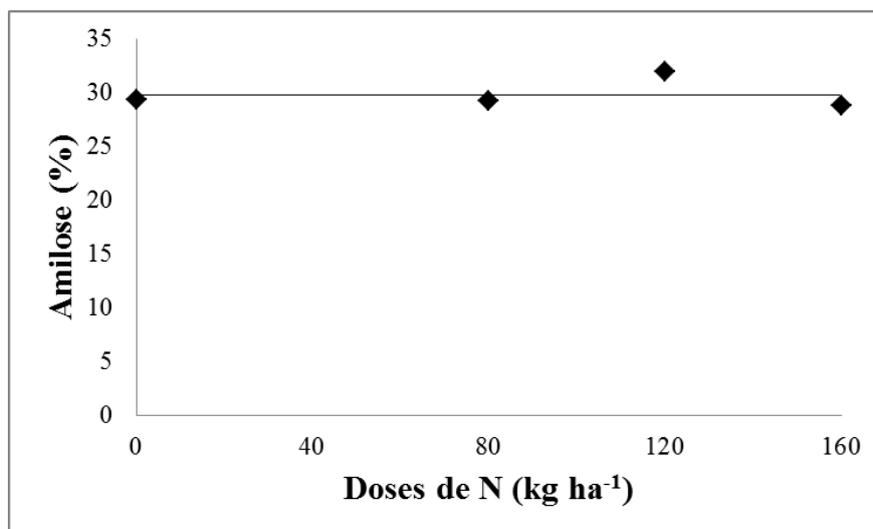
4.3 Amilose

A amilose desempenha papel fundamental nas propriedades físico-químicas dos amidos, uma vez que a região amorfa é constituída, majoritariamente, por este seguimento (UTRILLA-COELLO et al., 2014).

Os resultados obtidos mostram que o teor de amilose variou de 28,79% a 31,91% não sendo observado efeito das doses de nitrogênio sobre o teor deste polímero.

Os resultados obtidos mostram que o teor de amilose do amido de batata cv. Ágata diferiu do encontrado por Santos et al. (2016) o qual cita valor de 17,50% para esta cultivar, mas foi muito próximo aos teores relatados por Leonel et al. (2015) em batatas cv. Ágata cultivadas na mesma região deste experimento (29,80%). Estas diferenças para uma mesma cultivar podem ser devido ao estágio de desenvolvimento da planta, local e condições de cultivo. Šimková et al. (2013), avaliando características de amidos extraídos de dezesseis cultivares de batata cultivados em cinco locais observaram uma variação no teor de amilose de 18,79% a 22,95% e relataram efeito do cultivar e do local de produção.

Figura 10. Teor de amilose no amido em função das doses de adubação nitrogenada



$$\hat{y} = \bar{y} = 29,793$$

Os teores de amilose podem sofrer grandes variações devido a diferentes metodologias de determinação, variedade ou idade da planta (RECHSTEINER, 2009).

Segundo Guerreiro (2002) quando se quantifica o teor de amilose aparente em amidos pode ocorrer à quantificação de componentes intermediários do grânulo e/ou cadeias laterais de amilopectina como sendo amilose. Segundo Jane et al. (1999) esses compostos tem a capacidade de interagir com o iodo superestimando o teor de amilose no amido.

Para Geddes et al. (1965) o amido de batata apresenta em média cerca de 20% de amilose, contudo, aumento significativo no teor de amilose em amido extraído de batatas em estágio de tuberização mais avançado foi observado.

Para Cottrell et al. (1995) e Kim e Wiesenborn (1995) a variação no conteúdo de amilose entre diferentes cultivares de batata pode ser devido a fatores como o genótipo, condições de desenvolvimento e manejo adotado, entre outros fatores.

4.4 Minerais

Os resultados obtidos nas análises dos minerais nos amidos de batata estão apresentados na Tabela 2.

O fósforo é um importante constituinte do amido principalmente como fosfato monoéster, sendo que altos conteúdos de fósforo nos amidos contribuem para aumento da viscosidade da pasta (JANE et al., 1996).

Os teores de fósforo nos amidos de batata variaram de 943 a 1090 ppm, sendo observado efeito linear negativo da dose de adubação nitrogenada no cultivo sobre a presença desse mineral no amido. Os resultados obtidos foram inferiores ao observado por Leonel et al. (2015) e Noda et al. (1998), respectivamente com médias de 576 e 774 ppm em análises de amido de batata. Contudo, foram próximos aos encontrados no amido de batata inglesa descritos por Franco et al. (2001) (900 ppm) e por Noda et al. (2006) (1129 ppm), mostrando a variação deste mineral em amidos de outras cultivares e em diferentes condições de cultivo.

Kasemsuwan e Jane (1996) quantificaram as diferentes formas de fósforo em amidos, encontrando teor de 0,086% (860ppm) de monoéster fosfato em amidos de batata.

Tabela 2. Média e desvios padrão da concentração dos minerais no amido de batata em função das doses de adubação nitrogenada

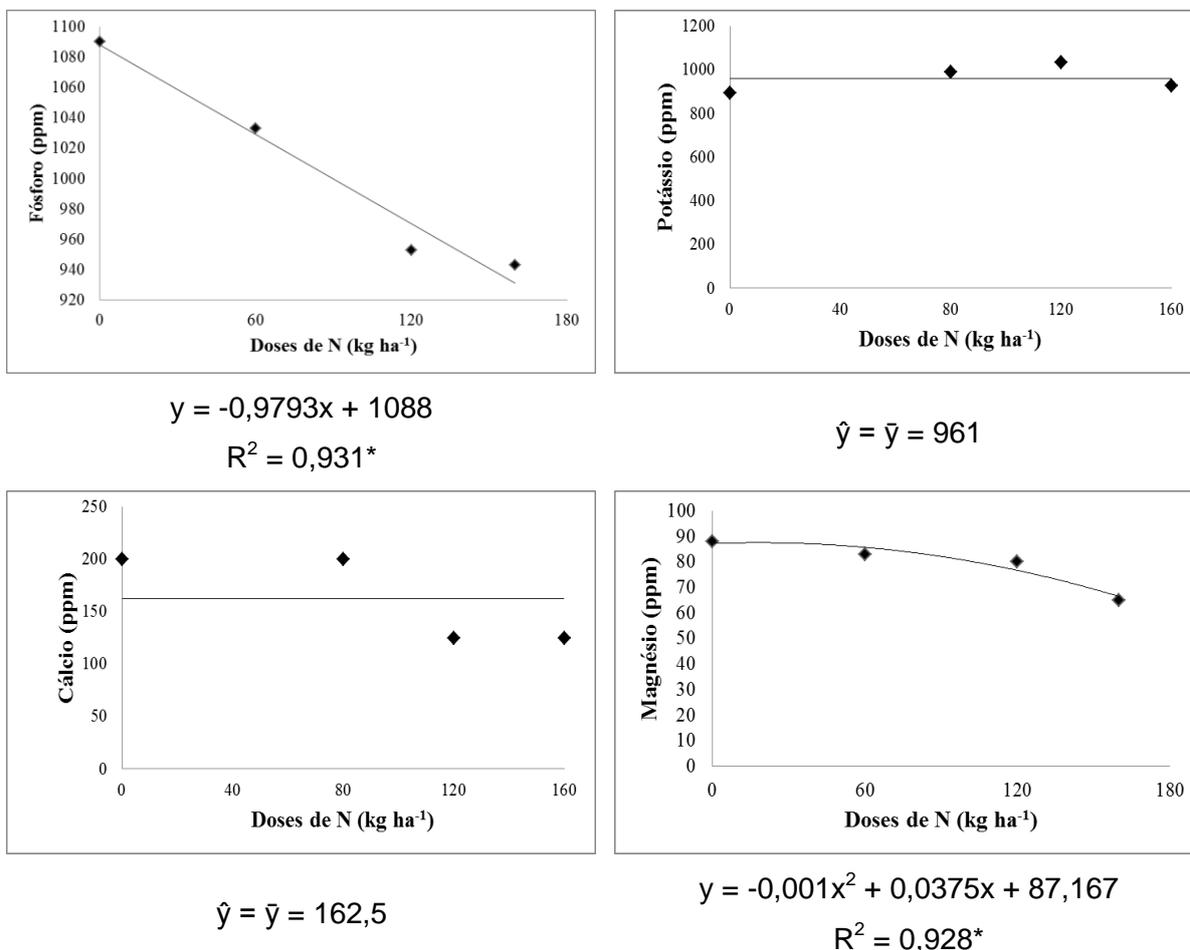
Dose de N (kg ha ⁻¹)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
0	1090 ± 0,07	893 ± 0,22	200 ± 0,08	88 ± 0,00
60	1033 ± 0,11	990 ± 0,12	200 ± 0,08	83 ± 0,01
120	953 ± 0,02	1033 ± 0,14	125 ± 0,05	83 ± 0,01
160	943 ± 0,03	928 ± 0,23	125 ± 0,05	65 ± 0,00

O fósforo, quando ligado covalentemente ao grânulo de amido, é capaz de auxiliar a incorporação de moléculas de água, devido sua organização iônica, alterando as propriedades funcionais do amido, como a gelatinização, retrogradação, viscosidade e poder de inchamento (MESQUITA, 2015). Quanto aos demais minerais avaliados nos amidos de batata verificou-se elevada concentração de potássio com maiores valores observados nos amidos extraídos no cultivo com 120kg ha⁻¹ de nitrogênio. O considerável teor de potássio em amido de batata também foi relatado por Noda et al. (2014), que analisando

minerais em amidos comerciais de batata, citaram teores médios de fósforo, potássio, cálcio e magnésio de 801, 663, 99 e 89 ppm, respectivamente.

Conforme mostra a Figura 11 o amido extraído de batatas sem a adubação nitrogenada apresentavam maiores teores de fósforo, cálcio e magnésio, evidenciando a interação desses minerais no amido, o que foi citado por Zaidul et al. (2007). Os autores reportam que o cálcio, magnésio e outros cátions fazem ligações tipo *cross-link* com grupos de ésteres de fosfato em cadeias de amilopectina adjacentes por forças iônicas e que estas ligações podem afetar as propriedades reológicas dos amidos.

Figura 11. Efeito da adubação nitrogenada nos teores de minerais dos amidos de batata cv Ágata



* $p < 0,05$ pelo teste F.

Um ponto importante a ser ressaltado é que a maior presença de cálcio e magnésio em amidos nativos tem obtido interesse das industriais devido ao fato

que o aumento na ingestão pode contribuir para a redução dos riscos de diabetes tipo 2 e osteoporoses (LIU et al., 2006; VILLEGAS et al., 2009; NODA et al., 2014).

4.5 Caracterização físico-química dos amidos

O amido é constituído praticamente de carboidratos, no entanto, constituintes menores como lipídeos, proteínas, fibras, cinzas e sais minerais estão presentes em sua composição. A quantidade destas substâncias no amido é dependente da fonte botânica e também do processo de extração do amido. A pureza dos amidos está relacionada com sua composição química em que baixos teores de lipídeos e cinzas e ausência de proteína aderida ao grânulo são desejáveis (ROCHA, 2007).

As composições químicas dos amidos encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução RDC nº263/2005 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A Legislação Brasileira em vigor define os padrões para amido como: umidade máxima 14% p/p; acidez máxima 2,0% v/p; amido mínimo 80% p/p, resíduo mineral fixo máximo 0,50% p/p e teor máximo de proteína 1,5% p/p (BRASIL, 2005). Os resultados dos constituintes menores como lipídeos, proteínas e cinzas apresentaram baixos níveis revelando elevado grau de pureza para os amidos extraídos da batata cv. Ágata cultivada sob diferentes doses de adubação nitrogenada (Tabela 3).

Tabela 3. Média e desvio padrão das características físico-químicas dos amidos de batata cultivadas em diferentes doses

Dose de N (kg ha ⁻¹)	0	80	120	160
Umidade (%)	8,67 ± 0,45	7,54 ± 0,28	9,59 ± 0,71	9,51 ± 0,18
Cinzas (%)	0,46 ± 0,08	0,46 ± 0,16	0,47 ± 0,08	0,12 ± 0,10
Amido (%)	90,48 ± 1,31	80,51 ± 1,30	81,67 ± 1,29	81,16 ± 1,03
Açúcar (%)	0,06 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,05 ± 0,0	0,02 ± 0,00
Proteína (%)	0,16 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,16 ± 0,03	0,15 ± 0,00
Lipídeos (%)	0,28 ± 0,27	0,25 ± 0,22	0,11 ± 0,14	0,16 ± 0,13
pH	7,55 ± 0,08	7,68 ± 0,07	7,73 ± 0,08	7,50 ± 0,15
Acidez (ml NaOH/100g)	1,5 ± 0,11	1,25 ± 0,19	1,58 ± 0,47	1,51 ± 0,10

Observando os resultados acima, nota-se que a umidade e a acidez dos amidos aumentaram em relação à dose de nitrogênio aplicado. Em contrapartida os componentes como cinzas, pH, amido e açúcar tiveram uma leve diminuição quando se aumentava a dose do nitrogênio. Já as proteínas e os lipídeos não apresentaram diferenças significativas quanto ao aumento da dose de nitrogênio. O resultado da análise de fibras foi zero para todas as doses, sendo este resultado esperado, já que o processo de extração resultou em amidos com alto grau de pureza.

4.6 Propriedades de pasta

Reologia é o estudo da deformação pelo estresse. Durante o processamento de alimentos, o amido é submetido a altas temperaturas e taxas de cisalhamento, afetando as propriedades reológicas, bem como, as características finais do produto. A gelatinização do amido altera estas propriedades e a retrogradação intensifica tal alteração. Dependendo da concentração de amido, a estrutura final de produtos amiláceos em água apresenta-se de forma espessa ou gelificada (LIU et al., 2009).

Neste processo, o comportamento granular é notoriamente modificado, gerando grânulos inchados, grânulos parcialmente desintegrados, pedaços de amilose e outras partículas de amido. O resultado final é chamado de pasta de amido. Esta pasta é descrita por duas fases: a de grânulos inchados e a de partes de grânulos, após a gelatinização (frações de amilose e amilopectina). A realocação destas frações (tendência a retrogradação) forma géis mais fortes pela diminuição de temperatura (LIU et al., 2009).

As propriedades de pasta dos amidos de batata com diferentes doses de fertilizante nitrogenado foram determinadas pelo Analisador de Viscosidade Rápida (RVA) e podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 4. Média e desvio padrão das propriedades de pasta dos amidos

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Temp. de pasta (°C)	Propriedade de pasta (RVU)			
		PV	QV	VF	TR
0	67,94 ± 0,02	794,63 ± 12,74	622,03 ± 16,49	236,28 ± 1,49	65,76 ± 2,34
80	68,35 ± 0,20	827,46 ± 6,61	653,28 ± 10,81	242,99 ± 5,17	68,74 ± 1,85
120	68,21 ± 0,22	812,80 ± 54,87	583,60 ± 50,89	294,25 ± 5,34	65,05 ± 2,52
160	68,38 ± 0,95	783,46 ± 43,49	565,99 ± 28,64	285,05 ± 1,79	67,51 ± 4,54

PV=pico de viscosidade; QV=quebra de viscosidade; VF=viscosidade final; TR=tendência a retrogradação.

Garcia (2013) encontrou em amidos de batata pico de viscosidade próximo para as cultivares BRS Ana (771,21 RVU) e Pirassu (778,38 RVU), e a faixa das temperaturas de pasta das diferentes cultivares por ele analisada também ficaram próximas as encontradas por este trabalho (66,33 - 69,95°C).

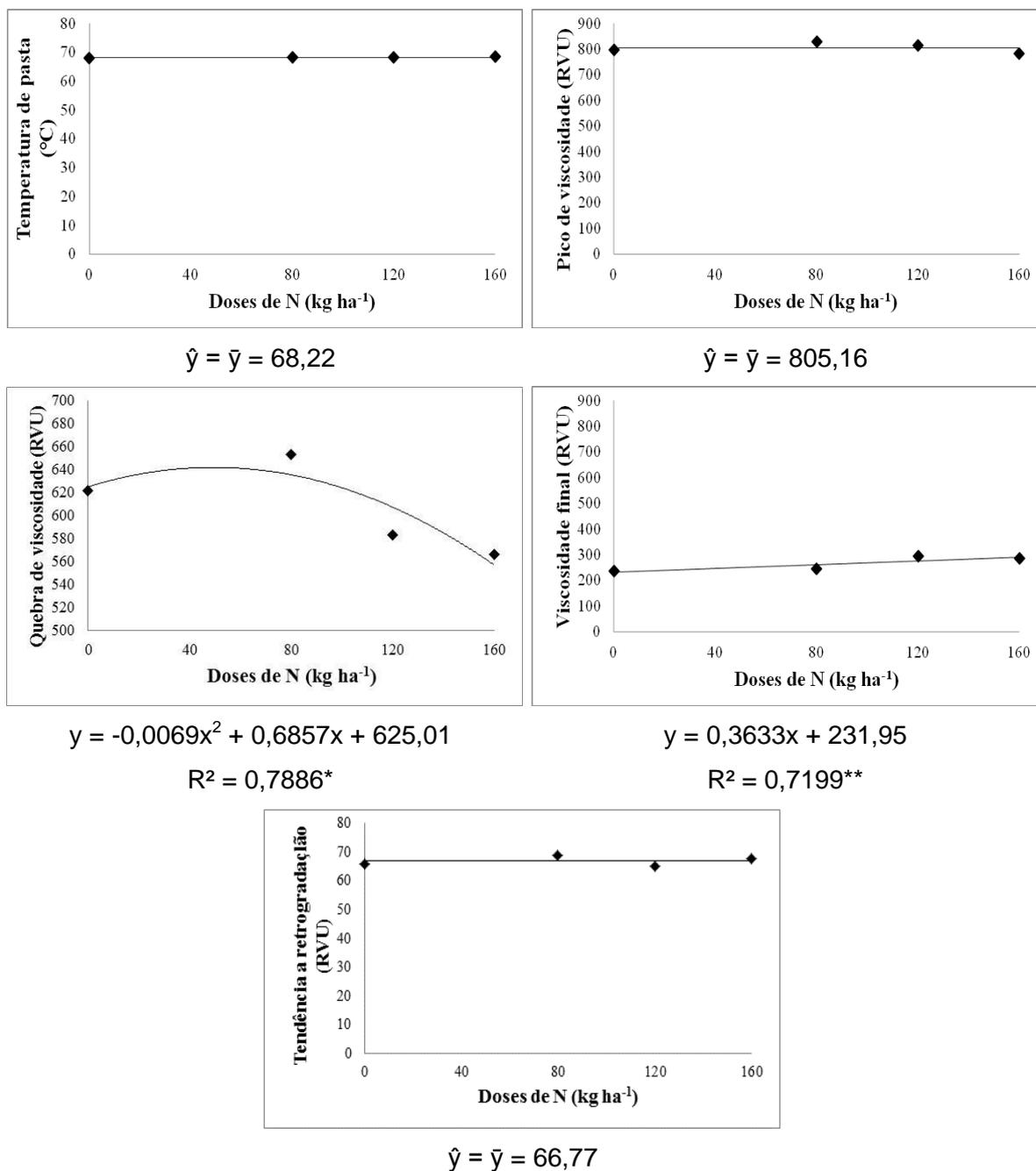
Adamovicz et al. (2014), demonstraram valores de temperatura de pasta (64,88°C), pico de viscosidade (758,30 RVU), quebra de viscosidade (566,56 RVU), viscosidade final (252,99 RVU) e tendência a retrogradação (61,24 RVU) para amido de batata próximos aos encontrados no presente trabalho.

Liu et al. (2007), analisando diferentes cultivares de batata encontrou temperaturas de pasta variando de 60,4-62,4°C e pico de viscosidade de 348,81-542,31 RVU, valores mais baixos aos encontrados neste trabalho.

De acordo com Tester e Morrison (1990), as propriedades de pasta de amidos são afetadas pelos teores de amilose, lipídeos, fósforo e pela distribuição dos comprimentos de cadeias ramificadas da amilopectina.

Na Figura 12 é possível observar o efeito das doses nas propriedades de pasta dos amidos de batata.

Figura 12. Propriedades de pasta dos amidos em função das doses de adubação nitrogenada



* $p < 0,05$ pelo teste F. ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Como é possível observar na Figura 12, somente a viscosidade de quebra e final resultou em diferença estatística com o aumento das doses de fertilizante.

A viscosidade de quebra permite avaliar a estabilidade do produto em altas temperaturas sob agitação mecânica e está diretamente relacionada com o pico de viscosidade (LEONEL et al., 2002).

A viscosidade final é um parâmetro importante no uso do amido em alimentos porque corresponde à viscosidade a ser desenvolvida no produto acabado, ou seja, apreciada pelo consumidor (DAIUTO, 2005).

4.7 Propriedades térmicas

A compreensão das etapas que ocorrem durante a gelatinização e a retrogradação de cada tipo de amido são passos chave para melhor entender as propriedades funcionais dos amidos processados através do conhecimento das estruturas de seus grânulos nativos.

A gelatinização é um processo de transformação do amido granular em pasta viscoelástica. Durante o aquecimento do amido em presença de água, inicialmente ocorre o inchamento dos grânulos até temperaturas nas quais ocorre o rompimento destes, com destruição da ordem molecular e mudanças irreversíveis nas suas propriedades. A temperatura na qual ocorre este tipo de transformação é chamada de temperatura de gelatinização (SOUZA; ANDRADE, 2000).

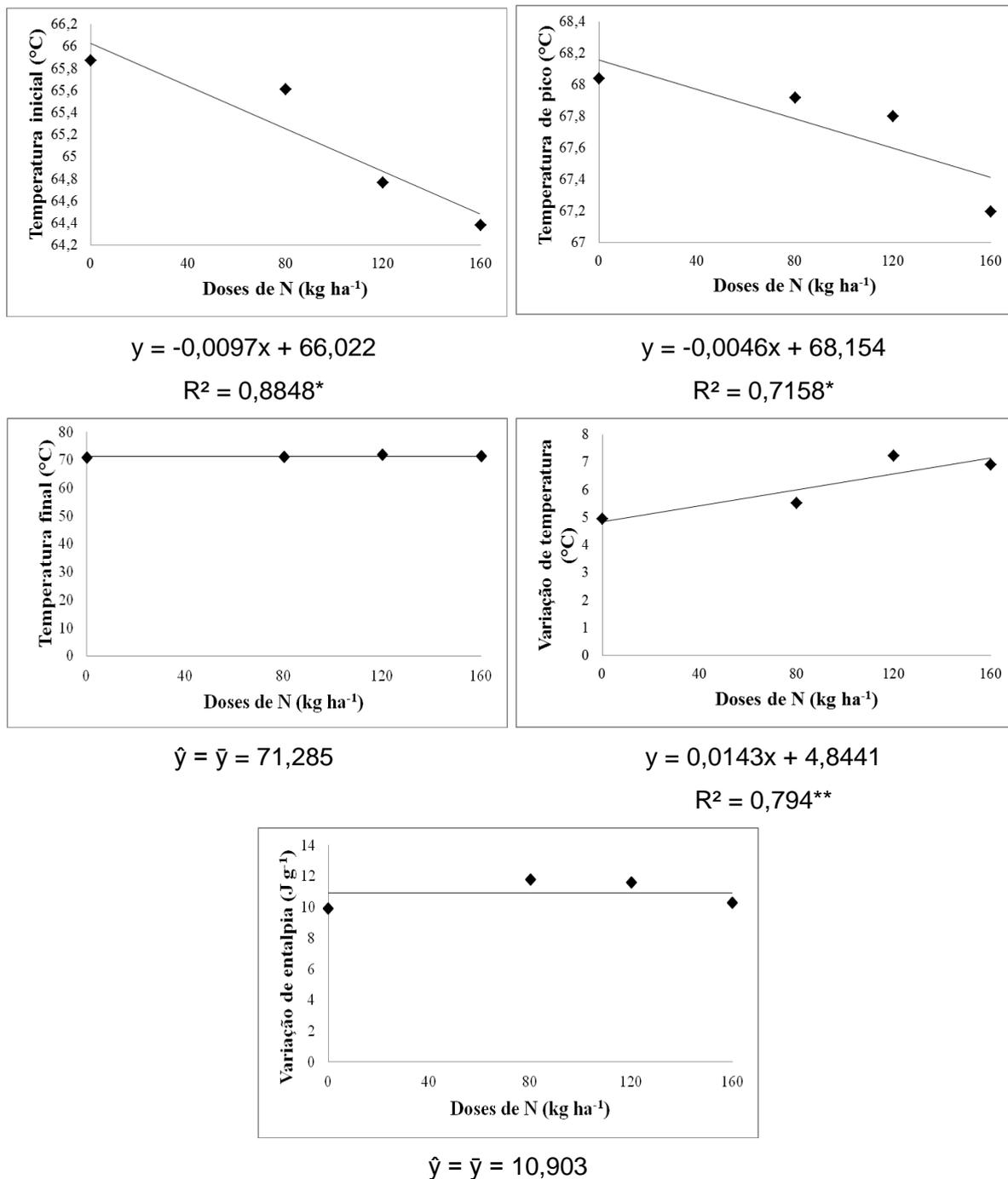
Tabela 5. Média e desvio padrão das propriedades térmicas dos amidos

Dose de N (kg ha ⁻¹)	T _{inicial} (°C)	T _{pico} (°C)	T _{final} (°C)	Variação de temperatura (°C)	Variação de entalpia (J g ⁻¹)
0	65,87 ± 0,79	68,03 ± 0,60	70,79 ± 0,30	4,92 ± 0,94	9,92 ± 2,07
60	65,60 ± 0,17	67,91 ± 0,01	71,10 ± 0,27	5,49 ± 0,45	11,79 ± 1,36
120	64,76 ± 0,70	67,8 ± 0,63	71,98 ± 0,82	7,22 ± 1,05	11,60 ± 3,38
160	64,37 ± 0,80	67,19 ± 0,60	71,26 ± 0,37	6,88 ± 1,09	10,29 ± 1,35

Os resultados determinados pelo DSC das fases de transição associadas com a gelatinização dos amidos mostraram que as propriedades térmicas do amido de batata foram em partes afetadas pelo aumento das concentrações de nitrogênio (Figura 13). Houve diminuição na temperatura inicial e de pico (T_i, T_p), já na temperatura final não houve significância quanto à concentração do adubo adicionado, bem como, na variação de entalpia (ΔH). Já na variação de

temperatura (ΔT) houve um aumento de 4,92°C até 7,22°C sendo este valor para a dose de 120kg ha⁻¹.

Figura 13. Propriedades térmicas dos amidos em função das doses de adubação nitrogenada



*p<0,05 pelo teste F. **p<0,01 pelo teste F.

Os dados encontrados ficaram próximos aos encontrados por Leonel et al. (2015), que foram 62,2°C, 65,1°C, 68,7°C e 6,49°C, respectivamente, para temperatura inicial, de pico, final e variação de temperatura, e variação de entalpia de 11,7 J g⁻¹ em amido de batata Ágata.

Os resultados obtidos por Blennow et al. (2000) com amido de batata indicaram positiva correlação do teor de fósforo no amido com as temperaturas iniciais e de pico de gelatinização. Esta observação pode explicar os mesmos efeitos lineares negativos da adubação nitrogenada sobre o teor de fósforo e T_i e T_p . Noda et al. (2007) não observaram correlação entre o teor de fósforo no amido e a variação de entalpia, o que também pode ter ocorrido neste experimento, pois apesar do decréscimo do teor de fósforo nos amidos com a adubação não foi observado efeito sobre o ΔH .

Leonel et al. (2015), observou que a cultivar Ágata mostrou baixa temperatura de transição (T_i , T_p e T_c) em solos com baixa disponibilidade de fósforo, bem como apresentou alta temperatura de gelatinização, o que pode indicar longas cadeias ramificadas de amilopectina.

5 CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho foi possível concluir que o amido extraído de batata cv Ágata sem uso de adubação nitrogenada tem grânulos grandes (26 a 50 μ m), redondos e ovalados, com padrão tipo B de cristalinidade, considerável teor de amilose e minerais, elevada viscosidade, baixa resistência ao calor e agitação, e tendência a retrogradação. A aplicação de diferentes doses de adubo nitrogenado durante o cultivo da batateira levou a mudanças nas características dos amidos extraídos com interferência na cristalinidade relativa, teores de minerais, temperatura de gelatinização e viscosidade. Estes resultados são de grande importância para os setores industriais de utilização da batata e do seu amido, pois definem a aplicabilidade destes.

REFERÊNCIAS

- ACQUARONE, V. M.; RAO, M. A. Influence of sucrose on the rheology and granule size of cross-linked waxy maize starch dispersions heated at two temperatures. **Carbohydrate Polymers**, v. 54, n. 4, p. 451-458, mar, 2003.
- ADAMOVIČZ, J. A. L. et al. Análise térmica, estrutural e reológica do amido de batata com adição de hidrocolóides. In: IX Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria, 2014, Serra Negra. Anais eletrônicos. Serra Negra: Abratec, 2014. Disponível em: <http://abratec.com.br/?page_id=20>. Acesso em: 25 nov. 2016.
- ALBANO, K.M. **Comportamento reológico de géis de amido de mandioca salsa (*arracacia xanthorrhiza* b.)** 2012.103f. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas) Universidade Estadual Paulista. São José do Rio Preto, 2012.
- ALEXANDER, R. J. Potato Starch: new prospects for an old product. **Cereal Foods World**. v. 40, n. 10, p. 763-764, 1995.
- AMARAL, A.; NUNES, I. Efeito da aplicação de um adubo estabilizado com um inibidor da nitrificação na produtividade e qualidade da variedade de batata hermes destinada à indústria. **Revista da UIIPS**, v. 3, n. 4, p. 131-144, 2015.
- AOAC- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists International**. 19. ed. Gaithersburg, 2012.
- AROCAS, A.; SANZ, T.; FISZMAN, S. M. Influence of corn starch type in the rheological properties of a white sauce after heating and freezing. **Food Hydrocolloids**, doi:10.1016/j.foodhyd.2009.08.001, 2009.
- ARREGUI, L. M.; QUEMADA, M. Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rainfed conditions. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 2, p. 277-284, 2008.
- BELLO-PÉREZ, L.A.; MONTEALVO, M.G.M.; ACEVEDO, E.A. Almidón: definición, estructura y propiedades. In: LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos em alimentos regionais iberoamericano**. São Paulo: Edusp, cap. 1, p. 17-46, 2006.
- BINOTTI, F.F.S. **Manejo do nitrogênio no feijoeiro de inverno em sucessão a milho e *Brachiaria* em sistema de plantio direto**. 2009. 178 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.
- BLENNOW, A. et al. The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity. **International Journal of Biological Macromolecules**, Maryland Heights, v. 27, n. 3, p. 211-218, 2000.
- BRAUN, H. et al. Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 285-293, 2010.
- BRASIL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Coordenadores: Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet, Paulo Tiglea 4. ed. 1. ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.
- BRASIL. Resolução n. 263, de 22 de setembro de 2005. Altera a Resolução n. 12, de 24 de julho de 1978. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. **Padrões de identidade e qualidade para os alimentos (e bebidas)**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Brasil, set 2005.

BUSATO, C. Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CABELLO, C. **Identificação de parâmetros para monitoramento de processo contínuo de hidrólise enzimática, na produção de glicose a partir de fécula de mandioca.** 1995. 208f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1995.

CARMO, E. L. **Efeitos do teor de fósforo no solo e da adubação fosfatada nas propriedades funcionais de amidos de cultivares de batata.** 2014. 126f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2014.

CIACCO, C. F.; CRUZ, R. Tecnologia Agroindustrial: **Fabricação de amido e sua utilização.** São Paulo, Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, v. 7. p. 152, 1987.

COELHO, F. S. et al. Área foliar e massa seca de cultivares de batata em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. S774-S778, 2009. (Suplemento CD).

COGO, C. M. et al. Relação potássio-nitrogênio para o diagnóstico e manejo nutricional da cultura da batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1781-1786, 2006.

CORRÊA, B. M; ARARIPE, P. Elementos minerais nas plantas. Disponível em: <http://www.clubeamigosdocampo.com.br/artigo/elementos-minerais-nas-plantas-1048>. Acesso em: 17 nov. 2016.

COTTRELL, J. E. et al. Properties of potato starch: effects of genotype and growing conditions. **Phytochemistry**, v. 40, n. 4, p. 1057-1064, 1995.

COUTINHO, A. P. C. **Produção e caracterização de maltodextrinas a partir de amidos de mandioca e batata-doce.** 2007. 112f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2007.

DAIUTO, E. R. **Características de féculas de tuberosas e suas relações com resistência dos géis sob condições de estresse aplicada na industrialização de alimentos.** 2005. 146f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2005.

DELEO, J. P. B. Gestão sustentável na bataticultura. In: BARROS, G. S. A. C. (coord.). **Hortifruti Brasil.** Piracicaba: CEPEA, v. 9, n. 95, p. 8-26, 2010.

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

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.

EUROCHEM AGRO. ENTEC[®] 26 com inibidor da nitrificação dmpp. Disponível em: http://pt.eurochemagro.com/uploads/product/entec_26/ENTEC_26_PT.pdf. Acesso em: 08 jun. 2016.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (Roma, Itália). FAOSTAT: **Crops.** Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em: 07 jun. 2016.

FELTRAN, J. C. **Adubação mineral na cultura da batata e residual no feijoeiro.** 2005. 112f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2005.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. **Nutrição mineral, calagem e adubação da batateira**. Botucatu/Itapetininga: FEPAF/ABBA, 2012. 121p.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - Macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.6, p.2039-2056, 2011.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Universidade Federal de Viçosa - UFV. p. 421, 2008.

FINGER, F. L.; FONTES, P. C. R. Manejo pós-colheita da batata. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 197, p. 105-111, 1999.

FONTES, P. C. R. Calagem e Adubação da Batata. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 197, p. 42-52, 1999.

FONTES, P. C. R. et al. Produção de máxima eficiência econômica da batata em função da adubação fosfatada. **Horticultura Brasileira**, v. 15, n. 2, p. 104-107, 1997.

FONTES, P. C. R. Nutrição mineral e adubação. In: REIFSCHNEIDER, F. J. B. (coord.). **Produção de Batata**, p. 40-56, 1987.

FONTES, P.C.R. Preparo do solo, nutrição mineral e adubação da batateira. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 42 p.

FONTES, P.C.R. Sugestões de adubação para hortaliças. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.; V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5a Aproximação. 1999. p.171-174.

FONTES, P.C.R. et al. Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. **Potato Research**, v. 53, 167–179, 2010.

FRANCO, C. M. L. et al. Propriedades do Amido, In: **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, Propriedades Gerais do Amido**. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, 2001.

FRANCO, C. M. L. et al. **Propriedades Gerais do Amido**. In: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Fundação Cargill, v. 1, p. 224, 2002.

FRANCO, C. M. L. et al. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, v. 79, n. 2, p. 243-248, 2002.

FREITAS, C. M. Nitrogênio – O elemento da qualidade. **Associação brasileira da batata**. 2003. Disponível em: http://www.abbabatatabrasileira.com.br/revista06_022.htm. Acesso em 07 de junho de 2016.

GALLANT, O. J. et al. On ultrastructural and nutritional aspects of some tropical tuber starches. **Starch/Stärke**, v. 34, n. 8, p. 255-262, 1982.

GALLANT, O. J.; BOUCHET, P.; BALDWIN, P. M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization, **Carbohydrate Polymers.**, v. 32, p. 177-191, 1997.

GARCIA, E. L. **Composição dos tubérculos, extração e caracterização de amidos de diferentes cultivares de batata**. 2013. 82f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

GEDDES, R.; GREENWOOD, C.T.; MACKENZIE, S. Studies on the biosynthesis of starch granules. *Carbohydrate Research*, Maryland Heights, v. 1, n. 1, p. 71-82, 1965.

- GOFFART, J. P. et al. Potato crop nitrogen status assessment to improve n fertilization management and efficiency: Past–Present–Future. **Potato Research**, v. 51, n. 3-4, p. 355-383, 2008.
- GRANJA, N. P.; FELTRAN, J. C.; MIRANDA FILHO, H. S.; FACTOR, T. L.; LIMA JUNIOR, S.; BLAT, S. F. Calagem e adubação da batata (*Solanum tuberosum* L.). In: AGUIAR, A. T. E. et al. (Org.). **Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas**. 7. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2014. p. 54-58. (Boletim técnico, 200).
- GUERREIRO, L.M.R. **Avaliação de Amidos nativos em condições de estresse adaptados ao processamento de alimentos**. 2002. 180f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual, Botucatu, 2002.
- GUILBOT, A.; MERCIER, C. Starch. In: ASPINALL, G. O. **The Polysacchides**. New York: Academic Press. v. 3, p. 209-282, 1985.
- HECKMAN, J. R. In-season soil nitrate testing as a guide to nitrogen management for annual crops. **HortTechnology**, v. 12, n. 4, p. 706-710, 2002.
- HERMANSSON, A.M.; SVEGMARK, K. Development in the understanding of starch functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n. 11, p. 345-353, 1996.
- HOOVER, R. Composition, molecular structure and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola** - LSPA - Janeiro 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201610_5.shtm>. Acesso em: 20 out. 2016.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION. 1987. Norme ISO 6647 (F). Riz – Determination de La teneur em amylose. Switzerland. 3p
- JACOBSEN, H. B. et al. The degree of starch phosphorylation as influenced by phosphate deprivation of potato (*Solanum tuberosum* L.) plants. **Potato Research**, v. 41, p. 109-116, 1998.
- JANE, J. et al. Effects of amylopectin branch length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.
- JANE, J. Current understanding on starch granule structure. **Journal of Applied Glycoscience**, v. 53, n. 3, p. 205-213, 2006.
- JANE, J. et al. Phosphorous in rice and others starches. **Cereal Foods World**, v. 41, p. 827-832, 1996.
- JANE, J. Structural features of starch granules II. In: BEMILLER, J.; WHISTLER, R. (Ed.). **Starch: chemistry and technology**. 3. ed. Burlington: Academic Press, chap. 6, p. 193-236, 2009.
- KARIM, A. A.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, v. 71, n. 1, p. 9-36, 2000.
- KAUR, L. et al. Physicochemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering*, v. 82, p. 383–394, 2007.
- KIM, Y. S. et al. Suitability of edible bean and potato starch noodles. **Cereal Chemistry**, v. 73, p. 302–308, 1996.
- KLEINHENZ, M. Potatoes growing tips and news from the world of research. **The Tuber Times**, v. 2, n. 1, 2001.

- KOBLITZ, M. G. B. **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 301, 2011.
- LEE, F. A. **Basic Food Chemistry**. 2 ed., AVI Publishing Company, Inc., p. 564, 1983.
- LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 579-588, 2007.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.
- LEONEL, M. et al. Physico-chemical properties of starches isolated from potato cultivars grown in soils with different phosphorus availability. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, p. 1900–1905, 2015.
- LILJEBERG, E. H. Resistant starch content in a selection of starchy foods on the Swedish market. **European Journal of Clinical Nutrition**, Darmstadt, v. 56, n. 6, p. 500–505, 2002.
- 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.
- LONG, C. M. et al. Tuber yield, storability and quality of Michigan cultivars in response to nitrogen management and seedpiece spacing. **American Journal of Potato Research**, v. 81, n. 5, p. 347-357, 2004.
- LIU, Q. et al. Advanced analytical techniques to evaluate the quality of potato and potato starch. In: JASPREET SINGH e LOVEDEEP KAUR. **Advances in Potato Chemistry and Technology**. 1 ed. New Zealand: Editora Academic Press, cap. 8, p. 221-248, 2009
- LIU, Q. et al. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. **Food Chemistry**, v. 105, p. 897–907, 2007.
- LIU, S. et al. A prospective study of dairy intake and the risk of type 2 diabetes in woman. **Diabetes Care**, v.29, p.1579–1584, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, p. 319, 1997.
- MESQUITA, C. B.; **Características físico-químicas de amidos de genótipos de bananeiras** 2015. 77f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2015.
- MEYER, R. D.; MARCUM, D. B. Potato yield, petiole nitrogen and soil nitrogen response to water and nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 90, n. 31, p. 420-429, 1998.
- MIGLIORATI, M. D. A. et al. Influence of different nitrogen rates and DMPP nitrification inhibitor on annual N₂O emissions from a subtropical wheat–maize cropping system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 136, n. 1, p. 33-43, 2014.
- MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; BOGUĆKA, B. The influence of nitrogen and potassium fertilisation on the content of polyphenolic compounds and antioxidant capacity of coloured potato. **Journal of food composition and analysis**, v. 47, p. 69-75, 2016.
- MIZUKAMI, H. et al. The structure of the hot – water soluble components in the starch granules of new Japanese rice cultivars. **Carbohydrate Polymers**, v. 38, n. 4, p. 329 – 335, 1999.

MULLINS, E. et al. Potato in the age of biotechnology. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 5, p. 254-260, 2006.

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

NAVA, G. et al. Produção de tubérculos de batata-semente em função das adubações nitrogenada, fosfatada e potássica. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 365-370, 2007.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, n. 2, p. 375-380, 1944.

NIEVES, J.W. Osteoporosis: the role of micronutrients. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.81, 1232S–1239S, 2005.

NODA, T. et al. Preparation of Calcium- and Magnesium-Fortified Potato Starches with Altered Pasting Properties. **Molecules**, [s.l.], v. 19, n. 9, p.14556-14566, 15 set. 2014.

NODA, T. et al. Relationship between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat. **Carbohydrate Polymers**, v. 37, p. 153-158, 1998.

NODA, T. et al. Starch phosphorus content in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and its effect on other starch properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, p. 793-796, 2007.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4**: Instrutions Manual. Warriewood. p. 123, 1998.

ÖZTÜRK, E. et al. The effects of different nitrogen and phosphorus rates on some quality traits of potato. **Potato Research**, v. 53, n. 4, p. 309-312, 2010.

PARK, Y. K.; BAR, W. H.; PAPINI, R. S. Relação entre entumescimento, gelatinização e suscetibilidade dos amidos de mandioca e milho a alfa-amilase bacteriana. **Revista Brasileira de Tecnologia**, v. 2, p. 95-99, 1971.

PARKER, R.; RING, S.G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v. 34, p.1-17, 2001.

PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Embrapa Informação Tecnológica, p. 567, 2003.

PEREIRA, A. S.; SANTOS, F. F. Processamento industrial da mandioquinha-salsa. **Informe Agropecuário**, v. 19, n. 190, p. 56-60, 1997.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2003.

RAEKER, M. O. et al. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 5, p. 721-728, set-out, 1998.

RECHSTEINER, M.S. **Desenvolvimento de amidos fosfatados de batata-doce e mandioca e aplicação como substitutos de gordura em sorvetes**. 2009. 167f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2009.

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

ROCHA, T. S.; **Estudo da hidrólise enzimática do amido de mandioca-salsa (*arracacia xanthorrhiza*): efeito do tamanho dos grânulos**. 2007. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Ciência e Tecnologia de Alimentos.) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2007.

SANTOS, T. P. R.; **Efeitos de modificações físicas sobre as propriedades de amido de tuberosas**. 2016. 130f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016.

SANTOS, T. P. R.; et.al. Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 82, p. 144–149, 2016.

SILVA, M. C. C.; FONTES, P. C. R.; MIRANDA, G. V. Índice SPAD e produção d batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 17-22, 2009.

SILVA, S. A. et al. Fontes e épocas de aplicação d nitrogênio em trigo em sistema plantio direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2717-2722, 2008.

SILVA, T. O. et al. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. I - Produtividade vegetal e estoque de nutrientes no solo em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 31, n. 1, p.39-49, 2007.

ŠIMKOVÁ, D. et al. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. **Food Chemistry**, v. 141, p. 3872–3880, 2013.

SINGH, J.; KAURB, L.; MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications - A review. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 1-22, 2007.

SINGH, N. et al. Morphological, Thermal and Reological Properties of Starches from Different Botanical Sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219-231, set, 2003.

SLATTERY, C. J.; KAVAKLI, I. H.; OKITA, T. W. Engineering starch for increase quantity and quality. **Trends in Plant Science**, v. 5, n. 7, p. 291-297, 2000.

SOMOGYI, M. Determination of blood sugar. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 160, n. 1, p. 69-73, 1945.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 3, p. 387- 397, 2006.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de Gelatinização e Extrusão de Amido de Milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

STEIBER, T. D.; MAHLER, R. L. **Cropping practices survey: fertilizer results**. Idaho: University of Idaho, p. 3, 2003.

STRECK, N. A. et al. Simulação do desenvolvimento da batata cultivar Asterix em cinco cenários de mudanças climáticas em Santa Maria, RS. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 693-702, 2006.

- SWINKELS, J. J. M. Composition and properties of commercial native starches. **Starch/Starke**, v. 37, n. 1, p. 1-5, 1985.
- TANG, H., MITSUNAGA, T., KAWAMURA, Y. Molecular arrangement in blocklets and starch granule architecture. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, n. 4, 555–560, 2006.
- TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry**, v. 67, p. 551-557. 1990.
- TESTER, R.F. Properties of damaged starch granules: composition and swelling properties of maize, rice, pea and potato starch fractions in water at various temperatures. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 293-301, jul. 1997.
- THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. **Starches: practical guides for the food industry**. Minnesota: Eagan Press, p. 94, 1999.
- TSAI, M. L.; LI, C. F.; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 6, p. 750-757, 1997.
- UTRILLA-COELLO, R. G. et al. In vitro digestibility, physicochemical, thermal and rheological properties of bananas starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 154-162, 2014.
- VAN DER BURGT, Y. E. M. et al. Structural studies on methylated starch granules. **Starch**, v. 52, n. 2, p. 40-43, 2000.
- VAN SOEST, J. J. G. et al. Crystallinity in starch bioplastics. **Industrial Crops and products**, v. 5, p. 11-22, 1996.
- VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, n. 3, p. 245-266, 2004.
- VAN ES, A.; HARTMANS, K. J. Water balance of potato tuber. In: RASTOVSKI, A. & A. VAN (Eds). **Storage of potatoes: Post-harvest Behavior, Store Design, Storage Practice, Handling**. Pudoc, Wageningen. p. 141-147, 1987.
- VILLEGAS, R. et al. Dietary calcium and magnesium intakes and the risk of type 2 diabetes: The Shanghai woman's health study. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.89, p.1–9, 2009.
- WESTERMANN, D.T. et al. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: sugars and starch. **American Potato Journal**, v. 71, n. 7, p. 433– 453, 1994.
- WHISTLER, R. L.; BeMILLER, J. N. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. AACC. St Paul: Eagan Press, p. 117-151, 1997.
- WOLKOWSKI, R. P., KELLING, K. A.; BUNDY, L. G. **Nitrogen management o sandy soils**. UWEX Bulletin A3634. University of Wisconsin-Extension, Madison, WI, p.1-7, 1995.
- WONG, D.W.S. **Mechanism and Theory in Food Chemistry**, Ed. Van Nostrand Reinhold, 428 p. 1989.
- WURZBURG, O. B. Cross-linked starches. In: O.B. Wurzburg (Ed.), **Modified starches: Properties and uses**, p. 41-53. Boca Raton, FL: CRC Press, 1986.
- YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, Maryland Heights, v. 46, n. 2, p. 179-184, out. 2001.
- ZAIDUL, I.S.M. et al. Correlations of the composition, minerals, and RVA pasting properties of various potato starches. **Starch/Stärke** , v.59 , p.269–276, 2007.

ZEBARTH, B. J. et al. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, n. 2, p. 113-132, 2009.

ZEBARTH, B. J.; ROSEN, C. J. Research perspective on nitrogen BMP development for potato. **American Journal Potato Research**, v. 84, n. 1, p. 3-18, 2007.

ZVOMUYA, F. et al. Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea of potato. *Journal of Environmental Quality*, v. 32, n. 2, p. 480–489, 2003.