

DÁVILLA ALESSANDRA DA SILVA ALVES

**POTENCIAL FITOEXTRATOR DE METAIS PESADOS DA BATATA-DOCE
MANEJADA COM BIOSSÓLIDO E ÁGUA RESIDUÁRIA EM SOLOS DE
DIFERENTES CLASSES TEXTURAIS**

Botucatu

2018

DÁVILLA ALESSANDRA DA SILVA ALVES

**POTENCIAL FITOEXTRATOR DE METAIS PESADOS DA BATATA-DOCE
MANEJADA COM BIOSSÓLIDO E ÁGUA RESIDUÁRIA EM SOLOS DE
DIFERENTES CLASSES TEXTURAIS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador(a): Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

Co-orientador(a): Prof^a. Dr.^a Magali Leonel

**Botucatu
2018**

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

A474p Alves, Dávilla Alessandra da Silva, 1991-
Potencial fitoextrator de metais pesados da batata-doce manejada com bio sólido e água residuária em solos de diferentes classes texturais / Dávilla Alessandra da Silva Alves. - Botucatu: [s.n.], 2018
126 p.: fots. color., grafs., ils. color, tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Hélio Grassi Filho
Coorientador: Magali Leonel
Inclui bibliografia

1. Batata-doce - Nutrição mineral. 2. Fertilizantes orgânicos. 3. Irrigação. 4. Águas residuais - Purificação. 5. Produtividade agrícola. I. Grassi Filho, Hélio. II. Leonel, Magali. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: POTENCIAL FITOEXTRATOR DE METAIS PESADOS DA BATATA-DOCE MANEJADA COM BIOSSÓLIDO E ÁGUA RESIDUÁRIA EM SOLOS DE DIFERENTES CLASSES TEXTURAIS

AUTORA: DÁVILLA ALESSANDRA DA SILVA ALVES

ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO

COORDINADORA: MAGALI LEONEL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO
Depto de Solos e Recursos Ambientais / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



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



Prof. Dr. RODRIGO DOMINGUES BARBOSA
Depto de Agronomia / EDUVALE - ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DO VALE DA JURUMIRIM

Botucatu, 25 de janeiro de 2018

*Aos meus pais, Francisco e Cícera, que souberam compreender minha
ausência em tantos momentos importantes de nossas vidas.*

Ofereço e Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de fé, por toda graça e bênçãos, pela vida, amor e proteção à minha família em minha ausência.

Aos meus pais, Francisco de Assis e Cícera Maria, pelo amor incondicional, confiança e apoio às minhas decisões. Obrigada por serem fonte de inspiração, força e perseverança; vocês são a minha vida, a minha luz.

Ao professor Dr. Hélio Grassi pela orientação, pelo exemplo de caráter e honestidade; confiança depositada, incentivo, apoio, amizade e ensinamentos. Sou grata por tudo.

À professora Dr^a. Magali Leonel pela oportunidade de co-orientação, por me receber de braços abertos, por sua dedicação, amizade, confiança depositada, paciência e todo o suporte dado. Muito obrigada!

À professora Dr^a. Maria Marcia Pereira Sartori por todo o auxílio e suporte nas análises estatísticas deste trabalho.

A Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu/SP, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Irrigação e Drenagem pela oportunidade, e todos os professores.

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Irrigação e Drenagem pelo apoio financeiro.

Aos funcionários da Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos. A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural e do Departamento de Solos e Recursos Ambientais: em especial a Israel, Fabiana, Rafaela, Seu Jair, Felipe Lourenço, José Carlos Coelho, De Pieri, Adriana e Sílvia por todo auxílio, carinho e atenção. Sou grata a todos!

Aos funcionários e alunos do CERAT/ Unesp: Juliana Eburneo, Daiana Fernandes, Thaís Paes, Alessandra Luíza e Elder Mattos pela ajuda, atenção e carinho, pelos momentos divertidíssimos e amizade construída.

Aos antigos e atuais orientados do professor Dr. Hélio Grassi Filho: Isabela Louzada, Ana Carolina Kummer, Márcio Henrique Lanza, Rodolpho Artur Lima, Thomaz Figueiredo Lobo e Gabriel Gomes, pela amizade, apoio, boa vontade em ensinar e ajudar.

Aos estagiários Luciano Menezello (Filho), Camila Meucci (Kpote), Andressa Lima (Doida), Laís Novello (Cofrinho), Matheus Simões (Omicida) e Ana Carolina (Rocera) pelos momentos de alegria, pela amizade construída; sem dúvidas aprendi muito com vocês. Obrigada por toda ajuda, de certo os levarei em meu coração.

Aos amigos Jéssica Lima, Roberto Martins e Luciano Menezello. À minha amiga de infância Gabriella Muniz, pelos vinte anos de amizade.

A todos os amigos da pós-graduação em especial a Marcela Caetano, Gleize Leviski, Caio Vilela, Aline Fonseca, Camila Pescatori, Lívia Ribeiro, Sílvia Capuani e Flávia Mota pela companhia, convivência, e que de alguma maneira contribuíram para realização desse trabalho.

Às amigas da república Xero no Cangote por todos os momentos de confraternização, amizade e companheirismo, vocês são lindas.

À minha querida Tia Cícera (*In memorian*), que sempre me incentivou e acreditou no meu potencial. Saudades!

À minha família e amigos, que mesmo com a distância me mantiveram em suas orações, e torceram por mim e por essa conquista.

Muito obrigada!

RESUMO

O uso do biossólido nos sistemas de produção agrícola ainda é visto como ameaça potencial devido a toxicidade de metais pesados para a vida humana e ambiental. Nesta linha, o objetivo deste trabalho foi determinar as concentrações de metais pesados em raízes de batata-doce e o potencial de uso como fertilizante orgânico no suprimento nutricional da cultura sob diferentes práticas de manejo no solo e na adubação. O estudo foi desenvolvido em condições de campo, na área experimental do Departamento de Solos e Recursos Naturais - Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu-SP, situado a 22°52'55" S de latitude, 48°26'22" W de longitude e 786 m de altitude. O clima da região é do tipo Cwa, definido como subtropical, verão quente e úmido com precipitação elevada e estiagem no inverno. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram caracterizados pelo tipo de adubação: AM-mineral (com fertilizante convencional) e AO-orgânica (com lodo de esgoto compostado) em função de dois tipos de água para irrigação (AP- Água Potável e AR- Água Residuária - doméstica de tratamento de esgoto) na batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) var. Brazlândia Roxa cultivada em três tipos de solo: Neossolo Quartzarênico órtico, Latossolo Vermelho distrófico típico textura média e Nitossolo Vermelho distrófico típico argiloso. Utilizou-se vasos com capacidade de 250 L de solo e sistema de irrigação por gotejamento, com emissores autocompensantes de 4 L h⁻¹ de vazão nominal. A lâmina diária aplicada foi baseada na estimativa da evapotranspiração da cultura. As plantas colhidas foram fracionadas em parte aérea (folhas+ramas) e raízes, e levadas à estufa de circulação forçada para determinação de massa seca, em seguida as amostras foram moídas e determinados os macro e micro nutrientes em ambos os materiais, e metais pesados (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se) nas tuberosas. Foi determinado a produtividade total e comercial de raízes, incidência de defeituosas, qualidade e caracterização físico-química. Conclui-se com os resultados que o melhor desempenho na extração dos nutrientes ocorreu em solo argiloso, sob adubação convencional. A batata-doce respondeu melhor a adubação AO+AR em solo argiloso e de textura média, respectivamente, no acúmulo de matéria seca e de nutrientes. Os teores de metais presente no lodo estavam abaixo dos limites permitidos. Não foi detectada toxicidade de metais pesados nas raízes de batata-doce

em nenhum dos tratamentos avaliados. A produção de raízes de peso maior ocorreu em solo argiloso sob adubação orgânica. As adubações influenciaram na composição nutricional das raízes.

Palavras-chave: Fertilizantes orgânicos. Matéria orgânica. Nutrição mineral. Remediação. Irrigação. Reuso da água. Produtividade.

ABSTRACT

The use of biosolids in agricultural production systems is still seen as a potential threat due to the toxicity of heavy metals to human and environmental life. In this line, the objective of this work was to determine the concentrations of heavy metals in roots of sweet potato and the potential of use as organic fertilizer in the nutritional supply of the crop under different management practices in soil and fertilization. The study was developed under field conditions in the experimental area of the Department of Soils and Natural Resources - Experimental Lageado Farm, University of São Paulo at Botucatu Campus, located at 22°52'55 " S of latitude, 48°26'22 "W of longitude and 786 m of altitude. The climate of the region is of type Cwa, defined as subtropical, hot and humid summer with high precipitation and drought in winter. The experimental design was a randomized complete block design with four replicates. The treatments were characterized by the type of fertilization: AM-mineral (with conventional fertilizer) and AO-organic (with composted sewage sludge) as a function of two types of water for irrigation (AP- Potable Water and AR- Sewage treatment) in sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) var. Brazlândia Roxa cultivated in three types of soil: Quartzarenic orthoses Neosol, Typic dystrophic red Latosol medium texture and typical clayey dystrophic Red Nitosol. Vessels with a capacity of 250 L of soil and drip irrigation system were used, with self-compensating emitters of 4 L h⁻¹ nominal flow. The daily applied water blade was based on the estimated evapotranspiration of the crop. The plants were fractionated in aerial part (leaves + branches) and roots, and taken to the forced circulation oven for determination of dry mass, then the samples were ground and determined the macro and micro nutrients in both materials, and heavy metals (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb and Se) in the tuberoses. The total and commercial roots productivity, incidence of defects, quality and physicochemical characterization were determined. It was concluded with the results that the best performance in the extraction of nutrients occurred in clay soil under conventional fertilization. The sweet potato responded better to AO + AR fertilization in clayey and medium textured soil, respectively, in the accumulation of dry matter and nutrients. The metal contents present in the sludge were below the allowed limits. No toxicity of heavy metals was detected in sweet potato roots in any of the evaluated treatments. The production of roots of greater weight occurred in clay soil under organic fertilization. Fertilization influenced the nutritional composition of the roots.

Keywords: Organic fertilizers. Organic matter. Mineral nutrition. Remediation. Irrigation. Water reuse. Productivity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Dados ambientais de (A) precipitação pluvial diária; (B) temperatura do ar mínima, média e máxima e (C) umidade relativa do ar mínima, média e máxima registrados durante o período experimental. Botucatu, 2017. Elaboração: próprio autor33
- Figura 2.** Dados ambientais de (A) precipitação pluvial diária; (B) temperatura do ar mínima, média e máxima e (C) umidade relativa do ar mínima, média e máxima registrados durante o período experimental. Botucatu, 2017. Elaboração: próprio autor.74
- Figura 3.** Fluxograma das etapas de caracterização das raízes e de amidos.78
- Figura 4.** Variações quanto ao formato e tamanho de tuberosas de batata-doce por tratamento. Legenda: A (Neossolo Quartzarênico Órtico) B (Latosolo Vermelho distrófico) C (Nitossolo Vermelho distrófico). Botucatu, 2017. Fonte: arquivo pessoal.80
- Figura 5.** Variações quanto ao formato e tamanho de tuberosas de batata-doce cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Legenda: A (Mineral+AP); B (Mineral+AR); C (Orgânica+AP); D (Orgânica+AR). Botucatu, 2017. Fonte: arquivo pessoal.88
- Figura 6.** Dados ambientais de (A) precipitação pluvial diária; (B) temperatura do ar mínima, média e máxima e (C) umidade relativa do ar mínima, média e máxima registrados durante o período experimental. Botucatu (SP), 2017. Elaboração: próprio autor.105
- Figura 7.** Fluxograma das etapas de caracterização das raízes e de amidos.109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição e identificação dos tratamentos.....	26
Tabela 2. Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2016, na camada de 0-40 cm. Botucatu, 2017.....	28
Tabela 3. Distribuição dos tratamentos quanto ao tipo de solo e adubação+irrigação.	28
Tabela 4. Resultados médios de metais pesados no solo em cada tratamento no ano de 2016, na camada de 0-40cm. Botucatu, 2017.....	29
Tabela 5. Características químicas do biossólido utilizado no experimento.	30
Tabela 6. Teores médios de macro e micronutrientes em folhas+ramas de batata-doce sob adubação convencional e três tipos de solo. Botucatu, 2017.....	37
Tabela 7. Teores médios de macro e micronutrientes em raízes de batata-doce sob adubação convencional e três tipos de solo. Botucatu, 2017.....	39
Tabela 8. Teores médios de metais pesados em raízes de batata-doce sob adubação convencional e três tipos de solo. Botucatu, 2017.	40
Tabela 9. Estimativa da contribuição diária de macro e micronutrientes acrescentados no ciclo da cultura da batata-doce via irrigação com efluente tratado. Botucatu, 2017.	42
Tabela 10. Teores médios de macro e micronutrientes em folhas+ramas de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação. Botucatu, 2017.....	45
Tabela 11. Teores médios de macro e micronutrientes em raízes de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação. Botucatu, 2017.	47
Tabela 12. Teores médios de metais pesados em raízes de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação. Botucatu, 2017.	49
Tabela 13. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo nos teores médios de macro e micronutrientes em folhas+ramas de batata-doce. Botucatu, 2017.....	52
Tabela 14. Teores médios de macro e micronutrientes em folhas e ramas de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação e tipos de solo. Botucatu, 2017.	53
Tabela 15. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo nos teores médios de macro e micronutrientes em raízes de batata-doce. Botucatu, 2017.	55
Tabela 16. Teores médios de macro e micronutrientes em raízes de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação e tipos de solo. Botucatu, 2017.	57

Tabela 17. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo nos teores médios de metais pesados em raízes de batata-doce. Botucatu, 2017.	59
Tabela 18. Distribuição e identificação dos tratamentos.	70
Tabela 19. Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2016, na camada de 0-40cm. Botucatu, 2017.	71
Tabela 20. Caracterização química do biossólido utilizado no experimento.	72
Tabela 21. Componentes de produção e características agronômicas de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em solos de diferentes classes texturais. Botucatu, 2017.....	81
Tabela 22. Componentes de qualidade de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em solos de diferentes classes texturais. Botucatu, 2017.	82
Tabela 23. Parâmetros de qualidade físico-química de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em solos de diferentes classes texturais. Botucatu, 2017.....	84
Tabela 24. Estimativa da contribuição diária de macro e micronutrientes acrescentados no ciclo da cultura da batata-doce via irrigação com efluente tratado. Botucatu, 2017.....	85
Tabela 25. Componentes de produção e características agronômicas de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.....	89
Tabela 26. Componentes de qualidade de raízes tuberosas de batata-doce cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.....	90
Tabela 27. Parâmetros de qualidade físico-química de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.....	92
Tabela 28. Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2016, na camada de 0-40cm. Botucatu, 2017.	102
Tabela 29. Caracterização química do biossólido utilizado no experimento.	103
Tabela 30. Estimativa da contribuição diária de macro e micronutrientes acrescentados no ciclo da cultura da batata-doce via irrigação com efluente tratado.	110
Tabela 31. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo nos componentes de produção e características agronômicas de raízes de batata doce, Botucatu, 2017.	113

Tabela 32. Característica agronômica de raízes de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação e tipos de solo. Botucatu, 2017.	114
Tabela 33. Componentes de qualidade de raízes tuberosas de batata-doce cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.	115
Tabela 34. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo na qualidade físico-química de raízes de batata doce. Botucatu, 2017.	118
Tabela 35. Parâmetros de qualidade físico-química de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.	119

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	21
CAPÍTULO 1.....	23
ASPECTOS NUTRICIONAIS EM PLANTAS DE BATATA-DOCE CULTIVADAS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO E ADUBAÇÃO	23
1.1. INTRODUÇÃO	24
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	26
1.2.1. Delineamento e caracterização dos tratamentos.....	26
1.2.2. Manejo agrônômico	27
1.2.3. Parâmetros avaliados	33
1.2.4. Análise dos dados	34
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
1.4. CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
CAPÍTULO 2.....	66
PRODUTIVIDADE E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RAÍZES DE BATATA-DOCE EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO E TEXTURA DO SOLO.....	66
2.1. INTRODUÇÃO	67
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	69
2.2.1. Localização e caracterização da área experimental	69
2.2.2. Delineamento e caracterização dos tratamentos.....	69
2.2.3. Manejo agrônômico	70
2.2.4. Parâmetros avaliados	74
2.2.5. Análise dos dados	78
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	79
2.4. CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
CAPÍTULO 3.....	98
PRODUTIVIDADE COMERCIAL E QUALIDADE NUTRICIONAL DE RAÍZES DE BATATA-DOCE CULTIVADAS SOB DIFERENTES PRÁTICAS CULTURAIS	98
3.1. INTRODUÇÃO	99
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	100
3.2.1. Localização e caracterização da área experimental	100
3.2.2. Delineamento e caracterização dos tratamentos.....	100
3.2.3. Manejo agrônômico	101
3.2.4. Parâmetros avaliados	106
3.2.5. Análise dos dados	110
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	110
3.4. CONCLUSÕES	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

INTRODUÇÃO GERAL

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) está entre as culturas agrícolas consideradas fundamentais como fonte básica de alimento. Por ser tradicionalmente cultivada por pequenos produtores, a maior parte dessa produção é destinada a mercados locais ou para consumo próprio.

Integrante da família Convulvolaceae, produz raízes tuberosas como produto principal, além de folhas comestíveis. A batata-doce pode ser cultivada em regiões com umidade suficiente para permitir o seu desenvolvimento, e sua importância socioeconômica é resultante da rusticidade, ampla adaptação climática e alto teor de proteína alimentar, sendo apontada como a quarta hortaliça mais cultivada no Brasil (PERESSIN; FELTRAN, 2014).

Possui a capacidade de produzir quantidades consideravelmente grandes de alimentos ricos em energia e elementos nutritivos em ciclos relativamente curtos, podendo ser encontrada em regiões de clima tropical e subtropical com boa disponibilidade de luz e temperaturas favoráveis, variando de 10 a 24°C (YAHAYA et al., 2015).

Consoante Silva et al. (2015), esta espécie dicotiledônea sob condições rudimentares consegue atingir rendimentos entre 4 a 6 t ha⁻¹, porém com potencialidade para serem expandidos a 15 t ha⁻¹ sob tratos culturais adequados, envolvendo irrigação, nutrição e preparo de solo. Desse modo, as vantagens de altos rendimentos, rusticidade e adaptabilidade a diversos sistemas ambientais, são particularidades consideradas vitais por Mekonnent et al. (2015) para se conseguir autossuficiência alimentar com pouco investimento.

Apesar do potencial produtivo, o rendimento médio da batata-doce no Brasil cresceu apenas 6,8% em relação ao ano de 2014 quando passou de 13,20 t ha⁻¹ de raízes para 14,1 em 2016, enquanto na China, líder na produção mundial, são conseguidas com facilidade 21,14 t ha⁻¹ de produtividade média (FAOSTAT, 2016).

Dentre as regiões brasileiras produtoras, atualmente a região Sul se destaca com produção anual de 249.154 toneladas, o que corresponde a 37,2% do montante nacional, sendo o Rio Grande do Sul detentor de 25,1% desta produção. A região Sudeste é a segunda maior produtora do País (33,2%), seguida pela região Nordeste (25,5%) detentora das 170.601 toneladas. O Estado de São Paulo é o segundo

colocado no ranking nacional com 150.886 toneladas produzidas em 8.341 hectares e rendimento médio de 18,1 t ha⁻¹ (IBGE, 2016).

Entretanto, o baixo rendimento agrícola da hortaliça no Brasil se deve à falta de consenso nos sistemas de cultivo. De maneira geral, por se tratar de uma cultura de subsistência, é na sua maioria cultivada em solos de baixa fertilidade e de textura arenosa (FREITAS et al., 2001), com materiais genéticos obsoletos (MARCHESE et al., 2010) sob ausência de tecnologia, frente às técnicas de fertilização orgânica e mineral adequadas à cultura (SANTOS et al., 2006), levando à redução da produtividade e da renda do produtor por sofrer restrições na comercialização (RÓS; NARITA; HIRATA, 2014).

A resposta da batata-doce à adubação de acordo com Foloni et al. (2013), depende das condições do solo, com incrementos na produtividade mais evidentes naqueles de fertilidade exígua. A adubação com matéria orgânica também pode tecer respostas significativas tanto na produção quanto na qualidade final dos produtos (OLIVEIRA et al., 2010).

A adição de materiais orgânicos traz benefícios que atuam melhorando precipuamente as condições de cultivo pelo aumento da capacidade de retenção hídrica, aeração e no incremento da disponibilidade de nutrientes em formas prontamente assimiláveis (SILVA et al., 2012). Entretanto, Loss et al. (2009) relatam que ainda são limitados os estudos referentes aos efeitos associados da adubação com compostos orgânicos de diferentes origens, sobretudo nas características físico-químicas do solo e dos alimentos.

Além dos critérios de adubação, o manejo hídrico representa como uma das principais tecnologias com potencial de trazer resultados satisfatórios no desempenho agrônomo das culturas (OLIVEIRA, 2014). Neste contexto, o uso de águas residuais, quando manejado de forma adequada, não só contribui para o aumento do rendimento agrícola como na melhoria da qualidade ambiental, apresentando-se como uma opção no fornecimento de água e nutrientes para as culturas agrícolas durante o ciclo de cultivo (SOUZA et al., 2015).

Portanto, objetivou com este trabalho, avaliar o potencial de fitoextração de nutrientes e metais pesados, assim como o desempenho agrônomo e a qualidade final da batata-doce manejada com biossólido e água residuária em diferentes tipos de solo.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS NUTRICIONAIS EM PLANTAS DE BATATA-DOCE CULTIVADAS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO E ADUBAÇÃO

Dávilla Alessandra da Silva Alves¹, Magali Leonel², Hélio Grassi Filho³

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar as concentrações de metais pesados em raízes de batata-doce e o potencial de uso como fertilizante orgânico no suprimento nutricional da cultura sob diferentes práticas de manejo no solo e na adubação. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram caracterizados pelo tipo de adubação: AM-mineral (com fertilizante convencional) e AO-orgânica (com lodo de esgoto compostado) em função de dois tipos de água para irrigação (AP- Água Potável e AR- Água Residuária - doméstica de tratamento de esgoto) na batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) var. BRS Roxa cultivada em três tipos de solo: Neossolo Quartzarênico órtico, Latossolo Vermelho distrófico típico textura média e Nitossolo Vermelho distrófico típico argiloso, avaliados em três experimentos. As plantas colhidas foram fracionadas em parte aérea (folhas+ramas) e raízes e determinados os teores de matéria seca, macro e micro nutrientes em ambos os materiais, e metais pesados (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se) nas tuberosas. Os resultados demonstraram melhor desempenho na extração dos nutrientes em solo argiloso, sob adubação convencional. A batata-doce respondeu melhor a adubação AO+AR em solo argiloso, seguido pelo solo de textura média. Os teores de metais presente no lodo estavam abaixo dos limites permitidos. Não foi detectada toxicidade de metais pesados nas raízes de batata-doce em nenhum dos tratamentos avaliados.

Palavras-chave: Metais pesados. Matéria orgânica. Remediação. Sustentabilidade.

NUTRITIONAL ASPECTS ON SWEET POTATO PLANTS CULTIVATED UNDER DIFFERENT SOIL AND FERTILIZING CONDITIONS

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the concentrations of heavy metals in roots of sweet potato and the potential of use as organic fertilizer in the nutritional supply of

the crop under different management practices in soil and fertilization. The experimental design was a randomized complete block design with four replicates. The treatments were characterized by the type of fertilization: AM-mineral (with conventional fertilizer) and AO-organic (with composted sewage sludge) as a function of two types of water for irrigation (AP- Potable Water and AR- Sewage treatment) in sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) var. Brazlândia Roxa cultivated in three types of soil: Quartzarenic orthoses Neosol, Typic dystrophic red Latosol medium texture and typical clayey dystrophic Red Nitosol, evaluated in three experiments. The plants were fractionated in aerial part (leaves + branches) and roots for determination of dry mass, macro and micro nutrients in both materials, and heavy metals (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb and If) in the tuberosas. The results showed better performance in nutrient extraction in clay soil under conventional fertilization. The sweet potato responded better to AO + AR fertilization in clay soil, followed by soil of medium texture. The metal contents present in the sludge were below the permitted limits. No toxicity of heavy metals was detected in sweet potato roots in any of the evaluated treatments.

Keywords: Heavy metals. Organic matter. Remediation. Sustainability.

1.1. INTRODUÇÃO

A reciclagem de lodos nos sistemas agrícolas surge como uma alternativa eficiente para suportar as quantidades crescentemente produzidas. Nos países desenvolvidos, os processos de incineração e estocagem foram superados com a adoção do uso na agricultura; somente na Espanha, são utilizados anualmente 83% do lodo produzido, na forma compostada do material (BOSE et al., 2009; PASSUELLO et al., 2012; LLORET et al., 2016).

Apesar da relevância ainda são discutidos os pormenores desta atividade, em razão do material ser resultante do tratamento de águas servidas, podendo assim armazenar altas concentrações de inúmeros elementos contaminantes e potencialmente nocivos aos ecossistemas e à cadeia alimentar (ADAMCOVÁ et al., 2016).

As restrições são voltadas à preocupação de que metais pesados no produto compostado podem transferir-se do solo e se acumularem em plantas comestíveis, pois, uma vez que as plantas absorvem a maioria dos nutrientes contidos na solução

do solo, analogamente é assumido que os metais dissolvidos estão prontamente disponíveis (ANTONIUS, 2003).

Entretanto, estes critérios são considerados insuficientes por diversos pesquisadores, de modo que a mobilidade e biodisponibilidade dependem das características físico-químicas do solo, assim como, a forma química em que se encontram os elementos (ANTONIUS; SNYDER, 2009). Os metais pesados nem sempre estão disponíveis para absorção, por serem frequentemente adsorvidos por íons carbonatos, compostos orgânicos, óxidos de Ferro e Manganês, e minerais primários e secundários (PADDA; PICHA, 2008).

Nos países de clima tropical, sobretudo os que se encontram em desenvolvimento, os entraves legislativos são ainda mais restritivos devido às condições peculiares de clima, solo e saneamento. Dessa maneira, uma vez que são escassos os trabalhos correlatos, Berton; Nogueira (2010) enfatizam a necessidade de estudos que contemplem os impactos do seu uso em culturas agrícolas.

Dentre as culturas agrícolas, a batata-doce foi reconhecida como o sétimo alimento mais importante do mundo, com raízes ricas em proteínas, açúcares, vitamina C, fenóis, fibras e recentemente em β -caroteno (GICHUHI et al., 2014). Esta cultura passou a ser vista como um produto importantíssimo para a segurança alimentar, sobretudo em países em desenvolvimento. No Brasil, a cultura da batata-doce se constitui como a quarta hortaliça mais produzida especialmente nos cultivos de subsistência, mas ainda pouco estudada (FAO, 2010).

Os incentivos para aumento da área produzida refletiram com aumento na produção média brasileira em 28,38% entre os anos de 2012 a 2016, correspondendo 190.029 toneladas produzidas. No estado de São Paulo, maior produtor da região Sudeste e segundo maior do país, o aumento da produção foi ainda mais expressivo para o mesmo período passando de 41.449 para 150.886 toneladas produzidas (72,52%) em todo o estado (IBGE, 2016).

Reconhecida a importância do uso do lodo de esgoto nos sistemas agrícolas e da cultura da batata-doce para a segurança alimentar, o objetivo deste trabalho foi determinar as concentrações de metais pesados em raízes de batata-doce, e macro e micronutrientes em partes da planta, cultivadas sob práticas de manejo do solo e da irrigação.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em condições de campo, na área experimental pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas/ UNESP, localizada no município de Botucatu-SP, nas coordenadas 22°52'55" S de latitude e 48°26'22" W de longitude a 786 m de altitude. O clima da região é do tipo Cwa, definido como subtropical, com verão quente e úmido, com precipitação elevada e estiagem no inverno. Apresenta temperatura média anual de aproximadamente 21°C e precipitação de 1.358 mm (SANTOS; ESCOBEDO, 2016).

1.2.1. Delineamento e caracterização dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram caracterizados pelo tipo de adubação, sendo AM-Mineral (com fertilizante convencional) e AO-Orgânica (com lodo de esgoto compostado) no plantio e, em cobertura, em função de dois tipos de água para irrigação (AP- Água Potável e AR- Água Residuária - doméstica de tratamento de esgoto) sob três tipos de solo: Neossolo Quartzarênico Órtico, Latossolo Vermelho Distrófico típico textura média e Nitossolo Vermelho Distrófico típico argiloso de acordo com classificação proposta pela EMBRAPA (2006), avaliados em três experimentos (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição e identificação dos tratamentos.

Experimento	Tipo de solo	Tratamentos (Adubação)
1	Neossolo Quartzarênico órtico Latossolo Vermelho distrófico Nitossolo Vermelho distrófico	Mineral
2	Nitossolo Vermelho distrófico	Mineral + AP Mineral + AR Orgânica + AP Orgânica + AR
3	Neossolo Quartzarênico órtico Latossolo Vermelho distrófico	Mineral + AP Mineral + AR Orgânica + AP Orgânica + AR

O Experimento 1 foi realizado em blocos casualizados, sob adubação mineral recomendada para a cultura em três tipos de solo, com quatro repetições. No experimento 2, foi avaliado sob delineamento experimental em blocos casualizados, sendo os tratamentos caracterizados por dois tipos de adubação sob dois tipos de

água para irrigação, com quatro repetições. Para o experimento 3, adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados sob esquema fatorial 2x4, com quatro repetições.

Para tanto, utilizou-se a cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam)) var. Brazlândia Roxa, a qual foi conduzida em recipientes com capacidade volumétrica de 250 L de solo, espaçados sob 5 metros entre linhas e 4 metros entre vasos. A matéria prima utilizada no plantio foram ramas com 15 cm de comprimento, contendo quatro gemas, as quais foram transplantadas no solo com 1/3 do comprimento fora da superfície, a fim de permitir o desenvolvimento apical, mantendo quatro plantas por recipiente sob espaçamento de 0,75 x 0,50 metros.

1.2.2. Manejo agrônômico

Determinaram-se as características químicas do solo antes do plantio, seguindo a metodologia proposta por Raij et al. (2001) cujos resultados encontram-se na Tabela 2. Para tanto, procederam-se quatro amostragens em cada repetição, obtidas da camada de 0-40 cm de profundidade, sendo posteriormente homogeneizadas, separadas por repetição e tratamento, e analisadas separadamente determinando-se as características químicas e correções pertinentes. Para elevar a saturação por bases (V%) a 70% em todas as subparcelas, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 96%, 45 dias antes do plantio. A distribuição dos tratamentos de acordo com o tipo de solo e adubação para o acompanhamento das análises químicas do solo é apresentada na Tabela 3.

Tabela 2. Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2016, na camada de 0-40 cm. Botucatu, 2017.

Trat.	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³							%	mg dm ⁻³					
				-----											-----	
						mmol _c dm ⁻³										
1	5.3	21.1	170.4	20.1	4.2	54	16.4	75	95	78.9	8.0	0.4	3.8	63.0	4.8	35.7
2	5.4	15.2	170.8	20.6	4.2	35	13.1	53	73	72.0	8.5	0.4	4.0	51.8	3.6	29.9
3	4.6	50.1	177.8	77.2	4.4	54	14.4	73	150	48.5	20.5	0.7	11.6	22.4	6.3	5.7
4	4.5	29.0	156.8	71.6	1.7	42	14.3	59	130	44.9	23.0	0.7	10.1	20.6	4.9	28.3
5	5.3	25.1	187.7	37.2	4.7	59	15.6	80	116	68.3	6.5	0.5	3.2	63.0	2.5	49.3
6	5.4	27.7	182.3	35.2	4.2	48	13.0	65	100	64.9	9.2	0.5	3.6	60.0	2.1	49.1
7	4.4	38.3	180.9	102	2.2	43	11.7	57	158	35.8	53.6	0.7	10.2	20.0	6.2	42.5
8	4.6	41.1	178.6	77.9	2.6	47	15.7	65	143	45.6	22.9	0.8	9.9	16.8	4.0	33.1
9	5.3	37.6	171.0	48.8	6.0	80	26.1	82	160	69.7	70.1	0.5	9.8	45.6	6.9	7.8
10	5.2	33.2	159.1	55.1	5.5	52	21.6	79	134	58.9	46.9	0.6	10.2	38.1	6.3	28.3
11	4.6	46.8	157.6	95.1	5.3	54	15.1	74	169	43.9	154.8	0.9	13.7	22.0	5.6	43.1
12	4.9	46.0	168.8	77.1	4.0	58	21.7	84	161	52.2	59.7	1.1	14.1	79.8	5.6	25.3

Fonte: Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, SP. *M.O = Matéria orgânica.

Tabela 3. Distribuição dos tratamentos quanto ao tipo de solo e adubação+irrigação.

Tratamento	Tipo de solo	Adubação+Irrigação
1	Neossolo Quartzarênico órtico	Mineral + AP
2	Latosolo Vermelho distrófico	
3	Nitossolo Vermelho distrófico	
4	Neossolo Quartzarênico órtico	Mineral + AR
5	Latosolo Vermelho distrófico	
6	Nitossolo Vermelho distrófico	
7	Neossolo Quartzarênico órtico	Orgânica + AP
8	Latosolo Vermelho distrófico	
9	Nitossolo Vermelho distrófico	
10	Neossolo Quartzarênico órtico	Orgânica + AR
11	Latosolo Vermelho distrófico	
12	Nitossolo Vermelho distrófico	

*AP – água potável; AR – água residuária

Anteriormente a área experimental recebeu doses aproximadas de 24 kg de (2009/2010) e de 10,0 kg (2010/2011) de lodo de esgoto compostado (base seca), baseadas na recomendação para o cultivo de laranjeiras conduzidas por Lambert (2013), nos tratamentos correspondentes as parcelas identificadas: 7-9 (AO+AP) e 10-12 (AO+AR), respectivamente. Os teores de metais pesados no solo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados médios de metais pesados no solo em cada tratamento no ano de 2016, na camada de 0-40cm. Botucatu, 2017.

Trat.	As	Ba	Cd	Pb	Cr	Hg	Ni	Se
----- mg kg ⁻¹ -----								
1	< 2,2	31.6	1.6	4.0	14.5	< 1,75	2.1	< 3,5
2	< 2,2	19.1	1.5	2.8	7.6	< 1,75	1.5	< 3,5
3	< 2,2	134.5	1.9	12.9	25.6	< 1,75	3.5	< 3,5
4	< 2,2	113.5	1.8	11.6	23.6	< 1,75	3.0	< 3,5
5	< 2,2	30.5	1.1	4.2	19.4	< 1,75	2.1	< 3,5
6	< 2,2	20.4	1.3	3.4	17.9	< 1,75	1.7	< 3,5
7	< 2,2	162.9	2.4	13.9	37.3	< 1,75	4.6	< 3,5
8	< 2,2	133.4	2.3	12.0	31.6	< 1,75	3.5	< 3,5
9	< 2,2	51.7	2.2	3.4	22.5	< 1,75	6.0	< 3,5
10	< 2,2	37.7	2.6	2.9	20.4	< 1,75	5.4	< 3,5
11	< 2,2	170.7	2.3	11.8	34.7	< 1,75	6.6	< 3,5
12	< 2,2	166.4	3.6	12.9	31.6	< 1,75	7.3	< 3,5
VMP ⁽¹⁾	35	300.0	3.0	180.0	150.0	12.0	70.0	-

⁽¹⁾VMP- Valores Máximos Permitidos segundo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente - Resolução CONAMA Nº420/2009, 28 de dezembro de 2009 – dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas.

O bio sólido procedente da estação de tratamento de esgoto - ETE do município de Jundiaí/SP foi submetido à análise para determinação dos parâmetros químicos, segundo metodologia descrita por Lanarv (1988). A quantidade de Lodo de esgoto compostado (LEC) aplicada foi contabilizada pela substituição total à adubação nitrogenada convencional para a cultura, conforme equação descrita:

$$N_{disponível} = N_{total} \times \left(\frac{FMN}{100} \right)$$

Onde:

N orgânico= Quantidade de N presente no LE;

FMN= Fator de mineralização

Para tanto, a dose calculada de biossólido destinada aos tratamentos foi baseada na taxa de mineralização de 30%, ajustada para regiões de clima tropical conforme Andrade (2010), na quantidade de Nitrogênio (N_{total}) presente no material orgânico e na dose recomendada de 60 kg de N ha^{-1} . Portanto, considerando que em 100 kg de lodo na base seca seriam fornecidos 1,3 kg de N (Tabela 5), a quantidade aplicada do composto foi de 0,9625 kg $vaso^{-1}$, incorporada ao solo no plantio em substituição ao N mineral.

Tabela 5. Características químicas do biossólido utilizado no experimento.

Parâmetros	Unidade ⁽¹⁾	Concentração	VMP ⁽²⁾		
			Brasil	Europa	EUA
pH	-	7,4	-	-	-
Umidade	%	35	-	-	-
Relação C/N	-	9	-	-	-
Matéria orgânica	%	22	-	-	-
Carbono orgânico	%	12	-	-	-
Nitrogênio	g kg^{-1}	13	-	-	-
Fósforo	g kg^{-1}	10	-	-	-
Potássio	g kg^{-1}	5	-	-	-
Cálcio	g kg^{-1}	13	-	-	-
Magnésio	g kg^{-1}	5	-	-	-
Enxofre	g kg^{-1}	5	-	-	-
Boro	mg kg^{-1}	64,0	-	-	-
Arsênio	mg kg^{-1}	2,1	41,0	-	75,0
Bário	mg kg^{-1}	225,6	1300,0	-	-
Cádmio	mg kg^{-1}	3,7	39,0	20 – 40	85,0
Chumbo	mg kg^{-1}	14,7	300,0	-	840,0
Cobre	mg kg^{-1}	100	1500,0	1000 - 1750	4300,0
Cobalto	mg kg^{-1}	2,6	-	-	-
Crômio	mg kg^{-1}	39,05	1000,0	-	3000,0
Ferro	mg kg^{-1}	1504	-	-	-
Manganês	mg kg^{-1}	316	-	-	-
Mercúrio	mg kg^{-1}	< 1,25	1,0	16 – 25	57,0
Molibdênio	mg kg^{-1}	1,8	50,0	-	75,0
Níquel	mg kg^{-1}	13,56	420,0	300 – 400	420,0
Selênio	mg kg^{-1}	< 2,5	100,0	-	100,0
Zinco	mg kg^{-1}	244	2800,0	2500-2400	7500,0

⁽¹⁾Resultados expressos com base em massa seca. ⁽²⁾VMP- Valores Máximos Permitidos. Brasil: concentração máxima admissível em lodo de esgoto e nos subprodutos de acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA (375/2006). Europa: Limitação dos valores de concentração de metais pesados em lodos utilizados para agricultura de acordo com o Conselho das Comunidades Europeias (86/278 / CEE). EUA: concentração máxima de metais pesados permitida em lodos de esgoto compostado de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, CFR Part 503, 1993). Botucatu, 2017.

A adubação nitrogenada mineral foi baseada na recomendação para a cultura (60 kg ha^{-1}), e distribuída de acordo com os tratamentos. Nas parcelas tratadas com adubação nitrogenada mineral foram aplicados 20 kg ha^{-1} de N na adubação de plantio e, 40 kg ha^{-1} de N em cobertura aos 45 dias após o plantio, utilizando-se ureia (RAIJ et al., 1997).

Por meio dos resultados obtidos não foi necessária adubação corretiva de fósforo. Entretanto, todas subparcelas independentemente dos tratamentos receberam adubações químicas complementares com sulfato de potássio ($00-00-52 + 45 \text{ SO}_4$) no plantio considerando 60 kg ha^{-1} de K_2O no plantio, sendo parcelado em duas aplicações apenas para a parcela caracterizada pelo tipo de solo: Neossolo Quartzarênico órtico, com 50% aplicado no plantio e 50% em cobertura aos 45 dias (RAIJ et al., 1997).

Aos 90 dias, foi realizada adubação complementar com sulfato de potássio em todas as subparcelas, fornecido via solo em duas aplicações equivalentes a recomendação de 60 kg ha^{-1} de K_2O , com intervalo de 20 dias (RAIJ et al., 1997) em razão das precipitações pluviométricas ocorridas durante o período experimental.

A irrigação foi realizada por gotejamento superficial, sendo as linhas laterais compostas por mangueiras de polietileno com $\varnothing 16 \text{ mm}$, utilizando dois gotejadores autocompensantes com vazão nominal de $4,0 \text{ L h}^{-1}$, por recipiente. Para tanto, foram instaladas duas unidades para controle da irrigação, a primeira contendo água de abastecimento urbano e a segunda com água residuária doméstica tratada.

O efluente tratado proveniente da estação de tratamento de esgotos - ETE pertencente à SABESP/ Botucatu-SP, foi fornecido semanalmente, e ao sair do reservatório foram coletadas amostras para serem analisados parâmetros de pH, condutividade elétrica, macro e micronutrientes, a fim de contabilizar a contribuição diária de nutrientes por meio da proporção contida no efluente e a lâmina diária aplicada.

A lâmina diária aplicada foi baseada na estimativa da evapotranspiração da cultura, obtida diariamente por meio do método do Tanque Classe A e corrigido pelo coeficiente de cultivo da cultura ($K_{C\text{batata-doce}}$), considerando 95% de eficiência do sistema, percentual obtido por testes realizados de acordo com metodologia proposta por Keller; Bliesner (1990). As equações utilizadas são descritas a seguir:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Onde:

(ET_o) - evapotranspiração calculada pela razão entre a evaporação do tanque Classe A (ECA) e o coeficiente do tanque (K_p), determinado pelo método de Snyder (1992);

(K_c) - coeficiente de cultivo, adotando-se valores específicos para cada estágio de cultivo da cultura; 0,5 na fase de estabelecimento, 1,15 no desenvolvimento vegetativo e 0,65 na maturação da batata-doce (ALLEN et al.,1998).

Assim, a lâmina de água a ser aplicada em cada unidade experimental foi determinada pela equação:

$$Lap = \frac{Etc \times A}{Ef}$$

Onde:

Lap = Lâmina a ser aplicada (mm);

ET_c = Evapotranspiração da cultura;

A = Área do vaso (m²);

Ef = Eficiência do sistema de irrigação (95%)

O tempo de irrigação foi calculado pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a vazão nominal do gotejador.

Os dados ambientais foram extraídos da estação meteorológica instalada a dez metros do local, registrados durante o período de condução do experimento (01 de dezembro de 2016 a 15 de maio de 2017) e estão apresentados na Figura 1.

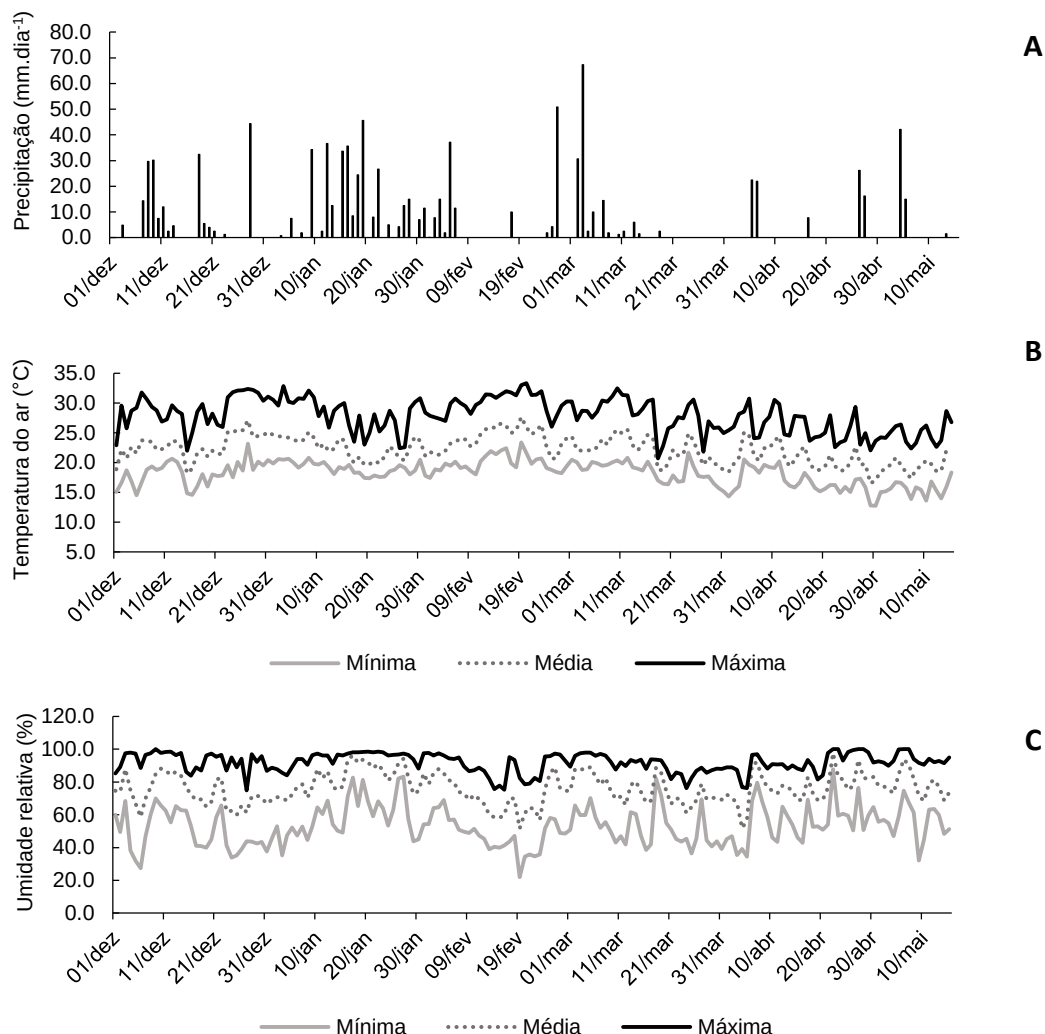


Figura 1. Dados ambientais de (A) precipitação pluvial diária; (B) temperatura do ar mínima, média e máxima e (C) umidade relativa do ar mínima, média e máxima registrados durante o período experimental. Botucatu, 2017. Elaboração: próprio autor

1.2.3. Parâmetros avaliados

As plantas de todas as parcelas úteis foram colhidas no dia 15/05/2017 (165 dias após o plantio), e encaminhadas ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, Botucatu-SP, para a realização das análises químicas em folhas e tubérculos.

1.2.3.1. Produtividade de matéria seca e acúmulo de nutrientes

As plantas colhidas foram inicialmente fracionadas em parte aérea (ramas e folhas) e raízes. Para eliminar impurezas indesejáveis, lavaram-se as amostras referentes a fração aérea com água corrente e água deionizada. Após a remoção do excesso de água, pesaram-se as amostras com auxílio de balança analítica, sendo

então inseridas em sacos de papel, identificadas e levadas à estufa de circulação forçada a 65°C até peso constante para determinação da produtividade de massa seca, conforme (MALAVOLTA, 1997). A produtividade de matéria seca na parte aérea foi obtida pela razão entre o peso de massa seca da parte aérea total de cada subparcela e a área do vaso (0,44126 m²), com os resultados expressos em kg ha⁻¹.

Para análise das tuberosas, as raízes após colhidas foram lavadas com água corrente e água deionizada, e separadas para obtenção de amostra representativa (raízes nos tamanhos: grande, médio e pequeno) de cada repetição. Em seguida, as amostras foram fatiadas, pesadas com auxílio de balança analítica e inseridas em sacos de papel devidamente identificados para secagem em estufa de circulação forçada a 105°C até peso constante, para inibir a ação da água no favorecimento do desenvolvimento microbiano e da atividade enzimática.

Após secagem, pesaram-se as amostras novamente para obtenção do peso da matéria seca. A produtividade de matéria seca nas raízes foi obtida pela razão entre o peso total de tuberosas colhidas em cada subparcela e a área do vaso (0,44126 m²), sendo os resultados expressos em kg ha⁻¹.

Posteriormente à secagem dos respectivos materiais, as amostras constituídas da parte aérea e raízes foram processadas separadamente em moinho tipo Willey, com peneira de 1mm, e encaminhadas para as determinações analíticas de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn e Zn) em ambos os materiais, e dos metais pesados (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se) apenas nas tuberosas.

Os métodos de digestão sulfúrica (N) e nitro-perclórica (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) foram utilizados para a obtenção do extrato. As determinações analíticas dos metais foram feitas por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivo (MALAVOLTA, 1997).

Obtiveram-se as quantidades acumuladas de cada mineral nas raízes e parte aérea por meio do produto entre o teor no tecido vegetal (%) e a produtividade de massa seca nos respectivos órgãos da planta (% x PMS), sendo os resultados apresentados em kg ha⁻¹ para macronutrientes, e g ha⁻¹ para micronutrientes.

1.2.4. Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de comparação de médias (Tukey a $p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no *software*

Minitab (2000) para os delineamentos em blocos casualizados (Experimento 1 e 2) e AgroEstat para os delineamentos em arranjo fatorial (Experimento 3).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1

A avaliação do comportamento da batata-doce cultivada sob adubação convencional em três classes texturais de solo, no acúmulo de nutrientes em folhas+ramas (parte aérea), e de nutrientes e metais pesados nas raízes, são apresentadas nas Tabelas 6, 7 e 8.

O rendimento máximo de MS na parte aérea atingiu valor máximo de 4177,7 kg ha⁻¹ em solo argiloso, mas não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 6).

Dentre os macronutrientes, apenas o teor de nitrogênio (N), potássio (K) e cálcio (Ca) foram influenciados pelo tipo de solo. Os resultados demonstram que o teor de N aumentou expressivamente até o valor máximo 24,1 g kg⁻¹ em solo argiloso e foi estatisticamente maior em relação aos demais tratamentos. Comportamento similar nos teores de Ca, com valor máximo de 10,7 g kg⁻¹ também em solo argiloso. A extração do K foi maior no solo de textura média com 28,7 g kg⁻¹.

Estes resultados eram esperados, uma vez que elementos positivamente carregados (NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺) são atraídos para as superfícies negativamente carregadas das argilas e tornam-se parcialmente protegidos da lixiviação que tende a ser maior em solos arenosos e de baixa CTC (BRADY; WEIL, 2013), o que proporcionou o maior aproveitamento pelas plantas nos tipos de solo citados. Portanto, quanto maior o teor de argila e mais alta for a CTC menores perdas por lixiviação de N e K, menor consumo de luxo do K pelas plantas e maior capacidade de armazenamento desses nutrientes no solo (MIELNICZUK, 1979).

As quantidades estimadas acumuladas foram de 100,6; 11,7; 91,49; 44,7; 11,3; 5,01 kg ha⁻¹ para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, em solo argiloso. Estes resultados são inferiores aos encontrados por Echer et al. (2009). Os autores reportaram valores acumulados de macronutrientes em folhas+ramas de 209,0; 33,0; 139,0; 137,0; 33,0 e 28,0 kg ha⁻¹ na mesma ordem citada, e 8390 kg ha⁻¹ de matéria seca, para atingir produtividade de 24 t ha⁻¹ de raízes da cultivar Canadense.

Os micronutrientes foram influenciados com maior intensidade em relação aos macronutrientes analisados. Diferenças significativas podem ser observadas para os

elementos Boro (B), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). No entanto, os resultados denotam que cada elemento se comportou de forma particular.

Os teores de B e Fe foram 25,42 e 12,84% maiores no solo de textura média, enquanto o acúmulo de Mn e Zn aumentou 36,97 54,77% em solo argiloso, em relação a menor média. A explicação advém da possibilidade de ocorrência natural destes elementos provenientes das rochas de origem.

Solos com elevado grau de intemperização são a principal fonte desses nutrientes (SILVA, 2009). A desintegração de rochas ígneas básicas (ABREU et al., 2007) e máficas (HUGEN et al., 2013) liberam Cobre (Cu) e o Ferro, que mais tarde farão parte da fração química do solo originado. O Manganês é decorrente de rochas basálticas e o Zinco de ígneas e sedimentares (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Fertilizantes e corretivos comerciais como o calcário utilizado no presente trabalho contém quantidades significativas de micronutrientes em sua composição (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2000). Provavelmente, as junções dos dois fatores citados contribuíram para estes resultados, uma vez que, não foram realizadas adubações com estes elementos.

Tabela 6. Teores médios de macro e micronutrientes em folhas+ramas de batata-doce sob adubação convencional e três tipos de solo. Botucatu, 2017.

Tratamentos	MS	Parte aérea										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
NQ	3815,0	16,1 b	3,3	27,6 a	9,8 b	2,7 a	1,0	25,3 ab	6,0	63,8 a	29,2 b	24,6 b
LV	4129,6	17,2 ab	3,2	28,7 a	10,2 ab	2,3 b	1,2	29,1 a	5,8	68,5 a	27,1 c	47,3 ab
NV	4177,7	24,1 a	2,8	21,9 b	10,7 a	2,7 a	1,2	21,7 b	5,5	59,7 b	43,0 a	54,4 a
		----- p -----										
Solos	0,741 ^{ns}	< 0,01	0,091 ^{ns}	< 0,01	< 0,05	< 0,01	0,44 ^{ns}	< 0,01	0,614 ^{ns}	< 0,01	< 0,01	< 0,05
C.V. (%)	17,36	5,55	8,79	7,65	7,42	4,12	7,77	8,1	11,9	3,76	13,5	9,42

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média); NV – Nitossolo Vermelho distrófico (textura argilosa). ^{ns} não significativo; (p < 0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p < 0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

O acúmulo de matéria seca nas raízes foi expressivamente maior em relação à parte aérea (Tabela 7), estes resultados demonstram que o material vegetal utilizado provavelmente possui tendência a incrementar na produção de raízes quando submetido a melhores condições nutricionais. O acúmulo máximo, conforme observado para a porção aérea da planta foi de 6631 kg ha⁻¹ em solo argiloso.

As médias demonstram diferenças significativas apenas para o acúmulo de Magnésio (Mg) e de Enxofre (S) entre os macronutrientes analisados. Para os micronutrientes, houve diferenças estatísticas entre todos os elementos constituintes. Médias superiores foram alcançadas em solo argiloso para as duas variáveis.

Portanto, as quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas raízes foram na ordem de 37,8; 11,3; 88,2; 17,9; 6,6; 4,4 kg ha⁻¹ e de 33,8; 22,0; 321,0; 79,6; 122 g ha⁻¹ para os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente).

As quantidades exportadas pelas raízes no presente trabalho são superiores aos reportados por Malavolta (1981), e inferiores aos encontrados por O'Sullivan (1997). Entretanto, ainda são imprecisas as informações sobre os teores ideais de macro e micronutrientes em raízes, uma vez que pode ser característica do genótipo utilizado ou das formas de manejo adotadas.

Desse modo, espera-se que o reflexo destes resultados possa ser visto na produção de componentes nutricionais que são importantes para a dieta alimentar humana e de animais, a exemplo do nitrogênio e do potássio na produção e formação de carboidratos, proteínas, açúcares e amido, sendo este assunto abordado nos capítulos 2 e 3, respectivamente.

Tabela 7. Teores médios de macro e micronutrientes em raízes de batata-doce sob adubação convencional e três tipos de solo. Botucatu, 2017.

Tratamentos	Raiz											
	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹				g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹		
NQ	6002,5	5,8	1,8	14,1	2,4	0,9 ab	0,68 a	6,0 ab	2,3 b	48,0 a	5,3 b	14,8 b
LV	5936,8	4,5	1,7	14,4	2,7	0,8 b	0,67 b	6,3 a	1,7 b	41,8 b	4,8 b	13,7 b
NV	6631,4	5,7	1,7	13,3	2,7	1,0 a	0,67 b	5,1 b	3,3 a	48,5 a	12,0 a	18,4 a
					p							
Solos	0,786 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,111 ^{ns}	0,112 ^{ns}	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
C.V. (%)	24,73	13,3	3,47	4,67	7,50	5,55	0,65	9,1	12,1	1,71	9,32	7,30

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média); NV – Nitossolo Vermelho distrófico (textura argilosa). ^{ns} não significativo; (p < 0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p < 0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação.

Quanto à biodisponibilidade dos metais pesados nas raízes (Tabela 8), as concentrações da maioria dos componentes foram indetectáveis, exceto para Bário (Ba) e Molibdênio (Mo). Houve diferenças significativas apenas para o teor de molibdênio, o qual demonstrou-se em maior disponibilidade nas tuberosas cultivadas em solo arenoso.

Os elementos detectados não são necessariamente considerados ameaça para a saúde humana, limites máximos não são estabelecidos pelos órgãos competentes, pois, a preocupação é voltada para elementos Chumbo (Pb), Cádmio (Cd) e Níquel (Ni) a partir de que as plantas que possam acumulá-los e apresentá-los à cadeia alimentar.

Os metais pesados podem ocorrer naturalmente no solo e em formas não prontamente disponíveis para as plantas sob concentrações muito baixas (RESENDE et al. 1997), em razão de serem componentes da rocha de origem.

A concentração na solução segundo McBride (1989), pode ser de 1 a 1000 $\mu\text{g dm}^{-3}$ ou ser inferior a 1 $\mu\text{g dm}^{-3}$ em alguns casos. Nestas circunstâncias, o elemento pode tornar-se ocluso no solo por adsorção, sobretudo na forma não permutável.

Portanto, é possível afirmar que os teores de metais pesados detectados no presente trabalho estão de acordo com os limites permitidos pela Lei Nº 9782/99 (ANVISA, 2013) e pela CXS 193-1995 proposta pela CODEX Alimentarius (FAO/OMS, 1995), ambas ainda em vigor.

Tabela 8. Teores médios de metais pesados em raízes de batata-doce sob adubação convencional e três tipos de solo. Botucatu, 2017.

Tratamentos	Raiz								
	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Mo	Ni	Pb	Se
	----- mg kg ⁻¹ -----								
NQ	< 5,8	1,8	< 0,15	< 0,6	< 5	3,7 a	< 0,65	< 5,0	< 10,0
LV	< 5,8	1,5	< 0,15	< 0,6	< 5	1,6 b	< 0,65	< 5,0	< 10,0
NV	< 5,8	3,5	< 0,15	< 0,6	< 5	3,1 b	< 0,65	< 5,0	< 10,0
	----- p -----								
Solos	-	0,313 ^{ns}	-	-	-	< 0,01	-	-	-
C.V. (%)	-	33,3	-	-	-	37,6	-	-	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média); NV – Nitossolo Vermelho distrófico (textura argilosa). ^{ns} não significativo; (p < 0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p < 0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

Diante dos resultados alcançados neste experimento, foi possível observar que a cultura obteve melhor desempenho na absorção de nutrientes e matéria seca em solo de textura argilosa, e foi semelhante entre os solos de textura arenosa e média com algumas diferenças.

Os experimentos 2 e 3 deste capítulo abordarão o comportamento da cultura sob diferentes práticas de adubação nos solos de textura argilosa (experimento 2) e entre os solos de texturas média e arenosa (Experimento 3), respectivamente.

Experimento 2

Comparando os resultados analíticos do bio-sólido utilizado no presente trabalho com os limites máximos de metais pesados permitidos pela resolução brasileira Nº375/CONAMA, pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, CFR Part 503, 1993) e pelo Conselho das Comunidades Europeias (86/278/CEE), os níveis detectáveis estão abaixo do permitidos pelas respectivas leis, portanto, o material apresenta boas características para o uso agrícola.

A Tabela 9 apresenta a contribuição média acumulada de nutrientes fornecidos por meio da irrigação com efluente doméstico tratado utilizado durante o experimento. Não foram quantificados os teores de Cu e Zn no efluente em razão da possível ausência dos elementos. Verificou-se que a utilização da água residuária doméstica tratada demonstrou maior eficiência no fornecimento de nitrogênio, potássio e cálcio o que pode fornecer subsídios para a produção da cultura.

A importância do fornecimento adequado de nitrogênio à batata-doce se deve ao desempenho do elemento nas funções fisiológicas essenciais executadas pela cultura, atuando na síntese de clorofila, consequentemente na eficiência fotossintética, que mediará na absorção de outros nutrientes, do desenvolvimento e na produção de fotoassimilados (NOGUEIRA et al., 2014). Semelhantemente, o potássio também está atribuído às múltiplas funções fisiológicas desempenhadas, especialmente nas reações de sínteses de fotossíntese e respiração, atividade estomática e transporte de carboidratos juntamente com o Boro (MOTA et al., 2016).

O provimento do cálcio para a planta de batata-doce atuará, sobretudo, nos processos de crescimento e desenvolvimento aéreo e radicular; a taxa de crescimento da cultura é apontada como indicadora do potencial de síntese e alocação de nutrientes nos órgãos vegetativos da cultura, refletindo em produtos de qualidade superior (LOPES et al., 2011; STRASSBURGER et al., 2011).

Tabela 9. Estimativa da contribuição diária de macro e micronutrientes acrescentados no ciclo da cultura da batata-doce via irrigação com efluente tratado. Botucatu, 2017.

EET										
Estádio de desenvolvimento	Período (dias)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn
		----- mg vaso ⁻¹ -----								
Plantio ao estabelecimento	0 – 30	1194	33,0	504	583	61,3	218	1,0	7,6	1,4
Crescimento vegetativo	31 – 60	1049	30,4	449	562	56,2	187	0,9	4,9	1,1
Maturação à colheita	61 -150	6082	175,9	1606	1258	325,9	386	5,4	28,2	6,5
Total		8326	239	2561	2404	443,4	792	7,4	40,7	9,0

*EET – Efluente doméstico tratado (AR)

O acúmulo de matéria seca respondeu significativamente às fontes de adubação empregadas, a média foi 36,58% superior com a adubação orgânica junto ao efluente tratado na irrigação. Analogamente houve expressivo incremento nos teores de nitrogênio e potássio (Tabela 10) para o mesmo tratamento em relação ao experimento 1, para o mesmo tipo de solo. Portanto, é possível que o aumento na relação N-K tenha contribuído para o aumento da matéria seca no tecido vegetal.

Corroborando com este trabalho, Marti; Mills (2002) observaram que o aumento nas doses de K₂O melhorou o aproveitamento de nitrogênio pela batata-doce, e a interação dos fatores resultou em incrementos na porcentagem de matéria seca nos diferentes órgãos da planta. Monteiro; Peressin (1997) obtiveram incrementos na produtividade da batata-doce ao adotar adubações combinadas de N e K, respectivamente.

Estes resultados reforçam os argumentos citados por Cantarella (2007), de que ambos são utilizados em altas proporções pelas culturas agrícolas e se relacionam de maneira benéfica, e o suprimento balanceado potencializa a absorção do outro.

Na Tabela 10, verifica-se que a maioria das médias dos macronutrientes em folhas+ramas se ajustaram aos valores relatados por Lorenzi et al. (1997), onde são considerados adequados à cultura, os teores de 33 - 45 g kg⁻¹, 2,3 - 5 g kg⁻¹, 31 - 45 g kg⁻¹, 7 - 12 g kg⁻¹, 3 - 12 g kg⁻¹ e 4 - 7,0 g kg⁻¹ para os elementos N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente.

As concentrações de N, P, K, Ca e Mg, denotaram diferenças estatísticas em função das fontes de fertilizante e tipos de água para irrigação utilizadas. As quantidades de fósforo (P) e cálcio (Ca) encontradas estão consideradas adequadas (LORENZI et al., 1997) em todos os tratamentos. O uso do efluente junto a utilização do fertilizante orgânico refletiu no aumento de 28,20 e 41,84% acumulado para P e Ca, em relação às menores médias.

Os nutrientes K e Mg exprimiram teores abaixo da faixa nutricional adequada apenas no tratamento representado pela testemunha (abaixo de 31,0 e 3,0 g kg⁻¹, respectivamente), as médias foram 47,23% e 44,89% superiores à testemunha com uso do efluente associado a adubação orgânica (AO+AR). O teor de N foi abaixo do recomendado em todos os tratamentos e não houve significância para o enxofre.

De forma geral, o uso do biossólido foi capaz de suprir nutricionalmente as exigências da batata-doce sobre a maioria dos macronutrientes observados (P, K, Ca e Mg) com valores coniventes aos recomendados por Lorenzi et al. (1997). Houve aumento nos teores foliares de N nos tratamentos que receberam efluente nas irrigações de manutenção diária, esse aumento torna-se evidente quando comparado as parcelas irrigadas com água de abastecimento. Todavia, todas as médias encontradas estão abaixo da recomendação nutricional. De qualquer forma, o uso do composto junto ao efluente expressou potencial no suprimento do nutriente.

As quantidades acumuladas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) foram de: 177,03; 25,67; 273,12; 121,09; 32,24 e 7,9 kg ha⁻¹. Observa-se que o potássio (K) foi o nutriente mais acumulado, seguido pelo nitrogênio (N) e cálcio (Ca). Estes resultados corroboram com os achados por Echer et al. (2009a) ao avaliarem as respostas da batata-doce na absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em diferentes órgãos da planta.

Quanto aos micronutrientes (Tabela 10), os teores foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn considerados adequados para a batata-doce são respectivamente 25 - 75 mg kg⁻¹, 10 - 20 mg kg⁻¹, 40 - 100 mg kg⁻¹, 40 - 250 mg kg⁻¹, 20 - 50 mg kg⁻¹ (LORENZI, 1997).

As concentrações do micronutriente boro (B) foram estatisticamente significativas e, em quase todos os tratamentos, ficaram dentro da faixa adequada (LORENZI et al., 1997), exceto para a testemunha que recebeu fertilizante mineral e água de abastecimento (AM+AP). Kummer (2013) encontrou resultados semelhantes quanto ao teor de B na soja tratada com efluente tratado (EET) e água potável

associados a doses crescentes de biossólido, e foi verificado aumento do elemento com as doses do composto, sobretudo quando irrigado com EET, com teores considerados adequados para a cultura.

Os teores foliares de Fe foram adequados em quase todos os tratamentos (LORENZI et al., 1997), exceto na adubação orgânica com água potável. Verificam-se valores decrescentes entre os tratamentos, sendo os menores teores detectados nas parcelas que receberam biossólido como substituição total da adubação nitrogenada para a batata-doce.

Não houve diferenças significativas para o Manganês e para o Cobre. As médias para o teor de Zinco não se diferiram significativamente, porém apresentou valores acima da faixa adequada para a cultura ($20\text{-}50\text{ mg kg}^{-1}$) (LORENZI et al., 1997) em todos os tratamentos analisados. Todavia, a concentração deste nutriente, mesmo acima do limite, não foi suficiente para causar quaisquer sintomas visuais de toxicidade.

Bradfield et al. (2017) estima que os efeitos adversos para o rendimento da batata-doce provavelmente ocorrerão apenas em concentrações que excedem $1000\text{ mg de Zn kg}^{-1}$. O excesso de Zn estudado por Zhao et al. (2015) na cultura do milho resultou na redução do número de espigas desenvolvidas. Portanto, estudos aprofundados são necessários para avaliar os possíveis riscos de altos teores do nutriente sobre a produtividade de raízes tuberosas.

Quanto aos micronutrientes, houve acúmulo na ordem de 277,7; 44,75; 289,57; 245,45 e 381,71 g ha⁻¹, para ara B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

No trigo, Lobo (2010) ao analisar doses crescente de biossólido no manejo nutricional da cultura observou que com o aumento das doses, os teores foliares de ferro (Fe) diminuíram. Lima (2015), no girassol em solo de textura média, observou que a taxa de zinco aumentou substancialmente com o uso do biossólido juntamente com a irrigação com o efluente, com teores acima da faixa recomendada para a cultura. O mesmo comportamento foi observado por Louzada (2016) em condições semelhantes na cultura do Crambe.

Tabela 10. Teores médios de macro e micronutrientes em folhas+ramas de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação. Botucatu, 2017.

Tratamentos	Parte aérea											
	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
AM + AP	4177,7 b	24,1 bc	2,8 c	21,9 c	10,7 b	2,7 c	1,2	21,7 c	5,5	59,7 a	43,0	54,4
AM + AR	5744,7 ab	21,6 c	3,3 b	33,3 b	11,7 b	3,3 c	1,2	27,3 b	6,0	57,0 a	38,8	46,5
AO + AP	6246,8 ab	26,6 ab	3,6 ab	38,4 a	11,5 b	4,0 b	1,1	40,8 a	5,8	31,7 c	34,5	58,5
AO + AR	6581,3 a	26,9 a	3,9 a	41,5 a	18,4 a	4,9 a	1,2	42,1 a	6,8	44,0 b	37,3	58,0
----- p -----												
Adubações	< 0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,510 ^{ns}	< 0,01	0,305 ^{ns}	< 0,01	0,179 ^{ns}	0,415 ^{ns}
C.V. (%)	16,74	4,98	5,21	4,93	8,71	7,07	5,03	3,39	15,2	5,17	12,9	19,8

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

As quantidades de macro e micronutrientes extraídos pelas raízes avaliadas neste trabalho são apresentadas na Tabela 11. Não houve efeitos significativos para o teor de matéria seca nas raízes.

As médias do nitrogênio (N) e do enxofre (S) apresentaram diferenças entre si. O acúmulo máximo para N ocorreu no tratamento que recebeu biossólido e efluente, enquanto que para o enxofre, a maior média alcançada ocorreu com o uso do composto. Não houve efeito dos fatores estudados sobre os teores P, K, Ca e Mg nas raízes de batata-doce produzidas.

Quanto à análise dos micronutrientes, apenas as médias dos elementos B, Cu e Fe foram significativas. Verificando o comportamento da cultura, os teores exportados da parte aérea para as raízes de B e Cu aumentaram em ambos os órgãos estudados quando a cultura recebeu adubação orgânica e efluente, enquanto que o Fe decresceu significativamente. No caso do Fe, o uso do material compostado provavelmente influenciou nas formas iônicas do elemento, tornando-se menos disponível para a planta, o que explica a menor disponibilidade nas plantas. Os argumentos para este comportamento são melhor discutidos nos resultados encontrados para a biodisponibilidade dos micronutrientes nas raízes tuberosas no experimento 3.

Diante das avaliações, as quantidades exportadas dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e acumuladas nas raízes foram de: 73,86; 13,95; 102,58; 21,34; 7,39 e 5,91 kg ha⁻¹. Quanto aos micronutrientes, o acúmulo foi na ordem de 41,85; 27,08; 285,60; 65,65 e 117,35 g ha⁻¹, para B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente.

Tabela 11. Teores médios de macro e micronutrientes em raízes de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação. Botucatu, 2017.

Raiz												
Tratamentos	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
AM + AP	6631,4	5,7 b	1,7	13,3	2,7	1,0	0,7 b	5,1 ab	2,8 b	48,5 a	12,0	18,4
AM + AR	6249,8	4,1 b	1,7	13,0	2,7	1,0	0,72 ab	3,7 b	4,6 a	40,7 b	9,3	13,6
AO + AP	7445,2	5,1 b	1,8	12,9	2,6	1,0	0,78 a	6,1 a	3,1 ab	38,6 bc	9,5	17,3
AO + AR	8206,7	9,0 a	1,7	12,5	2,6	0,9	0,72 ab	5,1 ab	3,3 a	34,8 c	8,0	14,3
----- p -----												
Adubações	0,541 ^{ns}	< 0,01	0,964 ^{ns}	0,810 ^{ns}	0,677 ^{ns}	0,783 ^{ns}	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01	0,126 ^{ns}	0,209 ^{ns}
C.V. (%)	27,94	13,90	8,12	9,33	7,83	12,80	2,63	10,90	18,60	6,05	21,80	16,90

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

Quanto à biodisponibilidade de metais pesados nas raízes de batata-doce avaliadas no presente trabalho (Tabela 12), as concentrações da maioria dos elementos estiveram abaixo do nível de detecção, exceto Ba e Mo, sendo verificada diferença significativa apenas para o primeiro, o qual teve maior disponibilidade nas raízes tuberosas cultivadas sob adubação mineral e água potável.

Os teores apresentados assim como no experimento 1, estão abaixo dos limites permitidos pela Lei Nº 9782/99 (ANVISA, 2013) e pela CXS 193-1995 proposta pela CODEX Alimentarius (FAO/OMS, 1995) ambas em vigor, sendo que os elementos considerados de extrema toxicidade são Cd, Pb e Níquel Ni.

Estes resultados são importantes uma vez que o excesso de metais pesados é tóxico para seres humanos, animais e plantas. De acordo com Chakrabarti, et al. (2005), altos níveis também prejudicam a microbiota do solo e estes elementos não são biodegradáveis, podendo levar décadas e até centenas de anos para que uma parte seja mitigada do ambiente.

O acúmulo de Cd nas plantas, por exemplo, pode desencadear uma série de distúrbios na célula vegetal, a princípio, alterando a ultraestrutura dos cloroplastos que levam a inativação de enzimas na fixação de CO₂, afetando a absorção de nutrientes, que posteriormente inibe o processo de fotossíntese, e induzindo a peroxidação lipídica e os mecanismos antioxidantes, que finalmente afetam o crescimento e o rendimento das plantas (GILL et al., 2011).

No caso do Chumbo, o excesso forma ligações entre o elemento e grupos sulfidrilos de proteínas, podendo perturbar o metabolismo e as atividades biológicas de muitas proteínas nos organismos, e causar distúrbios celulares (REHMAN et al., 2008).

Plantas tratadas com Ni apresentaram sintomas de murchamento conforme relatado por Pandey; Sharma (2002) sendo sugerido pelos autores que o acúmulo deste pode ativar espécies reativas de oxigênio que danificam o funcionamento da membrana celular, afetando o fluxo facilitado e o transporte a longa distância de água e nutrientes nas plantas.

Tabela 12. Teores médios de metais pesados em raízes de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação. Botucatu, 2017.

Tratamentos	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Mo	Ni	Pb	Se
----- mg kg ⁻¹ -----									
AM + AP	< 5,8	3,5 a	< 0,15	< 0,6	< 5	3,1	< 0,65	< 5,0	< 10,0
AM + AR	< 5,8	1,4 bc	< 0,15	< 0,6	< 5	1,5	< 0,65	< 5,0	< 10,0
AO + AP	< 5,8	1,9 b	< 0,15	< 0,6	< 5	1,5	< 0,65	< 5,0	< 10,0
AO + AR	< 5,8	1,1 c	< 0,15	< 0,6	< 5	1,5	< 0,65	< 5,0	< 10,0
----- p -----									
Adubações	-	< 0,01	-	-	-	0,091 ^{ns}	-	-	-
C.V. (%)	-	38,6	-	-	-	48,6	-	-	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p < 0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p < 0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

Neste experimento, a batata-doce respondeu com maior acúmulo de nutrientes e matéria seca quando utilizada a adubação orgânica associada à irrigação com o efluente tratado. A maioria dos macronutrientes em folhas+ramas estiveram dentro do recomendável, com exceção do nitrogênio e do enxofre. Quanto aos micronutrientes, apenas o manganês e o cobre estiveram abaixo do recomendável, e o zinco apresentou nível excessivo.

No experimento 3, será abordado o comportamento da cultura nos solos de textura média e arenosa em função das mesmas fontes de adubação utilizadas neste experimento.

Experimento 3

Os resultados das interações (Tabela 13) entre os fatores: adubações e tipos de solo, demonstram que as médias dos macronutrientes N, K e Mg em folhas+ramas da batata-doce, foram maiores com a adubação orgânica junto à irrigação com efluente tratado, com maior expressividade em solo textura média. Apesar disso, os teores de nitrogênio (N) foram inferiores a recomendação nutricional reportada por Lorenzi et al. (1997), o qual indica que o teor adequado é de 33 a 45 g kg⁻¹, no entanto, não foram detectadas deficiências visuais do nutriente.

O mesmo comportamento foi observado para os teores de K e Mg também em solo de textura média, porém as médias permaneceram na faixa considerada adequada independentemente do tipo de solo e fonte de adubação, exceto para as

testemunhas que apresentaram quantidades abaixo de 31 g kg^{-1} de K e de 3 g kg^{-1} de Mg (LORENZI et al., 1997), respectivamente.

De maneira geral, presume-se que o incremento de K tenha facilitado o aproveitamento do N pela planta, explicando a ausência de deficiências visuais. Os resultados também demonstram que além da adubação orgânica junto ao efluente proporcionarem maior disponibilidade destes elementos para a batata-doce, estes foram melhor aproveitados em solos mais estruturados. Isto pode ser claramente observado quando se compara os solos estudados neste experimento e o solo estudado no experimento 2.

O motivo pelo qual a cultura da batata-doce responde melhor a extração dos macronutrientes em textura média, neste experimento, reforçam os argumentos citados no experimento 2, enfatizando-se sobre a dinâmica de elementos positivamente carregados (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) serem atraídos para as superfícies negativamente carregadas das argilas e tornam-se parcialmente protegidos da lixiviação e conseqüentemente são melhor aproveitados (BRADY; WEIL, 2013).

Quanto aos teores de micronutrientes (Tabela 13) a interação entre os fatores, demonstra comportamentos isolados quando comparados as fontes de variação anteriormente analisadas. O Boro obteve seu valor máximo extraído com a adubação orgânica associada à irrigação com efluente no solo de textura média e menor teor obtido na testemunha ($29,1 \text{ mg kg}^{-1}$). O Ferro apresentou comportamento contrário, sendo a extração mínima observada no tratamento AO+AR, abaixo do teor ideal ($40 - 100 \text{ mg kg}^{-1}$) de acordo com Lorenzi et al. (1997), em ambas as texturas de solo.

O Mn apresentou quantidades abaixo da faixa nutricional ($< 40,0 \text{ mg kg}^{-1}$) recomendada por Lorenzi et al. (1997) em todos os tratamentos e em ambos os solos, sendo expressivamente inferior em solo de textura média.

Quanto ao Zn, a extração máxima do elemento ocorreu com a adubação orgânica no solo de textura arenosa sendo a mesma dentro da faixa adequada, enquanto no solo de textura média a máxima extração ocorreu com o uso do composto orgânico junto a água residuária, estando acima do recomendado ($20 - 50 \text{ mg kg}^{-1}$). Neste caso, para ambas as situações a adubação orgânica sem o uso do efluente pode ser melhor recomendada.

As razões que podem explicar a relação entre os micronutrientes e a batata-doce diante das adubações estudadas são argumentadas por Stevenson (1986), o qual afirma que os compostos orgânicos da matéria orgânica podem atuar como

quelatos sobre os micronutrientes catiônicos (Fe, Mn e Zn). Essa reação pode formar complexos organometálicos solúveis e insolúveis, direcionando a disponibilidade do elemento, mas o autor afirma que cada um pode se comportar de forma particular.

Tabela 13. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo nos teores médios de macro e micronutrientes em folhas+ramas de batata-doce. Botucatu, 2017.

Solo (S)														
Tratamentos	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV
Adubações (A)	N	N	K	K	Mg	Mg	B	B	Fe	Fe	Mn	Mn	Zn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹							
AM + AP	16,1 Ca	17,2 Da	27,6 ABb	28,7 Ba	2,7 Ba	2,3 Cb	25,3 Bb	29,1 Ba	63,8 Aa	68,5 Aa	29,2 ABa	27,1 Ab	24,6 Bb	47,3 Ba
AM + AR	16,6 BCb	19,7 Ca	26,6 Ba	31,1 Ba	2,8 Ba	3,0 Ba	25,4 Bb	30,5 Ba	62,6 Aa	60,8 Aa	28,7 Ba	19,0 Bb	24,7 Bb	42,3 Ca
AO + AP	18,5 Bb	23,1 Ba	32,5 ABa	34,5 ABa	4,2 Aa	4,6 Aa	33,3 Aa	32,1 Ba	62,0 Aa	45,5 Aa	33,2 Aa	17,3 BCb	35,6 Ab	44,7 BCa
AO + AR	28,3 Aa	26,2 Ab	33,0 Aa	38,5 Aa	4,0 Ab	4,9 Aa	33,7 Ab	43,2 Aa	29,5 Bb	31,0 Bb	32,5 ABa	14,5 Cb	33,7 Ab	54,8 Aa
	p													
Adubações (A)	< 0,01		< 0,05		< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01	
Solo (S)	< 0,01		< 0,01		< 0,05		< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01	
A x S	< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01	
C.V. (%)	5,57		9,95		6,75		7,47		24,04		7,96		5,09	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

As variáveis que não foram influenciadas pelas interações são apresentadas na Tabela 14. Não houve significância entre as médias de matéria seca. Os macronutrientes P, Ca e S extraídos apresentaram médias significativas apenas para as fontes de adubação utilizadas. Nota-se pelos resultados que teor do P em folhas e ramas da batata-doce cultivada no presente experimento estão de acordo com a recomendação proposta por Lorenzi et al. (1997), entre 2,3 - 5 g kg⁻¹, com maior média nos cultivos tratados com o composto orgânico junto ao efluente.

Comportamento semelhante pode ser observado para o Ca. As médias acumuladas estão dentro do ideal (7 - 12 g kg⁻¹) proposto por Lorenzi et al. (1997), e a resposta foi significativamente maior em plantas cultivadas com o fertilizante orgânico e irrigadas com o efluente. O enxofre obteve comportamento similar, sendo as taxas acumuladas abaixo do recomendado de 4 g kg⁻¹ de S (LORENZI et al. 1997) independentemente do tratamento.

Por fim, nota-se pelos resultados que não houve efeitos significativos para adubações e nem para a textura do solo na fonte de variação representada pelo micronutriente Cu, sendo os teores considerados baixos.

Tabela 14. Teores médios de macro e micronutrientes em folhas e ramas de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação e tipos de solo. Botucatu, 2017.

Adubações (A)	MS	P	Ca	S	Cu
	kg ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----			mg kg ⁻¹
AM + AP	3815,0	2,8 c	9,8 b	1,0 c	6,0
AM + AR	4515,5	2,7 c	9,98 ab	1,1 bc	5,4
AO + AP	4749,6	3,5 b	10,0 ab	1,2 ab	5,4
AO + AR	5376,2	4,2 a	10,6 a	1,3 a	5,5
Solo (S)					
NQ	4753,35	3,3	9,3	1,2	5,9
LV	4632,07	3,2	10,2	1,1	5,8
		----- p -----			
Adubações (A)	0,532 ^{ns}	< 0,01	< 0,05	< 0,01	0,412 ^{ns}
Solos (S)	0,842 ^{ns}	0,518 ^{ns}	0,293 ^{ns}	0,207 ^{ns}	0,794 ^{ns}
A x S	0,636 ^{ns}	0,052 ^{ns}	0,358 ^{ns}	0,344 ^{ns}	0,605 ^{ns}
C.V. (%)	31,15	6,77	8,77	9,13	12,09

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

O teor dos nutrientes exportados para as raízes é apresentado na Tabela 15. Houve efeito das fontes de adubação e da interação A x S sobre as quantidades dos macronutrientes acumulados na batata-doce. Nota-se pelos resultados que a concentração máxima de N na raiz ocorreu ao utilizar o tratamento AO+AR. A textura do solo não expressou efeitos significativos.

Quanto ao Mg, apenas a interação entre os fatores foi significativa. Os resultados gerais apontam que as adubações tiveram pouco efeito no acúmulo do nutriente nas raízes, o mesmo comportamento pode ser observado entre as texturas do solo, sem quaisquer diferenças entre as médias.

Os micronutrientes foram influenciados com maior intensidade pela interação. Verifica-se que as fontes de adubação denotaram efeitos sobre o Cu e o Fe, e as texturas do solo refletiram influências apenas no último elemento citado. O acúmulo de Fe foi expressivamente menor quando foi empregada a adubação orgânica, semelhante ao observado na parte aérea, com reduções de 57,08% e 42,43% em relação aos maiores teores observados na testemunha (AM+AP) em solo arenoso ($48,0 \text{ mg kg}^{-1}$), e quando empregada a irrigação com efluente (AM+AR) em solo de textura média ($47,6 \text{ mg kg}^{-1}$). Estes resultados referentes aos efeitos das texturas do solo sobre as fontes de adubação utilizadas demonstram que houve maior influência na concentração do ferro quando a batata-doce foi cultivada em solo de textura média.

O Cu obteve resposta isolada, apesar da contribuição do efluente, as menores taxas do elemento ocorreram no tratamento AM+AR, e as médias entre as demais fontes de adubação foram semelhantes e não foram influenciadas quando analisadas entre os tipos de solo.

Quanto ao acúmulo de Zn, o teor do elemento foi pouco influenciado pelos tratamentos adotados, com média estatisticamente inferior no tratamento AO+AP quando comparados os solos.

A dinâmica dos micronutrientes depende não só do pH, como do teor de argila e matéria orgânica. Adicionalmente, Fuentes et al. (2004) afirma que o processo de compostagem do biossólido ajuda a aumentar a estabilização e complexação de elementos metálicos na fase orgânica, pela formação de complexos estáveis entre metal e húmus. A explicação advém da reação alcalina da compostagem que modifica a forma iônica do elemento que poderá resultar em compostos menos disponíveis para as plantas.

Tabela 15. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo nos teores médios de macro e micronutrientes em raízes de batata-doce. Botucatu, 2017.

Solo (S)										
Tratamentos	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV
Adubações (A)	N	N	Mg	Mg	Cu	Cu	Fe	Fe	Zn	Zn
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹					
AM + AP	4,2 Ba	4,1 Ab	0,8 Ba	0,9 Aa	2,2 Aa	1,7 Ba	48,0 Aa	41,8 Bb	14,7 Aa	13,0 Aa
AM + AR	4,7 Ba	4,5 Aa	0,83 ABa	0,9 Aa	1,0 Ba	1,2 Ba	40,0 Bb	47,6 Aa	15,0 Aa	13,7 Aa
AO + AP	4,8 ABa	4,5 Aa	0,83 ABa	0,9 Aa	2,5 Aa	2,2 Aa	21,3 Cb	27,4 Ca	11,8 Ab	15,8 Aa
AO + AR	5,8 Aa	4,9 Aa	0,9 Aa	0,9 Aa	2,4 Aa	1,8 Bb	20,6 Cb	30,5 Ca	14,8 Aa	15,3 Aa
	p									
Adubações (A)	< 0,05		0,241 ^{ns}		< 0,01		< 0,01		0,583 ^{ns}	
Solos (S)	0,056 ^{ns}		0,213 ^{ns}		0,064 ^{ns}		< 0,01		0,614 ^{ns}	
A x S	< 0,05		< 0,05		< 0,01		< 0,01		< 0,05	
C.V. (%)	11,59		6,43		27,08		7,32		13,77	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

Na Tabela 16 estão os teores médios dos nutrientes nas raízes que não apresentaram interação significativa, sendo observados efeitos isolados dos tratamentos referentes às adubações e aos tipos de solo utilizados neste experimento. Verifica-se que não houve diferenças significativas para o macronutriente Ca tanto quanto para o micronutriente B.

A textura do solo não aferiu efeitos significativos sobre a maioria dos macronutrientes com exceção do P. A taxa de translocação do elemento da parte aérea para as raízes ocorreu com maior intensidade quando a batata-doce foi cultivada em solo arenoso. Esse resultado era esperado uma vez que o P é um dos nutrientes que tem maior variação na fração extraída pela influência do tipo de solo, sobretudo nos argilosos, onde a extração é menor devido a adsorção às partículas coloidais (O'SULLIVAN et al., 1997), isso explica porque os maiores teores do elemento foram encontrados tanto na parte aérea quanto nas raízes em solo arenoso (Tabela 16).

O K foi um dos elementos armazenados em maior quantidade pela cultura, com maior média expressa na parcela tratada com a fonte AO+AR, sendo semelhante ao observado na parte aérea. O Enxofre obteve comportamento semelhante, porém se mostrou como um dos elementos acumulados em menor quantidade.

A exigência do K pela batata-doce é atribuída à essencialidade do elemento para a planta que pode participar de funções físico-químicas que resultarão no comprimento radicular, densidade e qualidade de amido (WANG; CHEN, 2012; WANG et al., 2015).

Tabela 16. Teores médios de macro e micronutrientes em raízes de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação e tipos de solo. Botucatu, 2017.

Adubações (A)	MS	P	K	Ca	S	B	Mn
	kg ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----	
AM + AP	5508,33 b	1,5 b	12,5 b	2,6	0,67 b	6,2	5,0 b
AM + AR	7584,10 ab	1,6 ab	12,45 b	2,5	0,68 ab	5,6	5,37 ab
AO + AP	6496,06 ab	1,7 a	12,9 ab	2,5	0,69 ab	6,2	6,7 a
AO + AR	8381,41 a	1,7 a	14,3 a	2,6	0,70 a	4,8	5,37 ab
Solo (S)							
NQ	7469,76	1,7 a	13,3	2,5	0,68	5,6	6,3 a
LV	6515,18	1,63 b	12,8	2,6	0,69	5,7	5,0 b
----- p -----							
Adubações (A)	< 0,05	< 0,01	< 0,05	0,878 ^{ns}	< 0,05	0,077 ^{ns}	< 0,05
Solos (S)	0,115 ^{ns}	< 0,05	0,212 ^{ns}	0,283 ^{ns}	0,428 ^{ns}	0,759 ^{ns}	< 0,01
A x S	0,742 ^{ns}	0,973 ^{ns}	0,371 ^{ns}	0,078 ^{ns}	0,346 ^{ns}	0,848 ^{ns}	0,157 ^{ns}
C.V. (%)	19,87	6,77	8,44	7,54	2,54	20,28	18,50

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação.

A análise referente à concentração de elementos inorgânicos nas raízes é apresentada na Tabela 17. Os resultados demonstram que as médias de ambos os metais detectados foram influenciadas pela interação dos fatores e, pelas fontes de adubação utilizadas. A textura do solo denotou efeito apenas na concentração do molibdênio.

O molibdênio é o elemento menos abundante dos micronutrientes nos tecidos vegetais, portanto, é imprescindível o monitoramento deste nutriente, uma vez que em importantes reações redox de atividades enzimáticas, a exemplo das enzimas envolvidas nos processos da redutase do nitrato, xantina desidrogenase, sulfite oxidase e aldeído oxidase (KAISER et al. 2005). Assim, como os resultados observados neste trabalho, Antonius et al. (2011) alcançou maiores incrementos de molibdênio em plantas de batata-doce cultivadas sob condições semelhantes a este experimento, e não detectou Cádmio nas raízes tuberosas.

Assim, como nos experimentos 1 e 2, a maioria dos metais pesados foi indetectável pelo método analítico utilizado. Os elementos citados na Tabela 16 não possuem limites restritivos pelas legislações brasileira e internacional que regem as leis Nº 9782/99 (ANVISA, 2013) e CXS 193-1995 proposta pela CODEX Alimentarius (FAO/OMS, 1995) ainda em vigor, em raízes e tubérculos destinados ao consumo humano.

Apesar dos resultados da análise do composto apresentar teores dos elementos metálicos (Tabela 17), um dos motivos que pode ter contribuído para a ausência no material vegetal pode ser atribuído à barreira física exercida pela casca da túbera. De acordo com Artschwager (1924), a casca é composta por células que na fase madura tornam-se parcialmente lignificadas, exercendo um mecanismo de proteção à penetração de metais pesados.

Estudos recentes realizados em vegetais com características semelhantes a batata-doce, como o rabanete e a cenoura, sobre a resistência à entrada de metais Ebbs et al., (2016a) e Zhang et al. (2015) propõem que a casca pode atuar como barreira na restrição da transferência radial do metal no solo para a parte interna da raiz. O estudo da composição da casca não foi realizado no presente trabalho.

Portanto, a explicação mais plausível é que a biodisponibilidade dos metais pesados tenha sido afetada pelo teor de argila dos solos estudados e da matéria orgânica existente no material. Segundo Pan; Xing (2012), além das características físico-químicas do solo, a disponibilidade de metais às plantas depende da natureza

da associação química entre o metal com a matéria orgânica existente no composto orgânico.

Essas associações, consoante a Violante et al. (2010), são dependentes de reações químicas entre pH e interações biológicas com ligantes inorgânicos e orgânicos como ácidos húmicos, fúlvicos e exsudatos radiculares. A existência de grupos funcionais como os carboxílicos e fenólicos realizam de fato as interações matéria orgânica-metal e, portanto, fazendo da matéria orgânica um multiligante natural (SMITH, 2009).

Tabela 17. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo nos teores médios de metais pesados em raízes de batata-doce. Botucatu, 2017.

Solo (S)				
Tratamentos	NQ	LV	NQ	LV
Adubações (A)	Ba	Ba	Mo	Mo
	----- mg kg ⁻¹ -----			
AM + AP	1,8 Aa	1,5 Ba	3,7 Aa	1,6 Ab
AM + AR	0,7 Aa	0,9 Ba	4,7 Aa	1,9 Ab
AO + AP	2,1 Ab	5,8 Aa	1,5 Ba	1,5 Aa
AO + AR	2,1 Aa	0,3 Bb	1,5 Ba	1,5 Aa
	----- p -----			
Adubações (A)	< 0,01		< 0,01	
Solos (S)	0,322 ^{ns}		< 0,01	
T x S	< 0,01		< 0,01	
C.V. (%)	62,24		24,29	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: 1 – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); 2 – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

1.4. CONCLUSÕES

O cultivo em solo argiloso sob adubação convencional atribui melhor aproveitamento na extração dos nutrientes e produção de matéria seca.

O desempenho da batata-doce na absorção de nutrientes aumenta com a adubação orgânica. A batata-doce obteve melhores respostas sob cultivo em solo argiloso.

A irrigação com água residuária junto com o composto aumentou os teores de N, P, K, Ca e Mg, e diminui os teores de Fe.

O teor de Zn aumenta significativamente na adubação com biossólido e água residuária.

O composto utilizado é fonte de nutrientes essenciais para a cultura da batata-doce. As concentrações de metais pesados detectadas foram abaixo dos limites permitidos e atribuem potencial para uso agrícola na cultura da batata-doce. As concentrações de Ba e Mo foram significativas, contudo, sem sinais de toxidez.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO. **Irrigation and drainage paper**, v. 56, 301p., 1998.
- ABREU, C. A. de; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa-MG, **Sociedade Brasileira de ciência do solo**, 2007.
- ADAMCOVÁ, D.; VAVERKOVÁ, M.D.; BŘOUŠKOVÁ, E. The toxicity of two types of sewage sludge from wastewater treatment plant for plants. **J. Ecol. Eng.**, v. 17, p. 33-37, 2016.
- ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, R.C.; PIRES, A.M.M. Nitrogênio presente em lodo de esgoto e a resolução n. 375 do Conama In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: Avaliação após a resolução nº 375 do Conama**. Botucatu: Editora FEPAF, 2010. p. 157-170.
- ANTONIOUS, G.F., Impact of soil management and two botanical insecticides on urease and invertase activity. **Journal of Environmental Science and Health**. v. 38, p. 479-488, 2003.
- ANTONIOUS, G.; J. SNYDER. Accumulation of heavy metals in plants and potential phytoremediation of lead by potato, *Solanum tuberosum* L. **Journal Environ. Sci Health.**, v. 42, p. 811–816, 2009.
- ANTONIOUS, G., et al. Heavy metals uptake in plant parts of sweet potato grown in soil fertilized with municipal sewage sludge. **Int. J. Geol.**, v. 5, p. 14-20, 2011.
- ARTSCHWAGER, E. On the anatomy of the sweet potato root with notes on internal breakdown. J. Agric. Res. 27.p, 1924.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Versão 1.0. Jaboticabal: Unesp, 2010.
- BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso do lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R. (Org.). **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA**. 21. ed. Botucatu: FEPAF, 2010. Cap. 2. p. 31-50.

BOSE, S. et al. Solid-melt-fluid interaction during reworking of the lower crust: evidence from the Eastern Ghats Belt, India. **Annual Meeting of the Geological Society of Japan**. Sapporo, Japan. p. 171, 2009.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Nutrient cycles and soil fertility**. In: Elements of the nature and properties of soils. New York: Macmillan, 2013. Cap. 12. P. 437-499.

BRADFELD, S. J. et al. Zinc, copper, or cerium accumulation from metal oxide nanoparticles or ions in sweet potato: Yield effects and projected dietary intake from consumption. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 110, p. 128-137, 2017.

BRASIL - **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**. Resolução - rdc nº 42, de 29 de agosto de 2013 - Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0042_29_08_2013.html> Acesso em: 12. Nov. 2017.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 376-470.

CHAKRABARTI, K.; BHATTACHARYYA, P.; CHAKRABORTY, A. Effects of metal-contaminated organic wastes on microbial biomass and activities: A review. In: AHMED, I., HAYAT, S., PICHTEL, J., (eds). **Heavy Metal Contamination of Soil**. Science Publishers, Plymouth, UK, 2005; p 195–204.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução n.º 375**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências, Brasília, DF, 2006. p. 141-146. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>> . Acessado em: 10 agosto 2017.

CXS (2017) Codex general standard for contaminants and toxins in food and feed. Codex Standard 193–1995. Revision 1997, 2006, 2008, 2009. Amendment in 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017.

DECHEN A. R.; NACHTIGALL G. R. **Elementos requeridos à nutrição de plantas**. In: NOVAIS R. F. et al. (eds). Fertilidade do Solo. Viçosa: SBCS/UFV, Cap. 3, 1017 p. 2007.

EBBS, S.D. et al. Accumulation of zinc, copper, or cerium in carrot (*Daucus carota*) exposed to metal oxide nanoparticles and metal ions. **Environ. Sci.**, v. 3, p. 114-126, 2016a.

ECHER, F.R. et al. Fertilização de cobertura com boro e potássio na nutrição e produtividade da batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v 27, p. 171-175, 2009.

ECHER, F. R.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 176-182, 2009a.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2006. 306 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, **Food and Agricultural Statistical Database**. Rome, Italy. 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 04 out. 2017.

FUENTES, A. et al. Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilised sewage sludges. **Journal of Hazardous Materials**, v.108, p.161-169, 2004.

GICHUHI, P. N.; KPOMBLEKOU-A. K; BOVELL-BENJAMIN, A. C. Nutritional and physical properties of organic Beauregard sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.)] as influenced by broiler litter application rate. **Food Science & Nutrition**, v. 2(4), p. 332–340, 2014.

GILL, S.S; KHAN, N.A., TUTEJA, N. Differential cadmium stress tolerance in five Indian mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars: an evaluation of the role of antioxidant machinery. **Plant Signal Behavior**, v. 6, p. 293–300, 2011.

HUGEN, C.; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A. de; FERREIRA, E. R. N. C.; POZZAN, M. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 622-628, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal: **informações sobre culturas temporárias. [Batata-doce]**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612#resultado>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. 4a ed., Boca Raton, CRC Press, 2000. 331p.

KAISER, B.N., K.L. GRIDLEY, AND B. NGAIRE. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of botany**. v. 96, p. 745, 2005.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649p.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. **Handbuch der Klimatologie**, v.1, Part C (W. Köppen & R. Geiger, eds.). Gerbrüder Bornträger, Berlin, p. C1-C44, 1936.

KUMMER, A. C. B. **Efeito de efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto compostado no solo e nas culturas de trigo e soja**. 2013. 178 f. Tese (Doutorado)

- Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

LANARV. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de Corretivos Fertilizantes e Inoculantes – Métodos Oficiais**. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Ministério da Agricultura. Brasília, 104p., 1988.

LAMBERT, R. A. **Eficiência do uso da água residuária e do lodo de Esgoto compostado nas propriedades químicas e físicas De solo cultivados com laranjeiras**. 2013. 198 f. Tese (Doutorado) - Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

LIMA, R. A. S. **Utilização de resíduos de tratamento de esgoto como suprimento hídrico e nutricional na cultura do girassol**. 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

LLORET, E., et al. Sewage sludge addition modifies soil microbial communities and plant performance depending on the sludge stabilization process. **Appl. Soil Ecol**, v. 101, p. 37-46, 2016.

LOBO, T. F. **Manejo de lodo de esgoto em rotações de cultura no sistema de plantio direto**. 2010. 198 f. Tese (Doutorado) - Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; DOMBROSKI, J. L. D.; RODRIGUES, G. S. O.; SOARES, A. M.; ARAÚJO, A. P. Análise do crescimento de tomate 'SM-16' cultivado sob diferentes coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 554 - 561, 2011.

LORENZI, J. O. et al. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C., (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p.221-229. (**Boletim Técnico, 100**).

LOUZADA, I. S. B. **Aplicação da água residuária tratada e de adubação com lodo de esgoto na cultura do crambe**. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 317p.

MARTI, H. R.; MILLS, H. A. Nitrogen and potassium nutrition affect yield, dry weight partitioning, and nutrient-use efficiency of sweet potato. **Communication Soil Science And Plant Analysis**, v. 33, n. 1-2, p. 287-301, 2002.

McBRIDE, M.B. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. **Adv. Soil Sci.**, v. 10, p. 1-56, 1989.

MIELNICZUK, J.; SELBACH, P. **Capacidade de suprimento Solo**, 2:115-120, 1979.

MINITAB, INC. **Minitab Reference Manual (release 13.0)**, Minitab Inc. State Coll. P.A., 2000, USA.

MONTEIRO, D. A.; PERESSIN, V. A. Batata-doce e cará. In: RAIJ, B. van. et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p. (**IAC. Boletim técnico, 100**).

MOTA, J. H. et al. **Nutrição e Adubação da Cultura da Batata-Doce**. In: PRADO, R. de M.; CÉCILIO FILHO, A. B. (eds). **Nutrição e Adubação de Hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPEL, 2016. 600 p.

NOGUEIRA, F. P. et al. Crescimento e Marcha de Absorção de Nutrientes da Melancia Fertirrigada com Diferentes Doses de N e K. **Revista Verde**, Pombal, v. 9., n. 3, p. 35 - 42, 2014.

O'SULLIVAN, J. N.; ASHER, C. J.; BLAMEY, F. P. C. Nutrient disorders of sweet potato. Canberra: **Australian Center of International Agricultural Research**, 1997. 136p.

PADDA, M.S.; PICHA, D.H. Phenolic composition and antioxidante capacity of different heat-processed forms of sweetpotato cv.'Beauregard'. **International Journal of Food Science & Technology**. v. 43, p. 1404-1409, 2008.

PAN, B.; XING, B. Applications and implications of manufactured nanoparticles in soils: a review. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 63, p. 437-456, 2012.

Pandey, N.; Sharma, C.P. Effect of heavy metals Co^{2+} , Ni^{2+} , and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. **Plant Science**, v. 163, p. 753–758, 2002.

PASSUELLO, A.; CADIACH, O.; PEREZ, Y.; SCHUHMACHER, M. A spatial multicriteria decision making tool to define the best agricultural areas for sewage sludge amendment. **Environ. Int.** v. 38, p. 1-9, 2012.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: instituto agrônomo/ fundação IAC. 1997. 285p

RAIJ, B. Van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas instituto agrônomo, 2001. 285p.

RESENDE, M.; CURI, N. RESENDE, S.B.; CORREIA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 2. ed., Viçosa, NEPUT, 1997. 367p.

REHMAN, A.; SHAKOORI, F.R.; SHAKOORI, A.R. Heavy metal resistant freshwater ciliate, *Euplotes mutabilis* isolated from industrial effluents. **Bioresource Technol.**, v. 99, p. 3890–3895, 2008.

SANTOS, C. M.; ESCOBEDO, J. F., (2016). Temporal variability of atmospheric turbidity and DNI attenuation in the sugarcane region, Botucatu/SP. **Atmospheric Research**, v.181, p. 312–321, 2016.

SILVA, J. B. da. **Micronutrientes em perfis de solos do Escudo Sul-riograndense**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, 2009.

SMITH, S. R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. **Environment International**, v.35, p.142- 156, 2009.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE**, New York, v. 118, n. 6, 1992, p. 977-980.

STEVENSON, E. J. **Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, and Micronutrients** (New York: Wiley). 1986.

STRASSBURGER, A. S. et al. Dinâmica de crescimento da abobrinha italiana em duas estações de cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 283 - 289, 2011.

THE COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **Directive - Uses of sewage sludge in agriculture - 86/278/CEE**, June, 1986. Disponível em: < <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=PT>>. Acessado em: 12 nov. 2017.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). 40CFR Part 503 - **Standards for use and disposal of sewage sludge** : final rules. Federal Register 58: 9248-9415, 1993. Disponível em: <<http://www2.epa.gov/biosolids/biosolids-laws-and-regulations>>. Acessado em: 29. Nov. 2017.

VIOLANTE, A. et al. Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.10, p.268-292, 2010.

WANG, L.; CHEN, F. Genotypic variation of potassium uptake and use efficiency in cotton (*Gossypium hirsutum*). **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v. 175, p. 303–308, 2012.

WANG, J. D. et al. Intraspecific variation in potassium uptake and utilization among sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes. **Field Crops Research**, v. 170, p. 76–82, 2015.

ZHANG, W. et al. Uptake and accumulation of bulk and nano-sized cerium oxide particles and ionic cerium by radish (*Raphanus sativus* L.). **J. Agric. Food Chem.** v. 63, p. 382-390, 2015.

ZHAO, L. et al. Monitoring the environmental effects of CeO₂ and ZnO nanoparticles through the life cycle of corn (*Zea mays*) plants and in situ m-XRF mapping of nutrients in kernels. **Environ. Sci. Technol.**, v. 49, p. 2921-2928, 2015.

CAPÍTULO 2

PRODUTIVIDADE E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RAÍZES DE BATATA-DOCE EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO E TEXTURA DO SOLO

Dávilla Alessandra da Silva Alves¹, Magali Leonel², Hélio Grassi Filho³

RESUMO

Apesar das recomendações de nutrição para o cultivo da batata-doce existentes, ainda são poucos os estudos que abordam os efeitos da adubação orgânica tendo em vista o aprimoramento da produção e qualidade das raízes. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o rendimento e a qualidade físico-química de raízes de batata-doce cultivada em solos de diferentes classes texturais e de fontes de adubações no plantio e em cobertura. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram caracterizados pelo tipo de adubação: AM-mineral (com fertilizante convencional) e AO-orgânica (com lodo de esgoto compostado) em função de dois tipos de água para irrigação (AP- Água Potável e AR- Água Residuária - doméstica de tratamento de esgoto) na batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) var. Brazlândia Roxa cultivada em três tipos de solo: Neossolo Quartzarênico órtico, Latossolo Vermelho distrófico típico textura média e Nitossolo Vermelho distrófico típico argiloso, avaliados em dois experimentos. As raízes foram separadas da planta e determinou-se a produtividade total e comercial de raízes, incidência de defeituosas e caracterização físico-química. Diante dos resultados, conclui-se que a batata-doce obteve melhor desempenho na produção de raízes de peso maior em solo argiloso e textura média, sob adubação convencional. A batata-doce respondeu melhor a adubação AO+AR em solo argiloso.

Palavras-chave: Biossólido. Água residuária. Rendimento agrícola.

PRODUCTIVITY AND PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF SWEET POTATO ROOTS IN THE FUNCTION OF FERTILIZATION AND SOIL TEXTURE

ABSTRACT

Despite the nutrition recommendations for existing sweet potato cultivation, there are still few studies that address the effects of organic fertilization in order to improve root production and quality. Thus, the objective of this work was to evaluate the yield and physicochemical quality of roots of sweet potato cultivated in soils of different texture classes and fertilization sources in planting and cover. The experimental design was a randomized complete block design with four replicates. The treatments were characterized by the type of fertilization: AM-mineral (with conventional fertilizer) and AO-organic (with composted sewage sludge) as a function of two types of water for irrigation (AP- Potable Water and AR- Sewage treatment) in sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) var. BRS Roxa cultivated in three types of soil: Orthodox Quartzarenic orthosols Neosol, Typic dystrophic red Latosol medium texture and typical clayey dystrophic Red Nitosol, evaluated in two experiments. The roots were separated from the plant and the total and commercial roots productivity, incidence of defects and physical-chemical characterization were determined. In view of the results, it can be concluded that sweet potato obtained better performance in the production of roots of greater weight in clay soil and average texture, under conventional fertilization. Sweet potatoes responded better to AO + AR fertilization in clay soil.

Keywords: Biosolids. Wastewater. Agricultural yield.

2.1. INTRODUÇÃO

O cultivo de tuberosas, especialmente a batata-doce, é realizado sob a recomendação de se plantar em solos de estrutura leve para favorecer o desenvolvimento das túberas e os procedimentos inerentes à colheita, uma vez que, facilita a retirada do produto, evitando possíveis danos físicos e a consequente depreciação no mercado.

O argumento quanto ao tipo de solo ideal se baseia na sensibilidade de culturas produtoras de raízes ou tubérculos comerciais à solos sujeitos a compactação e à inundação como verificado em trabalhos com batata inglesa (FONTES et al. 2007) e mandioca (OTSUBO et al. 2012).

Nos tempos atuais, já são disponíveis técnicas que podem ser adaptadas ao cultivo, desde preparo do solo (CARTER et al., 2009; GORDON et al., 2011) como técnicas de menor revolvimento sob a prática do cultivo mínimo conforme realizado por Rós (2017) tornando válidas as possibilidades de promover mudanças nos sistemas de cultivo inerentes quanto a textura.

Por outro lado, a ausência de um programa de nutrição mineral objetivando o aumento do rendimento agrícola da batata-doce é apontado como uma das causas responsáveis pelas baixas produtividades ainda reportadas. Esse fato é argumentado por Santos et al. (2006) como o reflexo da ausência de técnicas adequadas, especialmente voltadas às adubações mineral e orgânica. Consoante a Chaves; Pereira (1985), a nutrição exígua é capaz de motivar o retardamento no crescimento da planta e a abscisão das folhas, modificando a textura e firmeza das tuberosas, uma vez que, características importantes de armazenamento são afetadas, refletindo no acúmulo de amido e carboidratos; e na produção de raízes pequenas e com baixa aceitação comercial (MONTEIRO et al., 1997).

Desse modo, a validação de recomendações evitando-se a escassez ou o excesso de nutrientes são fundamentais quando se pretende produções agrícolas maiores e sustentáveis (FAGERIA; BALIGAR, 2005). De acordo com Filgueira (2000), quando os nutrientes são fornecidos corretamente, os nutrientes podem incitar boas respostas na batata-doce, seja proveniente de fontes minerais ou orgânicas.

Nesse sentido, RÓS et al. (2014) por meio da adubação orgânica com esterco de aviário obteve incrementos na produtividade, assim como Ferreira (2017) que alcançou maior acúmulo de nutrientes e matéria seca no manejo de macronutrientes da cultura. Analogamente, Adbede (2010) sob adubações combinadas com esterco de avicultura e NPK mineral, verificou aumento nos teores permutáveis de K, Ca e Mg no solo bem como as concentrações foliares N, P, K, Ca e Mg; e Antonius et al. (2011) aumentaram não só a produção de batata-doce, mas os teores de ácido ascórbico, açúcares solúveis e fenóis em raízes comestíveis em 53, 28, 27 e 48%, respectivamente, e de β -caroteno, utilizando lodo de esgoto compostado na adubação orgânica.

Entretanto, apesar das tecnologias disponíveis nos sistemas agrícolas, ainda são poucos os trabalhos que buscam avaliar o comportamento da produção da batata-doce consoante ao tipo de solo, associando técnicas de adubação, uma vez que, por se tratar de uma espécie rústica, de alto rendimento e baixo custo de

produção, o produtor teria a possibilidade de aderir a diferentes sistemas de cultivo e aumentar a receita.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o rendimento e a qualidade de componentes nutricionais de raízes de batata-doce cultivadas em solos de diferentes classes texturais e fontes de adubações suplementares no plantio e em cobertura.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi desenvolvido em condições de campo, na área experimental pertencente a Faculdade de Ciências Agrônômicas/ UNESP, localizada no município de Botucatu–SP, nas coordenadas 22°52'55" S de latitude e 48°26'22" W de longitude a 786 m de altitude. O clima da região é do tipo *Cwa*, definido como subtropical, verão quente e úmido com precipitação elevada e estiagem no inverno. Apresenta temperatura média anual de aproximadamente 21°C e precipitação anual de 1.358 mm (SANTOS; ESCOBEDO, 2016).

2.2.2. Delineamento e caracterização dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram caracterizados pelo tipo de adubação, sendo AM-Mineral (com fertilizante convencional) e AO-Orgânica (com lodo de esgoto compostado) no plantio e, em cobertura, em função de dois tipos de água para irrigação (AP- Água Potável e AR- Água Residuária - doméstica de tratamento de esgoto) sob três tipos de solo: Neossolo Quartzarênico Órtico, Latossolo Vermelho Distrófico típico textura média e Nitossolo Vermelho Distrófico típico argiloso de acordo com classificação proposta pela EMBRAPA (2006), avaliados em dois experimentos (Tabela 18).

Tabela 18. Distribuição e identificação dos tratamentos.

Experimento	Tipo de solo	Tratamentos (Adubação)
1	Neossolo Quartzarênico órtico Latosolo Vermelho distrófico Nitossolo Vermelho distrófico	Mineral
2	Nitossolo Vermelho distrófico	Mineral + AP Mineral + AR Orgânica + AP Orgânica + AR

O Experimento 1 foi realizado em blocos casualizados, sob adubação mineral recomendada para a cultura em três tipos de solo, com quatro repetições. No experimento 2, foi avaliado sob delineamento experimental blocos casualizados, sendo os tratamentos caracterizados por dois tipos de adubação sob dois tipos de água para irrigação, com quatro repetições.

Para tanto, utilizou-se a cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam)) var. Brazlândia Roxa, a qual foi conduzida em recipientes com capacidade volumétrica de 250 L de solo, espaçados sob 5 metros entre linhas e 4 metros entre vasos. No plantio foram utilizadas ramas com 15 cm de comprimento, contendo quatro gemas, as quais foram transplantadas no solo com 1/3 do comprimento fora da superfície, a fim de permitir o desenvolvimento apical, mantendo quatro plantas por recipiente sob espaçamento de 0,75 x 0,50 metros.

2.2.3. Manejo agrônômico

Determinaram-se as características químicas do solo antes do plantio e no final do ciclo, seguindo a metodologia proposta por Raij et al. (2001) cujos resultados encontram-se na Tabela 19. Para tanto, procederam-se quatro amostragens em cada repetição, obtidas da camada de 0-40 cm de profundidade, sendo posteriormente homogeneizadas, separadas por repetição e tratamento e, analisadas separadamente, determinando-se as características químicas e correções pertinentes. Para elevar a saturação por bases (V%) a 70% em todas as subparcelas, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 96%, 45 dias antes do plantio.

Tabela 19. Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2016, na camada de 0-40cm. Botucatu, 2017.

Trat.	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	%	mg dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	-----
1	5.3	21.1	170.4	20.1	4.2	54	16.4	75	95	78.9	8.0	0.4	3.8	63.0	4.8	35.7
2	5.4	15.2	170.8	20.6	4.2	35	13.1	53	73	72.0	8.5	0.4	4.0	51.8	3.6	29.9
3	4.6	50.1	177.8	77.2	4.4	54	14.4	73	150	48.5	20.5	0.7	11.6	22.4	6.3	5.7
4	4.5	29.0	156.8	71.6	1.7	42	14.3	59	130	44.9	23.0	0.7	10.1	20.6	4.9	28.3
5	5.3	25.1	187.7	37.2	4.7	59	15.6	80	116	68.3	6.5	0.5	3.2	63.0	2.5	49.3
6	5.4	27.7	182.3	35.2	4.2	48	13.0	65	100	64.9	9.2	0.5	3.6	60.0	2.1	49.1
7	4.4	38.3	180.9	102	2.2	43	11.7	57	158	35.8	53.6	0.7	10.2	20.0	6.2	42.5
8	4.6	41.1	178.6	77.9	2.6	47	15.7	65	143	45.6	22.9	0.8	9.9	16.8	4.0	33.1
9	5.3	37.6	171.0	48.8	6.0	80	26.1	82	160	69.7	70.1	0.5	9.8	45.6	6.9	7.8
10	5.2	33.2	159.1	55.1	5.5	52	21.6	79	134	58.9	46.9	0.6	10.2	38.1	6.3	28.3
11	4.6	46.8	157.6	95.1	5.3	54	15.1	74	169	43.9	154.8	0.9	13.7	22.0	5.6	43.1
12	4.9	46.0	168.8	77.1	4.0	58	21.7	84	161	52.2	59.7	1.1	14.1	79.8	5.6	25.3

Fonte: Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, SP. *M.O = Matéria orgânica.

O biossólido procedente da estação de tratamento de esgoto - ETE do município de Jundiaí/SP foi submetido à análise para determinação dos parâmetros químicos, segundo metodologia descrita por Lanarv (1988). A quantidade de Lodo de esgoto compostado (LEC) aplicada foi contabilizada pela substituição total à adubação nitrogenada convencional para a cultura, conforme equação descrita:

$$N_{disponível} = N_{total} \times \left(\frac{FMN}{100} \right)$$

Onde:

N orgânico= Quantidade de N presente no LE;

FMN= Fator de mineralização

Para tanto, a dose calculada de biossólido destinada aos tratamentos foi baseada na taxa de mineralização de 30%, ajustada para regiões de clima tropical conforme Andrade (2010), na quantidade de Nitrogênio (N_{total}) presente no material

orgânico e na dose recomendada de 60 kg de N ha⁻¹. Portanto, considerando que em 100 kg de lodo na base seca seriam fornecidos 1,3 kg de N (Tabela 4), a quantidade aplicada do composto foi de 0,9625 kg vaso⁻¹, incorporada ao solo no plantio em substituição ao N mineral, Tabela 20.

Por meio dos resultados obtidos, não foi necessária adubação corretiva de fósforo. Entretanto, todas as subparcelas receberam adubações químicas complementares com sulfato de potássio no plantio considerando 60 kg ha⁻¹ de K₂O. Aos 90 dias, foi realizada adubação complementar com sulfato de potássio (00-00-52 + 45 SO₄) em todas as subparcelas, fornecido via solo em duas aplicações equivalentes a recomendação de 60 kg ha⁻¹ de K₂O, com intervalo de 20 dias (RAIJ, 1997) em razão das precipitações pluviométricas ocorridas.

Tabela 20. Caracterização química do bio sólido utilizado no experimento.

Parâmetros	Unidade ⁽¹⁾	Concentração
pH	-	7,4
Umidade	%	35
Relação C/N	-	9
Matéria orgânica	%	22
Carbono orgânico	%	12
Nitrogênio	g kg ⁻¹	13
Fósforo	g kg ⁻¹	10
Potássio	g kg ⁻¹	5
Cálcio	g kg ⁻¹	13
Magnésio	g kg ⁻¹	5
Enxofre	g kg ⁻¹	5
Boro	mg kg ⁻¹	64,0
Cobre	mg kg ⁻¹	100
Ferro	mg kg ⁻¹	1504
Manganês	mg kg ⁻¹	316
Zinco	mg kg ⁻¹	244

⁽¹⁾Resultados expressos com base em massa seca

A adubação nitrogenada mineral foi baseada na recomendação para a cultura (60 kg ha⁻¹), e distribuída em duas aplicações. No plantio, foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N na adubação e 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura aos 45 dias após o plantio, utilizando-se ureia (RAIJ, 1997).

A irrigação foi realizada por gotejamento superficial, sendo as linhas laterais compostas por mangueiras de polietileno com Ø 16 mm, utilizando dois gotejadores autocompensantes com vazão nominal de 4,0 L h⁻¹, por recipiente. Para tanto, foram

instaladas duas unidades para controle da irrigação, a primeira contendo água de abastecimento urbano e a segunda com água residuária doméstica tratada.

O efluente de esgoto tratado proveniente da estação de tratamento de esgotos - ETE pertencente à SABESP/ Botucatu-SP, foi fornecido semanalmente, e ao sair do reservatório foram coletadas amostras para serem analisados parâmetros de pH, condutividade elétrica, macro e micronutrientes, a fim de contabilizar a contribuição diária de nutrientes por meio da proporção contida no efluente e a lâmina diária aplicada.

A lâmina diária aplicada foi baseada na estimativa da evapotranspiração da cultura, obtida diariamente por meio do método do Tanque Classe A e corrigido pelo coeficiente de cultivo da cultura ($K_{c\text{batata-doce}}$), considerando 95% de eficiência do sistema, percentual obtido por testes realizados de acordo com metodologia proposta por Keller & Bliesner (1990). As equações utilizadas são descritas a seguir:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Onde:

(ET_o) - evapotranspiração calculada pela razão entre a evaporação do tanque Classe A (ECA) e o coeficiente do tanque (K_p), determinado pelo método de Snyder (1992);

(K_c) - coeficiente de cultivo, adotando-se valores específicos para cada estágio de cultivo da cultura; 0,5 na fase de estabelecimento, 1,15 no desenvolvimento vegetativo e 0,65 na maturação da batata-doce (ALLEN, 1998).

Assim, a lâmina de água a ser aplicada em cada unidade experimental foi determinada pela equação:

$$Lap = \frac{Etc \times A}{Ef}$$

Onde:

Lap = Lâmina a ser aplicada (mm);

ETc = Evapotranspiração da cultura;

A = Área do vaso (m²);

Ef = Eficiência do sistema de irrigação (95%).

O tempo de irrigação foi calculado pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a vazão nominal do gotejador.

Os dados ambientais foram extraídos da estação meteorológica instalada à dez metros do local, registrados durante o período de condução do experimento (01 de dezembro de 2016 a 15 de maio de 2017) e estão apresentados na Figura 2.

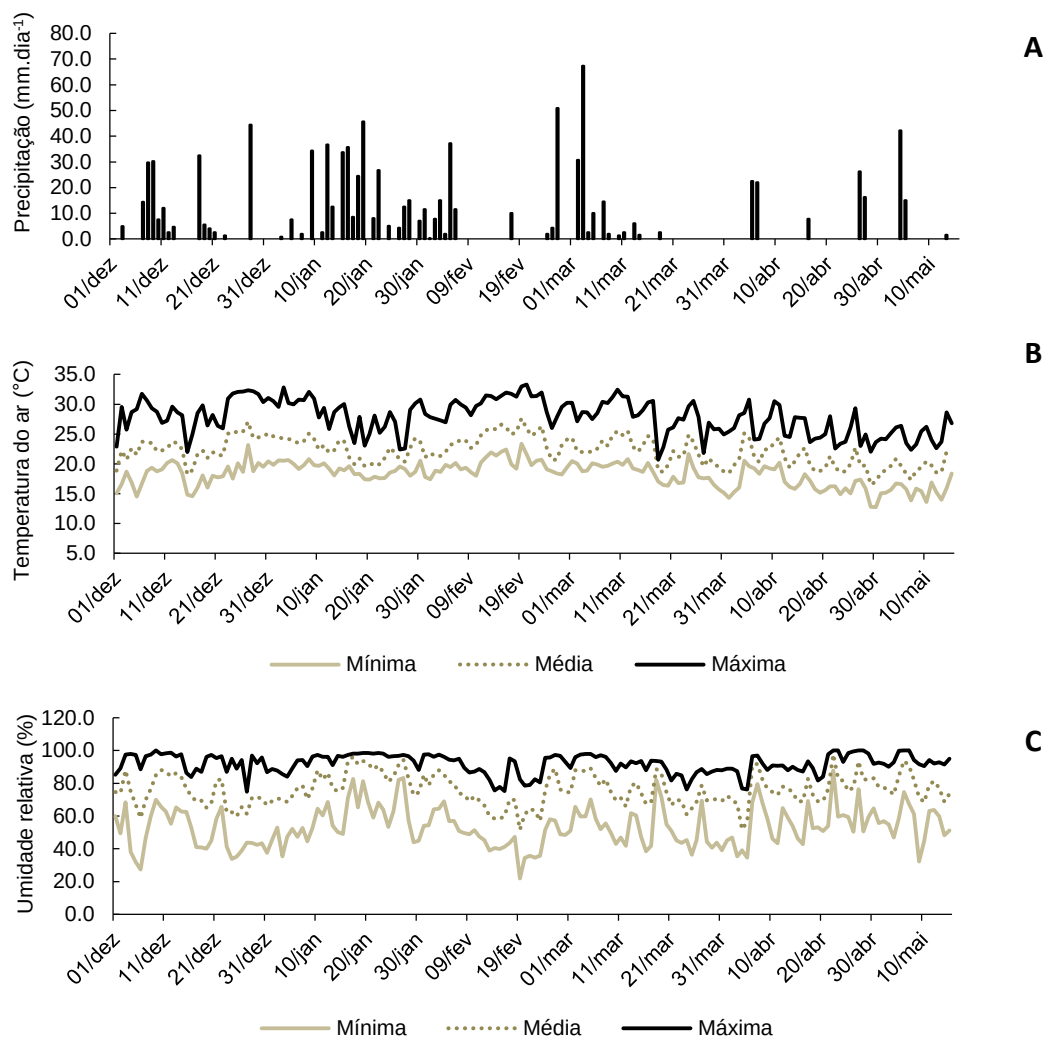


Figura 2. Dados ambientais de (A) precipitação pluvial diária; (B) temperatura do ar mínima, média e máxima e (C) umidade relativa do ar mínima, média e máxima registrados durante o período experimental. Botucatu, 2017. Elaboração: próprio autor.

2.2.4. Parâmetros avaliados

As plantas de todas as parcelas úteis foram colhidas no dia 15/05/2017 (165 dias após o plantio), e posteriormente, fracionadas em parte aérea (ramas e folhas) e

raízes. As tuberosas foram lavadas e escovadas com água corrente e água deionizada, e encaminhadas ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT)/ UNESP - Botucatu-SP, para a realização das análises de produtividade, incidência de raízes defeituosas, qualidade e caracterização físico-química.

2.2.4.1. Incidência de raízes tuberosas com defeitos

Avaliou-se mediante a contagem do número de raízes tuberosas com incidência de rachaduras salientes, deformações e esverdeamento (MIRANDA et al., 1995). A incidência de defeitos foi obtida pela relação entre o número de raízes tuberosas defeituosas e o número total de raízes tuberosas, sendo os valores expressos em porcentagem (%).

2.2.4.2. Número, produtividade e classificação das raízes tuberosas

A produtividade total foi obtida a partir do somatório de todas as classes de raízes tuberosas, inclusive àquelas com peso menor que 70 gramas, respectivamente (MIRANDA et al., 1995; SILVA et al., 2002). As raízes lisas de formato alongado e uniforme foram contadas, pesadas e classificadas nas seguintes categorias: extra (70 a 149g), extra AA (150 a 299g), extra A (> 300g) (CEAGESP, 2011). Após o procedimento, determinou-se a produtividade por classe.

2.2.4.3. pH e acidez

Para a determinação do logaritmo negativo da concentração hidrogeniônica, fatiaram-se tuberosas de três tamanhos (grande, médio e pequeno) e utilizaram-se 5g de cada amostra "*in natura*" em becker de 100 mL, adicionados 50 mL de água destilada e processado por 20 segundos. Após o repouso de 10 minutos, na porção sobrenadante determinou-se o pH, seguindo a metodologia da AOAC (2005). O teor de acidez titulável, que representa o conteúdo total de íons hidrogênio neutralizáveis na amostra, foi quantificado na mesma amostra após a determinação do pH, seguindo a metodologia da AOAC (2005) e os resultados expressos na base úmida em mg de ácido málico por 100g⁻¹.

2.2.4.4. Caracterização físico-química

Para tanto, obteve-se uma porção representativa de raízes nos tamanhos: grande, médio e pequeno para cada repetição. Em seguida, as amostras foram

fatiadas, pesadas com auxílio de balança analítica e inseridas em sacos de papel devidamente identificados para secagem em estufa de circulação forçada a 105°C até peso constante, a fim de inibir a ação da água no favorecimento do desenvolvimento microbiano e na atividade enzimática.

Após secagem, pesaram-se as amostras novamente para obtenção do peso da matéria seca, as quais foram posteriormente processadas em moinho tipo Willey com peneira de 1mm para obtenção da farinha. Utilizou-se 100g de farinha para cada subparcela.

2.2.4.4.1. Umidade

A porcentagem de umidade foi determinada utilizando-se 3 g de amostra de cada material e secas em estufa a 105°C até a obtenção de peso constante. Após esse período foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador e novamente pesadas, seguindo o método da AOAC (2005).

2.2.4.4.2. Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, conteúdo que representa o total de sais minerais na amostra (substâncias não voláteis até 550°C), submeteram-se 3 g de amostra em mufla a 550°C por 2 horas até a calcinação completa. Após esse período as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas, seguindo a metodologia da AOAC (2005), sendo os resultados expressos na base úmida em g 100g⁻¹.

2.2.4.4.3. Matéria graxa

Para o teor de matéria graxa, empregaram-se três repetições de aproximadamente 3g de cada amostra, as quais foram inseridas em extrator Soxhlet, utilizando éter de petróleo para a extração, seguindo a metodologia da AOAC (2005), com resultados expressos na base úmida em g 100g⁻¹.

2.2.4.4.4. Fibras

Quanto ao teor de fibra bruta, que representa o conteúdo total de fibras, 3g de cada amostra foi inserida em bloco digestor completo (com tubos e condensador), acrescentando-se no tubo de digestão 200 mL de solução de H₂SO₄ a 1,25% e, submetido à ebulição branda durante 30 minutos. O material retido em filtro de papel apropriado foi lavado com auxílio de água destilada quente, transferido para o tubo

digestor com auxílio de 200 mL de NaOH a 1,25% e submetido novamente ao processo de digestão. Após a segunda filtragem em filtro identificado, o filtro juntamente com a amostra foi submetido ao processo de secagem completa em estufa com temperatura de 105°C, com circulação de ar forçado. Em seguida, esfriados à temperatura ambiente por 2 horas em dessecador e, sequencialmente pesados, seguindo a metodologia da AOAC (2005), sendo os resultados expressos na base úmida em g 100g⁻¹.

2.2.4.4.5. Proteína

Para o teor de proteína bruta, que representa o conteúdo total de protídeos na amostra, submeteram-se 200 mg de amostra em bloco digestor de proteína (Micro-Kjeldahl), seguindo a metodologia da AOAC (2005), com fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína bruta de 6,25 e com resultados expressos na base úmida em g 100g⁻¹.

2.2.4.4.6. Açúcares solúveis totais

Visando determinar o teor de açúcares solúveis, que representa o conteúdo total de açúcares redutores, mais a sacarose e outros possíveis açúcares solúveis presentes na amostra, 500 mg de cada amostra foram colocadas em erlenmeyer de 250 mL onde foi acrescentado 30 mL de etanol absoluto P.A. e 30 ml de água destilada, levando ao banho-maria com temperatura entre 60-65°C por 1 hora. Em seguida, acrescentou-se 1 mL de HCl P.A. concentrado e procedeu-se à agitação, retornando ao banho-maria por mais uma hora na mesma faixa de temperatura, seguindo o método proposto por Somogy (1945) e Nelson (1944). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100g⁻¹.

2.2.4.4.7. Amido

A determinação de amido foi realizada pelo método enzimático. A amostra de 200 mg peneirada (abertura de 0,180 mm) acrescentou-se 42 mL de água destilada e 1 mL de solução comercial de alfa-amilase (Termamyl 120L- Novo Nordisk) a 50% (v/v). Após estes procedimentos os erlenmeyers foram levados ao banho-maria, com agitação suave, a 90°C, durante 2 horas. Junto se realizou uma prova em branco. Nas amostras dextrinizadas foram acrescentadas 2,5 mL de solução tampão acetato 2 M, de pH 4,8 e 5 mL de solução recém preparada e filtrada de Amiloglucosidase EC de

Rhizopus SP (Sigma), na concentração de 10 mg/mL. Os erlenmeyers com as amostras mais as provas em branco, foram levados ao banho-maria com agitação contínua a 60°C por 2 horas. Logo após, retirou-se a amostra hidrolisada a qual foi resfriada até a temperatura ambiente e corrigido o pH entre 7 e 9 com NaOH a 4 M e transferindo para um balão volumétrico de 250 mL. O volume foi completado com água destilada e 5 mL desta diluição foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, completado com água destilada, filtrado em papel simples e no material filtrado foi dosado o teor de açúcares redutores, obedecendo a metodologia proposta por Somogy (1945) e Nelson (1944) e AOAC (2005), utilizando o fator de conversão de 0,9, com os resultados expressos na base úmida em g 100g⁻¹.

As etapas das análises dos componentes físico-químicos na batata-doce são descritos na Figura 3.

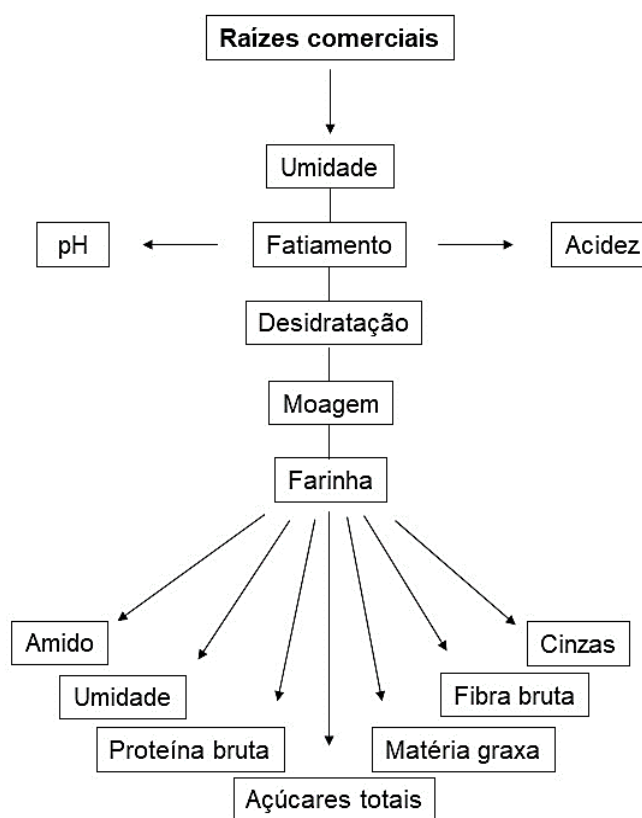


Figura 3. Fluxograma das etapas de caracterização das raízes e de amidos.

2.2.5. Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de comparação de médias (Tukey a $p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no *software* Minitab (2000).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Experimento 1

A incidência de raízes defeituosas, obtida pela relação entre o número total de raízes e número de raízes com injúrias, apresentou índices de 25,41%, 22,62% e 13,43% para os tratamentos referentes aos solos de textura arenosa (NQ), textura média (LV) e textura argilosa (NV), respectivamente. As médias analisadas, correspondentes aos parâmetros agronômicos de produtividade e classificação de raízes, são apresentadas na Tabela 21.

Diante dos resultados, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados quanto à produtividade total, obtidas pela soma de todas as raízes tuberosas. As diferenças significativas quanto tipo de solo, obteve-se maior média no tratamento correspondente ao solo argiloso (NV), obteve aumento de 28.316,97 e 19.711,3 kg ha⁻¹ em relação aos solos de textura arenosa e média, respectivamente.

Quanto a classificação comercial de raízes, foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para a classe Extra e Extra AA, com menor evidência no tratamento referente ao solo arenoso.

A resposta quanto a produtividade de raízes com maior peso (Extra AA e A) observada no referido tratamento pode ser atribuída ao aporte de nutrientes computados de acordo com as recomendações de adubação convencional que possivelmente não foi capaz de satisfazer a necessidade da cultura junto ao tipo de solo. Agbola e Omuetti (1982) afirmam que a aplicação exclusiva de fertilizantes minerais repetidamente ao longo de cultivos contínuos pode não resultar em respostas positivas ao nível da capacidade potencial de resposta da cultura porque são dependentes teor de matéria orgânica no solo.

Zingore et al. (2003) argumenta que a baixa produção de batata-doce em países tropicais advém do baixo aporte de matéria orgânica que consequentemente afeta a biodisponibilidade de nutrientes, resultando no declínio da sustentabilidade do solo com o passar do tempo. Shangakkara et al. (2004) complementa que o reabastecimento de nutrientes por meio da adição de matéria orgânica ou da combinação com fertilizantes minerais ao solo poderiam reabastecer os nutrientes em níveis equilibrados.

Portanto, os resultados alcançados corroboram com as recomendações de Malavolta (2006), o qual menciona a importância da nutrição equilibrada na cultura

tanto em macro como em micronutrientes no aumento da produção e melhoria na qualidade do produto nos mais variados aspectos, indicam que a cultura da batata-doce pode apresentar respostas positivas no incremento à outras fontes adubações, quer seja no plantio ou em cobertura.

Quanto aos dados de comprimento e diâmetro de raízes, não foram encontradas diferenças estatísticas, porém com tendência a maiores incrementos nas parcelas correspondentes aos solos de textura argilosa e média. Estes resultados revelam que a batata-doce pode obter boas respostas quando produzida em solos de textura argilosa com boa drenagem e aeração. Os resultados demonstram que solos mais estruturados, com menor teor de sílica poderia apresentar tendências a favorecer a produção de raízes de peso maior e, conseqüentemente, de classificação comercial superior. A Figura 4 apresenta as características visuais das raízes produzidas nos diferentes tipos de solo.



Figura 4. Variações quanto ao formato e tamanho de tuberosas de batata-doce por tratamento. Legenda: A (Neossolo Quartzarênico Órtico) B (Latosolo Vermelho distrófico) C (Nitossolo Vermelho distrófico). Botucatu, 2017. Fonte: arquivo pessoal.

O formato padrão das raízes, verificado pelo comprimento e diâmetro, não variou em função do tipo de solo estudado. No entanto, é possível observar que as raízes produzidas nos solos de textura média (LV) e argilosa (NV) apresentaram maior vigorosidade nas características físicas visuais de formato, assim como, a coloração homogênea na casca. Para o tratamento NQ, verificam-se maior índice de tuberosas com formatos irregulares, ao passo que, para os tratamentos LV e NV observam-se raízes de formato elíptico redondo e elíptico longo, respectivamente.

Consoante com as afirmações reportadas por EMBRAPA (1995), as raízes podem apresentar formato com presença de dobras devido a estrutura do solo ou pela presença de torrões, cascalhos e camadas compactadas, sendo então justificada a preferência por solos arenosos. Os resultados apresentados no presente experimento demonstram que não houve variações nos formatos das raízes ao do tipo de solo, atribuindo a possibilidade de se cultivar em solos mais estruturados.

Tabela 21. Componentes de produção e características agronômicas de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em solos de diferentes classes texturais. Botucatu, 2017.

Tratamentos	Produtividade				
	Total	Extra	Extra AA	Diâmetro	Comprimento
	kg ha ⁻¹			cm	
NQ	21562,91 c	11954,40 c	5163,74 c	3,38	14,4
LV	30168,58 b	13767,39 b	6382,29 b	3,62	15,5
NV	49879,88 a	25268,55 a	7064,99 a	3,63	16,0
	p				
Solo	<0,01	< 0,01	<0,01	0,252 ^{ns}	0,548 ^{ns}
C.V. (%)	0,94	3,10	3,78	6,04	13,33

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média); NV – Nitossolo Vermelho distrófico (textura argilosa). ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

Os componentes de pH, acidez titulável e umidade são apresentados na Tabela 22. As análises de variância (p <0,05) não revelaram variações significativas. Os dados de pH e acidez titulável, consideradas a características que determinam o estado de conservação e qualidade para consumo revelaram, portanto, que o tipo de solo não interferiu na qualidade das tuberosas.

Os teores de umidade estão de acordo com a USDA (2009) e com a TACO (2011), que recomendam teor de água de 69,50 e 77,28%, respectivamente. Concordando com os resultados encontrados, Lareo et al. (2013) se refere a umidade de 73,1%, Motsa et al. (2015) mencionaram 71% e Senanayake (2013) 65%, todos em raízes de batata-doce.

Os resultados foram semelhantes aos reportados por Nabubuya et al. (2012) estudando o potencial de uso de variedades de batata-doce reportaram diferenças significativas nos teores de pH variando entre 6.02 e 6.65 em raízes *in natura*, enquanto que Bezerra et al. (2015) se referiram a pH de 6,07 na composição da

farinha de batata-doce. José (2016) encontrou valores de acidez variando de 2,7 a 4,4mg de $C_4H_6O_5$ $100g^{-1}$ em raízes desidratadas de diferentes genótipos de batata-doce de polpas púrpura com manchas brancas e púrpura.

Para Cecchi (2003) a acidez titulável é o principal indicativo do que o ácido pode influenciar no sabor do que o pH, mas ambos são imprescindíveis, de modo que, a medida do potencial hidrogeniônico (pH) infere na relação do crescimento de microrganismos, atividade de enzimas, e nos aspectos de retenção de sabor e odor nos produtos agrícolas. Os ácidos orgânicos presentes em alimentos também influenciam na cor, assim como, na estabilidade e manutenção de qualidade. Segundo os autores, por meio da determinação da acidez titulável em alimentos, é possível obter dados valiosos na apreciação do processamento e no grau de deterioração dos alimentos.

Os padrões de qualidade das raízes obtidas se mantiveram dentro dos índices recomendados, indicando que, mesmo quando submetidas ao cultivo em solos de diferentes classes texturais, os quais possuem dinâmicas diferentes no fornecimento de nutrientes e retenção de água, não há interferências negativas sobre os parâmetros observados.

Tabela 22. Componentes de qualidade de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em solos de diferentes classes texturais. Botucatu, 2017.

Tratamentos	pH	Acidez titulável	Umidade
		mg $C_4H_6O_5$ $100g^{-1}$	(%)
NQ	6,2	2,4	71,4
LV	6,1	2,1	71,4
NV	6,1	2,5	70,9
----- p -----			
Solo	0,639 ^{ns}	0,159 ^{ns}	0,808 ^{ns}
C.V. (%)	2,51	9,09	1,62

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média); NV – Nitossolo Vermelho distrófico (textura argilosa). ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação.

Os componentes físico-químicos estudados no presente trabalho são apresentados na Tabela 23. Diferenças significativas (p <0,05) foram observadas entre as médias de matéria graxa, cujos valores superiores foram encontrados nos solos de textura média e argilosa (0,6 e 0,4g $100g^{-1}$, respectivamente). Não houve diferenças estatísticas entre os teores de fibras e cinzas, mas obtiveram

comportamento semelhante à mesma fonte de variação anterior, cujos valores superiores foram obtidos nos solos de textura média e arenosa (NQ e LV), respectivamente

Quanto as fontes de variação referentes a proteína, açúcar total e amido avaliados, os resultados da análise de variância demonstraram diferenças significativas. Os dados demonstram incrementos na média referente ao solo de textura argilosa (NV) assumindo valores acima das médias obtidas em relação aos demais tratamentos, mas permanecem adequados para os limites estabelecidos. Houve comportamento semelhante dos resultados entre os solos de textura arenosa e média, porém, não se diferiram estatisticamente ao nível de significância adotado.

A batata-doce é considerada como uma das culturas detentoras de altos teores de amido, variando de 13,4 a 29,2% e demais carboidratos, apresenta teores de proteínas consideráveis (até 2,9 %) e baixo teor de gorduras (0,3 a 0,8 %), justificando a sua importância na dieta diária de animais e humanos (MIRANDA et al., 1989; SILVA et al., 2002).

Segundo Hollman (2001), os lipídios e proteínas presentes na batata-doce desempenham papel preponderante sobre doenças crônicas como câncer e doenças cardiovasculares. Em outros aspectos, a relevância da determinação de proteínas para os estudos voltados à tecnologia e ciências de alimentos, indica o potencial aproveitamento da matéria prima dos produtos obtidos (ALMEIDA et al., 2013).

Semelhante aos teores de proteínas encontrados (1,1 a 0,9 g 100g⁻¹) na base úmida, Panda e Sonkamble (2012) quantificaram em seu trabalho 1,6g de proteína em 100g, enquanto que Senanayake (2013) analisando a qualidade nutricional em cinco cultivares de batata-doce, verificaram variações de 1,2 a 3,3 na base seca em raízes de batata-doce, e Nascimento et al. (2015) em três cultivares orgânicas de batata-doce encontraram igualmente diferenças significativas nos teores de proteína de em raízes armazenadoras e também variações significativas na farinha de raízes (de 0,13 a 0,99 g 100g⁻¹) na base úmida.

Em relação aos teores de amido nas raízes, Silva et al. (2002) e Malavolta (2006) afirmam que podem ocorrer variações influenciadas pela adubação, assim como aspectos relacionados a genética do material. Concomitantemente, Embrapa (1995) considera que as quantidades de nutrientes extraídas do solo na cultura da batata-doce podem também variar com as cultivares, condições edafoclimáticas solo

principalmente teor de umidade e níveis de N e K, ciclo da cultura e potencial produtivo esperado para a cultivar esperado.

Esses argumentos demonstram que a composição físico-química de tubérculos de batata-doce pode variar em função do material genético, que ao mesmo tempo podem ou não responder as adubações e métodos de cultivo empregados.

Panda; Sonkamble (2012) constataram nas raízes do material de seu trabalho diferenças significativas com teores de 12,7g e 4,2 de amido e açúcares totais em 100g de em genótipos de batata doce. Analogamente, Correa (2016), avaliando o parcelamento da adubação potássica na batata doce, os resultados reportados pela autora não se diferiam entre si, apresentando médias de 8,77 a 9,6g 100g⁻¹ de amido e 2,35 a 2,55 de açúcares.

Os teores de proteínas, amido e açúcares totais nutricionais estão dentro das recomendações postuladas pela USDA (2009): 1,57 g 100g⁻¹, e TACO (2011): 1,3 g 100g⁻¹ de proteínas. O teor de amido (13,4 a 29,2 g 100g⁻¹ de amido foram semelhantes aos encontrados por Miranda et al. (1995), mas os valores de açúcares totais foram inferiores aos reportados pelos autores (4,8 a 7,8 g 100g⁻¹). Portanto, trabalhos como este reportam a importância da adubação no acúmulo de amido nas raízes de tuberosas, resultando na melhoria da qualidade e, conseqüentemente, no rendimento do produto final

Tabela 23. Parâmetros de qualidade físico-química de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em solos de diferentes classes texturais. Botucatu, 2017.

Tratamentos	Proteína	Matéria Graxa	Fibras	Cinzas	Açúcar total	Amido
----- g 100g ⁻¹ -----						
NQ	0,9 b	0,5 ab	1,1	1,4	3,6 ab	23,1 b
LV	0,8 b	0,6 a	0,9	1,4	3,4 b	24,7 a
NV	1,1 a	0,4 b	0,8	1,1	3,9 a	24,0 a
----- p -----						
Solo	< 0,01	< 0,05	0,087 ^{ns}	0,240 ^{ns}	< 0,05	< 0,01
C.V. (%)	8,03	10,60	13,18	16,46	5,26	1,39

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média); NV – Nitossolo Vermelho distrófico (textura argilosa). ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

Experimento 2

A Tabela 24 apresenta os valores médios de nutrientes fornecidos por meio da irrigação com efluente doméstico tratado, utilizado durante o experimento.

Ao final do período experimental, não foram quantificados teores de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) no efluente em razão da possível ausência dos elementos. Verificou-se que a utilização da água residuária doméstica tratada demonstrou maior eficiência no fornecimento de Nitrogênio, Potássio e Cálcio o que pode fornecer subsídios para a produção da cultura.

Tabela 24. Estimativa da contribuição diária de macro e micronutrientes acrescentados no ciclo da cultura da batata-doce via irrigação com efluente tratado. Botucatu, 2017.

Estádio de desenvolvimento	Período (dias)	EET								
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn
		----- mg vaso ⁻¹ -----								
Plantio ao estabelecimento	0 – 30	1194	33,0	504	583	61,3	218	1,0	7,6	1,4
Crescimento vegetativo	31 – 60	1049	30,4	449	562	56,2	187	0,9	4,9	1,1
Maturação à colheita	61 -150	6082	175,9	1606	1258	325,9	386	5,4	28,2	6,5
Total		8326	239	2561	2404	443,4	792	7,4	40,7	9,0

*EET – Efluente doméstico tratado

A incidência de raízes defeituosas, apresentou índices de 13,42%; 12,75%; 7,58% e 6,36 % para os tratamentos AM+AP; AM+AR; AO+AP e AO+AR, respectivamente. As médias e o resumo da análise de variância dos componentes de produção e de características agronômicas na cultura da batata-doce são apresentados na Tabela 25.

A produtividade total de raízes, aferida pela soma do peso de todos os tubérculos produzidos dentro e fora da classificação comercial, apresentou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. As médias de produtividade obtidas foram mais expressivas nas parcelas tratadas com fertilizante mineral orgânico e água residuária, com diferenças de 23.432,87; 20.975,75 e 421,75 kg ha⁻¹ em relação aos tratamentos AM+AP, AM+AR e AO+AP, respectivamente. Estes incrementos, por sua vez, representam taxas de aumento referentes a 31,97; 28,62 e 0,58% na ordem

supracitada. A menor média de produtividade total de raízes é representada pela parcela que recebeu a adubação mineral nitrogenada e água potável.

Em relação a produtividade de raízes comerciais, foram observados efeitos significativos das adubações empregadas sobre as classes. A maior média de produtividade para a classe Extra foi obtida na parcela que recebeu adubação mineral e água potável, ao passo que para a classe Extra AA houve aumento no rendimento de raízes com o uso do biossólido como fonte de adubação orgânica junto a água residuária, sendo segunda maior média foi alcançada na parcela tratada com adubação orgânica e água potável (AO+AP).

Para a classe Extra A, considerada de maior importância quando se pretende produzir tubérculos de maior peso e tamanho, os tratamentos avaliados promoveram efeitos significativos, sendo a maior média obtida na parcela tratada com biossólido e água potável (AO+AR). A segunda maior média foi observada no tratamento referente a adição do fertilizante orgânico e da água potável.

Estes resultados demonstram que a irrigação com efluente doméstico tratado junto a adição do composto orgânico, proporcionou condições favoráveis para a produtividade de raízes de classe comercial superior (Extra A), podendo ser atribuídos à rápida mineralização da matéria orgânica por ocasião dos teores de nitrogênio e carbono presentes em sua composição (Tabela 25).

Antonius et al. (2011) sob condições semelhantes a este experimento, reportaram aumento nos rendimentos variando entre 39 a 83% de tubérculos de batata-doce sob adubação com biossólido. Os autores atribuíram a maior eficiência no uso dos nutrientes.

Segundo Chaves; Pereira (1985), quando a planta absorve nutrientes em maior quantidade, a depender do cultivar, ocorrerá o estímulo do desenvolvimento da parte aérea e, em alguns casos, ocorrerá efeito contrário. Do mesmo modo, Kang; Balasubramanian (1990), afirmam que eficiência na absorção dos nutrientes podem resultar em maior área foliar e maior eficiência fotossintética devido a maior capacidade de captação da luz solar, aumentando o rendimento sustentável de raízes tuberosas de batata-doce.

Todavia, observou-se que o maior incremento de nutrientes referente ao tratamento AO+AR não interferiu na produção de raízes de maior peso, ocasionando aumento significativo na produtividade de raízes de classe Extra A, o que pode ser

atribuído ao equilíbrio no desenvolvimento entre as frações aérea e radicular da planta.

Concomitante as características agronômicas de diâmetro e comprimento, foram verificadas diferenças estatísticas para o nível de significância adotado. Em relação ao diâmetro, maiores médias foram obtidas nos tratamentos que receberam biossólido, sobretudo, na adição do composto juntamente com o efluente tratado. O mesmo comportamento foi constatado no parâmetro comprimento, evidenciando melhores resultados em ocasião da adubação orgânica.

Os resultados apresentados corroboram com Mendonça; Peixoto (1991), os quais obtiveram respostas expressivamente significativas na produtividade, produção de raízes por planta e peso médio de raízes comerciais de batata-doce, em função da utilização de fertilizantes orgânicos e minerais.

Oliveira et al. (2006), avaliando doses e formas de aplicação de nitrogênio via solo e via foliar na cultura da batata-doce, constataram que a cultura respondeu melhor a adubação via solo com aumentos lineares na produtividades total e não-comercial de raízes na ordem de 45,52 e 12,64 kg ha⁻¹, respectivamente a cada quilograma de N adicionado. Os autores alcançaram a produtividade máxima estimada de raízes comerciais de 19155 kg ha⁻¹, aplicando a dose de 154 kg ha⁻¹ de Nitrogênio.

Em estudo realizado por Correa (2016) sobre os efeitos do parcelamento da adubação potássica na cultura da batata-doce, atingiram-se produtividades máximas estimadas entre 32,3 a 44,2 t ha⁻¹ de raízes comerciais de batata-doce, na aplicação total e parcelada de K₂O, respectivamente.

Embora a batata-doce seja uma cultura de ciclo curto, o aporte de matéria orgânica por meio do uso do biossólido foi capaz de aumentar o rendimento de tuberosas, possivelmente pela melhoria do estado nutricional da cultura. Isso pode estar relacionada a rápida liberação dos nutrientes associada a baixa relação C/N do composto utilizado no presente estudo (9:1), que foi favorecido com o aporte de C e N do efluente, como semelhantemente observado por Duarte et al. (2008).

Quanto ao formato das raízes, verificado pelo comprimento e diâmetro, variou em função dos tratamentos aplicados, diferente do observado no experimento 1. Foi possível observar características físicas visuais que as túberas produzidas apresentaram maior vigorosidade no formato e coloração homogênea na casca nas parcelas tratados com o composto (AO+AP e AO+AR).

Para a parcela experimental AM+AR, verificou-se maior índice de tuberosas com formatos irregulares, ao passo que, os demais tratamentos em sua maioria influenciaram a produção de raízes com formato elíptico redondo e elíptico longo, respectivamente (Figura 5).

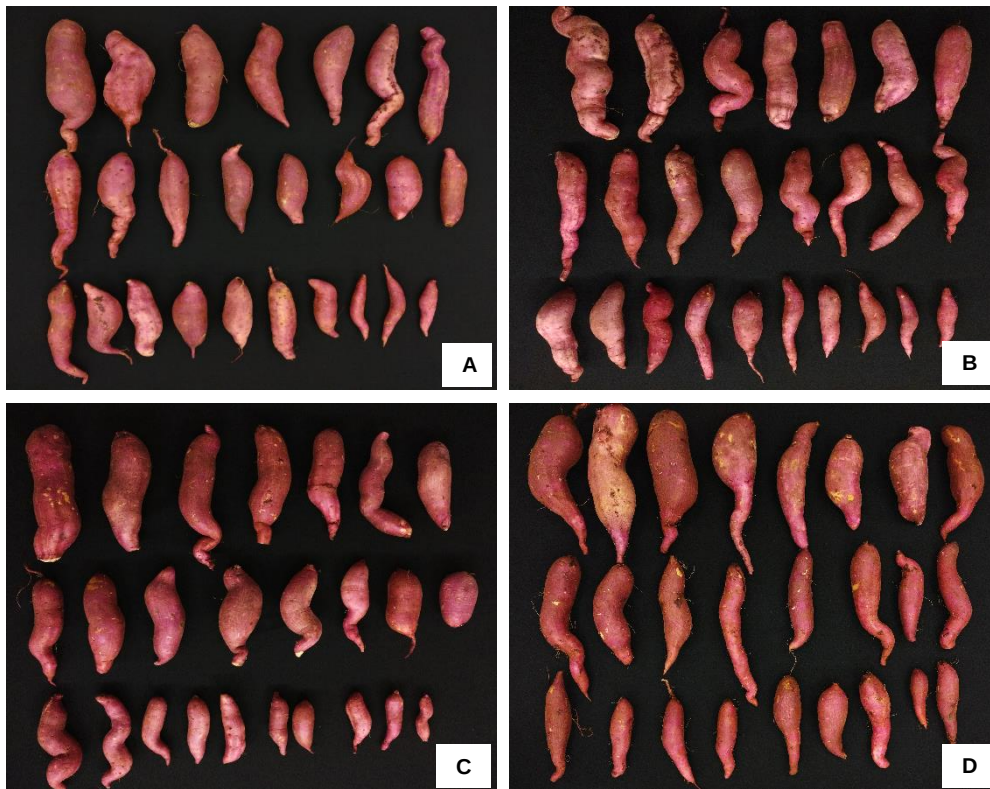


Figura 5. Variações quanto ao formato e tamanho de tuberosas de batata-doce cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Legenda: A (Mineral+AP); B (Mineral+AR); C (Orgânica+AP); D (Orgânica+AR). Botucatu, 2017. Fonte: arquivo pessoal.

Tabela 25. Componentes de produção e características agrônômicas de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.

Tratamentos	Produtividade Total	Extra	Extra AA	Extra A	Diâmetro	Comprimento
	kg ha ⁻¹				cm	
AM + AP	49879,88 b	25268,50 a	7075,00 c	7388,75 c	36,3 c	16,0 b
AM + AR	52337,00 b	20810,00 b	24567,50 b	7504,75 c	39,6 c	19,7 ab
AO + AP	72337,00 a	16940,00 c	25005,75 b	14424,00 b	45,6 b	19,8 ab
AO + AR	73312,75 a	13331,00 a	27789,75 a	27309,00 a	52,4 a	21,8 a
----- p -----						
Tratamento	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05
C.V. (%)	1,96	2,26	2,29	3,49	4,55	10,26

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

As respostas quanto aos parâmetros de umidade, pH e acidez titulável são apresentados na Tabela 26. As análises de variância manifestaram variações significativas apenas para o parâmetro relativo ao pH. Os valores de umidade estão de acordo com a USDA (2009) e TACO (2011), que recomendam teores de 77,28 e 69,50%, respectivamente. Estes resultados demonstram que o uso do composto orgânico e do efluente não exprimiram na queda de qualidade e no estado de conservação das túberas produzidas.

Os teores de umidade estão de acordo com a USDA (2009) e com a TACO (2011), que recomendam teor de água de 69,50 e 77,28%, respectivamente.

Os resultados foram semelhantes aos encontrados no experimento 1 e corroboram com os reportados por Nabubuya et al., (2012) e Bezerra et al. (2015), os quais encontraram valores de pH variando entre 6.02 e 6.65 em raízes cruas, e 6,07 na composição da farinha de batata-doce. Para acidez titulável, José (2016) encontrou variações de 2,7 a 4,4mg de $C_4H_6O_5$ $100g^{-1}$ em raízes desidratadas de diferentes genótipos de batata-doce de polpas púrpura com manchas brancas e púrpura

Tabela 26. Componentes de qualidade de raízes tuberosas de batata-doce cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.

Tratamentos	Umidade	pH	Acidez
	(%)		$C_4H_6O_5$ $100g^{-1}$
AM + AP	70,9	6,1 b	2,5
AM + AR	70,5	6,1 b	2,2
AO + AP	69,8	6,1 b	2,2
AO + AR	69,4	6,3 a	2,2
		p	
Adubações	0,760 ^{ns}	< 0,05	0,191
C.V. (%)	3,17	1,41	7,58

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

A Tabela 27 apresenta a composição química das raízes de batata-doce. Para tanto, não foram constatadas diferenças significativas nas fontes de variação referenciadas pelos teores de matéria graxa, fibras e amido. Entretanto, ocorreram variações estatisticamente significativas nos demais parâmetros estudados.

A cultura da batata-doce conduzida sob diferentes práticas de adubação em associação a irrigação com diferentes tipos de água para irrigação, forneceu

incrementos nos teores de proteínas, cinzas e açúcar total. Os valores encontrados para proteínas e cinzas estão em conformidade com os limites estabelecidos pela USDA (2009): 1,57 e 0,99 g 100g⁻¹ e TACO (2011): 1,3 e 0,9 g 100g⁻¹, respectivamente. O teor de açúcares foi inferior aos reportados por Miranda et al. (1995), os quais encontraram variações de 4,8 a 7,8 g 100g⁻¹, respectivamente.

Alguns efeitos do manejo nutricional sobre a qualidade de raízes tuberosas são relatados em diversos trabalhos. Em batata-doce, Oliveira et al. (2002) verificaram atenuação na produtividade de massa seca e aumento nos teores de amido, em consequência do uso esterco bovino e de aviário. O aumento nos teores de amido também foi relatado por Kayode (1985) com o manejo da adubação com NPK em batata-doce.

Resultados encontrados por Souto (1989) na cultura do inhame, demonstraram respostas positivas em termos de produção de raízes com a aplicação de fertilizantes nitrogenados e verificou redução nos teores de gordura, fibra bruta e proteínas.

Oliveira et al. (2005) ao avaliar doses crescentes de ureia no manejo da adubação da batata-doce, encontrou comportamento quadrático nos teores de açúcares redutores nas raízes alcançando teor máximo de 8,7% de açúcares, com respectivo decréscimo a partir da dose 187 kg ha⁻¹ de N, a maior utilizada pelo autor. Na adubação fosfatada em batata-doce, Silva (2004) detectou aumento no teor de amido em consequência ao incremento de P à cultura.

Nos aspectos relativos à segurança alimentar, a composição físico-química dos alimentos expressa qualidade quanto as características que tornam o produto agradável ao consumidor, nutritivo, saudável e isento de substâncias estranhas. A composição de um alimento quanto a umidade, cinzas ou resíduos minerais fixos, matéria graxa, proteínas, carboidratos e fibras, exprimem de forma concisa o valor nutritivo dos alimentos podendo então verificar a riqueza em termos de calorias (CARVALHO; JONG, 2002).

O aumento da proteína nos vegetais, segundo WHO (2007) fornecem teores diários essenciais para uma dieta saudável, permitindo tanto o crescimento e a manutenção de milhares de proteínas codificadas no genoma humano, proporcionando um sistema dinâmico em termos de elementos estruturais e funcionais. Bernhoft (2010) afirma que as proteínas provenientes das plantas são uma fonte importante na alimentação humana e animal, principalmente na absorção de aminoácidos.

Quanto aos carboidratos representados pelo amido, celulose e sacarose, que por hidrólise originam açúcares simples, glicose e frutose; estes são produzidos na planta e sintetizados a partir do gás carbônico do ar e da umidade proveniente do solo ou do ar, por ação da luz solar e com interferência da clorofila (MORETTO et al., 2002).

Robbio; Robbio (2003) certificam que os carboidratos constituem a principal fonte de energia para o homem, em torno de 4,10 Kcal g⁻¹, e conforme o peso molecular estes influenciam na firmeza dos alimentos, funções reológicas e atividades relacionadas com o sabor e, os produtos de reação, podem conferir também alterações na cor dos alimentos.

Tabela 27. Parâmetros de qualidade físico-química de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.

Tratamentos	Proteína	Matéria Graxa	Fibras	Cinzas	Açúcar total	Amido
----- g 100g ⁻¹ -----						
AM + AP	1,1 b	0,4	0,8	1,1 ab	3,9 ab	24,0
AM + AR	1,4 a	0,7	1,0	1,0 ab	3,5 bc	23,9
AO + AP	1,4 a	0,6	1,2	0,9 b	3,2 c	24,0
AO + AR	1,5 a	0,5	1,3	1,2 a	4,5 a	24,8
----- p -----						
Adubações	< 0,01	0,182 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,05 ^{ns}	< 0,01	0,936 ^{ns}
C.V. (%)	8,22	29,45	22,13	13,43	7,25	9,07

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

2.4. CONCLUSÕES

Sob adubação convencional, a incidência de raízes defeituosas foi 11,98 e 9,19% menor em solo argiloso em relação aos solos de textura arenosa (NQ) e textura média (LV), respectivamente.

As produtividades total e comercial de raízes não foram negativamente afetadas pela adubação. Menores índices foram obtidos em solo de textura arenosa.

A textura do solo não interferiu nos parâmetros físico-químicos.

Em solo argiloso, a cultura da batata-doce respondeu às fontes de adubação. Maiores índices de produtividade total e comercial de raízes são obtidos com adubação orgânica.

O uso da AO+AR influenciou no aumento do diâmetro e do comprimento das raízes tuberosas.

Os teores de proteínas, cinzas e açúcar total foram maiores nos tratamentos AO+AP e AO+AR, respectivamente. Houve aumento no pH das raízes produzidas com o uso do composto orgânico+efluente.

A adubação com biossólido e a irrigação com água residuária são recomendados do ponto de vista técnico para atingir melhores resultados de produtividade e qualidade de raízes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGBEDE, T. M. Tillage and fertilizer effects on some soil properties, leaf nutrient concentrations, growth and sweet potato yield on an Alfisol in southwest Nigeria. **Soil Tillage Res**, v. 110, p. 25–32, 2010.

AGBOLA A.A.; Omueti J.A. Soil fertility problem and its management in Tropical Africa. **International Institute of tropical Agriculture**, Ibadan, Nigeria: 1982, 25 p.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO. **Irrigation and drainage paper**, v. 56, 301p., 1998.

ALMEIDA, V. V.; CANESIN, E. A.; SUZUKI R. M. E PALIOTO G. F. Análise qualitativa de proteínas em alimentos por meio de reação de complexação do íon cúprico. **Química Nova na Escola**, v. 35, n.1, p. 34-40, 2013.

ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, R.C.; PIRES, A.M.M. Nitrogênio presente em lodo de esgoto e a resolução n. 375 do Conama In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: Avaliação após a resolução nº 375 do Conama**. Botucatu: Editora FEPAF, 2010. p. 157-170.

ANTONIOUS, G., et al. Heavy metals uptake in plant parts of sweet potato grown in soil fertilized with municipal sewage sludge. **Int. J. Geol.**, v. 5, p. 14-20, 2011.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 18. th. edition, Gaithersburg, 2005. 3000 p.

BERNHOF, A. In: Bioactive compounds in plants – benefits and risks for man and animals, Oslo: **The Norwegian Academy of Science and Letters**, 2010.

BEZERRA, J. R. M. V. et al. Processamento de barras de cereais com adição de farinha de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.). **Ambiência Guarapuava**, v.11, n.1, p. 65 – 73, 2015.

CARVALHO, H. H.; DE JONG, E. V. alimentos – métodos físico-químicos de análise. **Editora da Universidade**, 2002, 180 p.

CARTER, M. R., SANDERSON, J. B. E PETERS, R. D. Long-term conservation tillage in potato rotations in Atlantic Canada: Potato productivity, tuber quality and nutrient content. *Canadian Journal of Plant Science*, 89: 273-280, 2009.

CECCHI, H.M. Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos. 2º. ed. **Editora da Unicamp**, Campinas, 2003, 207p.

CENTRO DE QUALIDADE HORTIGRANJEIRO.- CEAGESP. **Ficha da batata-doce**. São Paulo: CEAGESP, 2011. 6p.

CHAVES, L.H.G.; PEREIRA, H.H.G. **Nutrição e adubação de tubérculos**. Campinas: Cargill, 1985.

CORRÊA, C. V. **Produção e qualidade de batata-doce em função das doses e parcelamento da adubação potássica**. 2016. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Luiz de Mesquita Filho”, Botucatu - SP, 2016.

DUARTE, A. S. et al. Effects of application of treated wastewater in soil: pH, organic matter, phosphorus and potassium. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Hortalças. **Cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**. 3. ed. Brasília: Ministério da Agricultura, do Abastecimento e Reforma Agrária, 1995. (Embrapa-CNPQ. Instruções Técnicas, 7).

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. (2006). Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**.

FAGERIA N.K.; BALIGAR V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88,p. 97–185, 2005.

FERREIRA, M. A. M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes na cultura da batata-doce**, 2017. 51F. (Dissertação mestrado) Produção Vegetal - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2017.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortalças**. Viçosa: Editora UFV, 2000.

FONTES PCR; NUNES JCS; FERNANDES HC; ARAÚJO EF. 2007. Características físicas do solo e produtividade da batata dependendo de sistemas de preparo do solo. **Hortic. bras.**, v. 25, n. 3, 355-359, jul.-set. 2007.

GORDON, R. J., VANDERZAAG, A. C., DE HAAN, R. E MADANI, A. Impact of modified tillage on runoff and nutrient loads from potato fields in Prince Edward Island. **Agricultural Water Management**, 98: 1782-1788, 2011.

HOLLMAN, P.C.H. Evidence for health benefits of plant phenols: Local or systemic effects. **J. Sci. Food Agric.**, v. 8, p. 842–852, 2001.

JOSÉ, A. E. Qualidade e estabilidade das propriedades físico-químicas e biológicas relacionadas as características fitoquímicas em *Ipomoea batatas* na perspectiva de cadeias de produção e de agregação de valor a alimentos em sistemas agropastoris familiares. 2016. 159f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre – RS, 2016.

KANG, B.T., BALASUBRAMANIAN, M. **Long term fertilizer trials on Alfisols in West Africa**. In: Transactions of XIV International Soil Science Society (ISSS) Congress, Kyoto, Japan, 1990, p. 305.

KAYODE, G. O. Effects of NPK fertilizers on tuber yield, starch content and dry matter accumulation of white guinea yam (*Dioscorea rotundata*) in a forest alfisol of South Western Nigeria. **Exp. Agric.**, Ibadan, v. 21, n. 4, p. 389- 393, 1985.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649p.

LANARV. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de Corretivos Fertilizantes e Inoculantes – Métodos Oficiais**. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Ministério da Agricultura. Brasília, 104p., 1988.

LAREO, C. et al. Evaluation of sweet potato for fuel bioethanol production: hydrolysis and fermentation; **SpringerPlus**, v. 2, n. 493, p. 01-11, 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MENDONÇA, A.T.C.; PEIXOTO, N. Efeitos do espaçamento e de níveis de adubação em cultivares de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.9, n.2, p.80-82, 1991.

MINITAB, INC. **Minitab Reference Manual (release 13.0)**, Minitab Inc. State Coll. P.A., 2000, USA.

MIRANDA, J.E.C. de; FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. **Cultivo de batata-doce (Ipomea batatas (L.) Lam)**. Brasília, DF, EMBRAPA-CNPQ, 1989. p. 7. (EMBRAPA-CNPQ. Instruções Técnicas, 7).

MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W.; LOPES, C.A.; SILVA, J.B.C. **A cultura da batata-doce**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ. 1995. 94p. (Coleção Plantar).

MONTEIRO, F.A. et al. Nutrição mineral e qualidade de produtos agrícolas. In: ABEAS. Curso de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Abras-Esalq, 1997, mod. 11.

MORETTO, E. et al. Introdução à ciência de alimentos. **Editora da UFSC**. Florianópolis, 2002. 255p.

MOTSA, N. M. et al. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) as a drought tolerant and food security crop. **South African Journal of Science**, v. 111, n. 11, p. 01- 08, 2015.

NABUBUYA, A.; NAMUTEBI, A.; BYARUHANGA, Y.; NARVHUS, J.; WICKLUND, T. Potential use of selected sweetpotato (*Ipomoea batatas* Lam) varieties as defined by chemical and flour past-ing characteristics. **Food and Nutrition Sciences**, v. 3, p. 889-896, 2012.

NASCIMENTO, K. O.; LOPES, D. S.; TAKEITI, C. Y.; BARBOSA JR, J. L.; BARBOSA, M. I. M. J. Physicochemical characteristics of tubers from organic sweet potato roots. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 225 – 234, 2015.

NELSON, N. et al. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **J. biol. Chem**, v. 153, n. 2, p. 375-380, 1944.

OLIVEIRA, A.P.; FREITAS NETO, P.A.; SANTOS, E.S. Produtividade de inhame, em função de fertilização orgânica e mineral e de épocas de colheita. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, n.2, p.144-147, 2002.

OLIVEIRA, A.P. et al. Rendimento e qualidade de raízes de batata-doce adubada com níveis de uréia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.925-928, 2005.

OLIVEIRA A. P. et al. Produção de raízes de batata-doce em função do uso de doses de N aplicadas no solo e via foliar. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 279-282, 2006.

OTSUBO, A. A., BRITO, O. R., PASSOS, D. P., ARAÚJO, H. S., MERCANTE, F. M. e OTSUBO, V. H. N. Formas de preparo de solo e controle de plantas daninhas nos fatores agrônômicos e de produção da mandioca. *Semina: Ciências Agrárias*, 33: 2241-2246, 2012.

PANDA, V.; SONKAMBLE, M. phytochemical constituents and pharmacological activity of *Ipomoea batatas* (L) – a review. **International Journal of Research in Phytochemistry & Pharmacology**, v. 2, n. 1, p. 25 – 34, 2012.

RAIJ, B. Van. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1997. 285p.

RAIJ, B. Van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas instituto agrônômico, 2001. 285p.

ROBBIO, F. O. E ROBBIO, P. A. Manual de laboratório de química de alimentos. **Varela**. São Paulo, 2003, 135p.

RÓS, A. B.; NARITA, N.; HIRATA, A. C. S. Produtividade de batata-doce e propriedades físicas e químicas de solo em função de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 205-214, 2014.

RÓS, A. B. Soil managements for sweet potato cultivation. **Bragantia**, Campinas, v. 76, n. 1, p.113-124, 2017.

SANTOS, J. F. et al. Produção de batata-doce adubada com esterco bovino em solo com baixo teor de matéria orgânica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 103 - 106, 2006.

SANTOS, C. M.; ESCOBEDO, J. F., Temporal variability of atmospheric turbidity and DNI attenuation in the sugarcane region, Botucatu/SP. **Atmospheric Research**, v.181, p. 312–321, 2016.

SENANAYAKE, S.; RANAWEERA, K.K.D.S.; BAMUNUARACHCHI, A. E GUNARATNE, A. Comparative analysis of trypsin inhibitor levels in sweet potato cultivars in Sri Lanka. **Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka**, v. 42, n. 1, p. 63-69, 2013.

SHANGAKKARA, W.R.M. et al. Root and shoot growth of maize (*Zea mays* L.) as affected by incorporation of *Crotalaria*, *Juncea* and *Tithonia diversifolia* as green manure. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 190, p. 139–146, 2004.

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. **Cultura da batata-doce**. In: Cereda, M.P. (coord.). Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo: Fundação Cargill, v.2, p.448-504, 2002.

SILVA, J.E.L. **Rendimento e teor de amido da batata-doce em função de doses de P2O5 e de espaçamentos de plantio**, 2004. 68 f. (Dissertação mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE**, New York, v. 118, n. 6, 1992, p. 977-980.

SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **J. biol. Chem**, v. 160, p. 69-73, 1945.

SOUTO, J.S. **Adubação mineral e orgânica do cará da costa (*Dioscorea cayennensis* Lam.)**. 1989. 57 f. (Dissertação mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS – **TACO 4ª edição revisada e ampliada**. 2011. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_>. Acesso em: 16 nov 2017.

USDA. **Agricultural Research Service Nutrient**. Data Laboratory. 2009. Disponível em:<<http://ndb.nal.usda.gov/>>Acesso em 30 out 2017.

WHO. Protein and amino acid requirements in human nutrition. **World Health Organization**. 2007, 284p.

ZINGORE, S.P. et al. Nitrogen mineralization and maize yields following applications of tree pruning to a sandy soil in Zimbabwe. **Agroforestry Systems**, v. 57, p. 199–211, 2003.

CAPÍTULO 3

PRODUTIVIDADE COMERCIAL E QUALIDADE NUTRICIONAL DE RAÍZES DE BATATA-DOCE CULTIVADAS SOB DIFERENTES PRÁTICAS CULTURAIS

Dávilla Alessandra da Silva Alves¹, Magali Leonel², Hélio Grassi Filho³

RESUMO

A adição de biossólidos e águas residuais potencializam a sustentabilidade nos cultivos, mas ainda são insipientes os estudos sobre os efeitos na produtividade comercial e na qualidade das raízes. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi determinar a produtividade e a qualidade de raízes de batata-doce em resposta a adubações mineral e orgânica, sob diferentes tipos de solo e água para irrigação. O estudo foi conduzido em delineamento experimental em blocos ao acaso sob esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos foram caracterizados pelo tipo de adubação: AM-mineral (com fertilizante convencional) e AO-orgânica (com lodo de esgoto compostado) em função de dois tipos de água para irrigação (AP-Água Potável e AR-Água Residuária - doméstica de tratamento de esgoto) na batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) var. Brazlândia Roxa cultivada Neossolo Quartzarênico órtico e Latossolo Vermelho distrófico típico textura média. As plantas colhidas foram fracionadas em parte aérea (folhas+ramas) e raízes, e determinou-se a produtividade total e comercial de raízes, incidência de defeituosas, qualidade e caracterização físico-química. Os resultados demonstram que a batata-doce respondeu melhor ao tratamento AO+AR em solo de textura média. A adubação influenciou a composição nutricional das raízes de batata-doce. Os caracteres físico-químicos de qualidade permaneceram dentro dos limites aceitáveis em todos os tratamentos.

Palavras-chave: Rendimento agrícola. Composição nutricional. Proteínas. Amido.

COMMERCIAL PRODUCTIVITY AND NUTRITIONAL QUALITY OF SWEET POTATO ROOTS CULTIVATED UNDER DIFFERENT CULTURAL PRACTICES

ABSTRACT

The addition of biosolids and wastewater enhances crop sustainability, but studies on the effects on commercial productivity and root quality are still insipient. In this sense,

the objective of this work was to determine the productivity and quality of sweet potato roots in response to mineral and organic fertilization under different types of soil and water for irrigation. The study was conducted in a randomized complete block design under a 2 x 4 factorial scheme, with four replications. The treatments were characterized by the type of fertilization: AM-mineral (with conventional fertilizer) and AO-organic (with composted sewage sludge) as a function of two types of water for irrigation (AP- Potable Water and AR- Sewage treatment) in sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) var. Brazlândia Roxa cultivated Quartzarenic orthoses Neosol and Typic dystrophic red Latosol medium texture. The plants harvested were fractionated in aerial parts (leaves + branches) and roots, and total and commercial root productivity, defect incidence, quality and physical-chemical characterization were determined. The results showed that sweet potato responded better to AO + AR treatment in medium texture soil. The type of fertilization influenced the nutritional composition of sweet potato roots. Quality physicochemical characters remained within acceptable limits in all treatments.

Keywords: Agricultural yield. Nutritional composition. Proteins. Starch.

3.1. INTRODUÇÃO

Na agricultura de subsistência é comum a batata-doce ser cultivada em solos pouco estruturados e de baixa fertilidade, sob condições hídricas limitantes. A adoção de técnicas de produção sustentáveis faz-se regra nessas circunstâncias, para a obtenção de safras mais produtivas.

O principal motivo que torna imperativa a manutenção da fertilidade dos solos é pelo fato de que a agricultura convencional que fornece nutrientes do solo para as culturas se tornou insustentável, comprometendo o rendimento da produção (AGYARKO et al., 2013). Como agravante, o estresse hídrico é um dos principais limitadores de rendimento na produção de batata-doce em condições de sequeiro (van HEERDEN; LAURIE, 2008).

O uso de fertilizantes inorgânicos passou a ser frequente para aliviar os problemas de deficiência de nutrientes sob o reflexo da deterioração dos solos e até daqueles de baixa fertilidade natural. Apesar da eficiência, estes possuem custos dispendiosos para os agricultores de pequena escala (Sullivan, 2004); e na busca por

alternativas, o uso de compostos orgânicos revelou-se como importante aliado para os produtores, sobretudo em condições restritivas de insumos (ANTONIUS et al., 2011).

Dentre os materiais de uso potencial, se destacam os resíduos de origem animal, vegetal e de reciclagem urbana. O aumento da produção do lodo de esgoto levou os órgãos ambientais a considerar o uso agrícola como meio de reciclagem. Estes materiais têm sido objeto de extensivos estudos, uma vez que podem reduzir a dependência de fertilizantes comerciais e, melhoram estrutura do solo e o estado dos nutrientes (ANTONIUS et al., 2010; USDA, 2013).

Sob o ponto de vista da escassez de recursos hídricos, a principal alternativa é representada pelo reuso de efluentes nos cultivos agrícolas, devido a sua disponibilidade ao longo do ano, independente de precipitações pluviométricas, sob a possibilidade de ampliar áreas irrigadas em regiões afetadas e, a produção anual de alimentos (KERAITA et al., 2008).

Frente ao exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros de produção e composição nutricional de batata-doce cultivada em solos de textura arenosa e média sob adubação com fertilizante mineral e orgânico e sob dois tipos de água para irrigação.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi desenvolvido em condições de campo, na área experimental pertencente a Faculdade de Ciências Agrônômicas/ UNESP, localizada no município de Botucatu –SP, nas coordenadas 22°52'55" S de latitude e 48°26'22" W de longitude a 786 m de altitude. O clima da região é do tipo Cwa, definido como subtropical, verão quente e úmido com precipitação elevada e estiagem no inverno. Apresenta temperatura média anual de aproximadamente 21°C e precipitação anual de 1.358 mm (SANTOS; ESCOBEDO, 2016).

3.2.2. Delineamento e caracterização dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram caracterizados pelo tipo de adubação, sendo AM-mineral (com fertilizante convencional) e AO-orgânica (com lodo de esgoto compostado) no plantio e em cobertura, em função de dois tipos de água para

irrigação (AP- Água Potável e AR- Água Residuária, doméstica de tratamento de esgoto) e dois tipos de solo: NQ-Neossolo Quartzarênico Órtico e LV- Latossolo Vermelho Distrófico típico textura média, de acordo com classificação proposta pela EMBRAPA (2006), totalizando 32 parcelas experimentais.

Para tanto, utilizou-se a cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam)) var. BRAS Roxa, a qual foi conduzida em recipientes com capacidade volumétrica de 250 L de solo, espaçados sob 5 metros entre linhas e 4 metros entre vasos. No plantio foram utilizadas ramas com 15 cm de comprimento, contendo quatro gemas, as quais foram transplantadas no solo com 1/3 do comprimento fora da superfície, a fim de permitir o desenvolvimento apical, mantendo quatro plantas por recipiente sob espaçamento de 0,75 x 0,50 metros.

3.2.3. Manejo agronômico

Determinaram-se as características químicas do solo antes do plantio e no final do ciclo, seguindo a metodologia proposta por Raij et al. (2001) cujos resultados encontram-se na Tabela 28. Para tanto, procederam-se quatro amostragens em cada repetição, obtidas da camada de 0-40 cm de profundidade, sendo posteriormente homogeneizadas, separadas por repetição e tratamento e, analisadas separadamente, determinando-se as características químicas e correções pertinentes. Para elevar a saturação por bases (V%) a 70% em todas as subparcelas, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 96%, 45 dias antes do plantio.

Tabela 28. Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2016, na camada de 0-40cm. Botucatu, 2017.

Trat.	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³							%	mg dm ⁻³					
				-----											-----	
				mmol _c dm ⁻³												
1	5.3	21.1	170.4	20.1	4.2	54	16.4	75	95	78.9	8.0	0.4	3.8	63.0	4.8	35.7
2	5.4	15.2	170.8	20.6	4.2	35	13.1	53	73	72.0	8.5	0.4	4.0	51.8	3.6	29.9
3	4.6	50.1	177.8	77.2	4.4	54	14.4	73	150	48.5	20.5	0.7	11.6	22.4	6.3	5.7
4	4.5	29.0	156.8	71.6	1.7	42	14.3	59	130	44.9	23.0	0.7	10.1	20.6	4.9	28.3
5	5.3	25.1	187.7	37.2	4.7	59	15.6	80	116	68.3	6.5	0.5	3.2	63.0	2.5	49.3
6	5.4	27.7	182.3	35.2	4.2	48	13.0	65	100	64.9	9.2	0.5	3.6	60.0	2.1	49.1
7	4.4	38.3	180.9	102	2.2	43	11.7	57	158	35.8	53.6	0.7	10.2	20.0	6.2	42.5
8	4.6	41.1	178.6	77.9	2.6	47	15.7	65	143	45.6	22.9	0.8	9.9	16.8	4.0	33.1
9	5.3	37.6	171.0	48.8	6.0	80	26.1	82	160	69.7	70.1	0.5	9.8	45.6	6.9	7.8
10	5.2	33.2	159.1	55.1	5.5	52	21.6	79	134	58.9	46.9	0.6	10.2	38.1	6.3	28.3
11	4.6	46.8	157.6	95.1	5.3	54	15.1	74	169	43.9	154.8	0.9	13.7	22.0	5.6	43.1
12	4.9	46.0	168.8	77.1	4.0	58	21.7	84	161	52.2	59.7	1.1	14.1	79.8	5.6	25.3

Fonte: Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, SP. *M.O = Matéria orgânica.

O biossólido procedente da estação de tratamento de esgoto - ETE do município de Jundiaí/SP- foi submetido à análise para determinação dos parâmetros químicos, segundo metodologia descrita por Lanarv (1988). A quantidade de Lodo de esgoto compostado (LEC) aplicada foi contabilizada pela substituição total à adubação nitrogenada convencional para a cultura, conforme equação descrita:

$$N_{\text{disponível}} = N_{\text{total}} \times \left(\frac{FMN}{100} \right)$$

N orgânico= Quantidade de N presente no LE;

FMN= Fator de mineralização

Para tanto, a dose calculada de biossólido destinada aos tratamentos foi baseada na taxa de mineralização de 30%, ajustada para regiões de clima tropical conforme Andrade (2010), e na quantidade de Nitrogênio (N_{total}) presente no material

orgânico, considerando que em 100 kg de lodo na base seca seriam fornecidos 1,3 kg de N (Tabela 29).

Tabela 29. Caracterização química do biossólido utilizado no experimento.

Parâmetros	Unidade ⁽¹⁾	Concentração
pH	-	7,4
Umidade	%	35
Relação C/N	-	9
Matéria orgânica	%	22
Carbono orgânico	%	12
Nitrogênio	g kg ⁻¹	13
Fósforo	g kg ⁻¹	10
Potássio	g kg ⁻¹	5
Cálcio	g kg ⁻¹	13
Magnésio	g kg ⁻¹	5
Enxofre	g kg ⁻¹	5
Boro	mg kg ⁻¹	64,0
Cobre	mg kg ⁻¹	100
Ferro	mg kg ⁻¹	1504
Manganês	mg kg ⁻¹	316
Zinco	mg kg ⁻¹	244

⁽¹⁾ Resultados expressos com base em massa seca.

Por meio dos resultados obtidos não foi necessária adubação corretiva de fósforo. Entretanto, todos os tratamentos receberam adubações químicas complementares com sulfato de potássio considerando 60 kg ha⁻¹ de K₂O no plantio, sendo parcelado em duas aplicações apenas para a parcela caracterizada pelo tipo de solo: Neossolo Quartzarênico órtico, sendo 50% aplicado no plantio e 50% em cobertura aos 45 dias (RAIJ et al., 1997).

Aos 90 dias, foi realizada adubação complementar com sulfato de potássio (00-00-52 + 45 SO₄) em todas as subparcelas, fornecido via solo em duas aplicações equivalentes a recomendação de 60 kg ha⁻¹ de K₂O, com intervalo de 20 dias (RAIJ, 1997) em razão das precipitações pluviométricas ocorridas.

A adubação nitrogenada mineral foi baseada na recomendação para a cultura (60 kg ha⁻¹), e distribuída em duas aplicações. No plantio, foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N na adubação e 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura aos 45 dias após o plantio, utilizando-se Ureia (RAIJ et al., 1997).

A irrigação foi realizada por gotejamento superficial, sendo as linhas laterais compostas por mangueiras de polietileno com Ø 16 mm, utilizando dois gotejadores autocompensantes com vazão nominal de 4,0 L h⁻¹, por recipiente. Para tanto, foram instaladas duas unidades para controle da irrigação, a primeira contendo água de abastecimento urbano e a segunda com água residuária doméstica tratada.

O efluente de esgoto tratado proveniente da estação de tratamento de esgotos - ETE pertencente à SABESP/ Botucatu-SP, foi fornecido semanalmente, e ao sair do reservatório foram coletadas amostras para serem analisados parâmetros de pH, condutividade elétrica, macro e micronutrientes, a fim de contabilizar a contribuição diária de nutrientes por meio da proporção contida no efluente e a lâmina diária aplicada.

A lâmina diária aplicada foi baseada na estimativa da evapotranspiração da cultura, obtida diariamente por meio do método do Tanque Classe A e corrigido pelo coeficiente de cultivo da cultura ($K_{C_{\text{batata-doce}}}$), considerando 95% de eficiência do sistema, percentual obtido por testes realizados de acordo com metodologia proposta por Keller; Bliesner (1990). As equações utilizadas são descritas a seguir:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Onde:

(ET_o) - evapotranspiração calculada pela razão entre a evaporação do tanque Classe A (ECA) e o coeficiente do tanque (K_p), determinado pelo método de Snyder (1992);

(K_c) - coeficiente de cultivo, adotando-se valores específicos para cada estágio de cultivo da cultura; 0,5 na fase de estabelecimento, 1,15 no desenvolvimento vegetativo e 0,65 na maturação da batata-doce (ALLEN,1998).

Assim, a lâmina de água a ser aplicada em cada unidade experimental foi determinada pela equação:

$$Lap = \frac{ET_c \times A}{Ef}$$

Onde:

Lap = Lâmina a ser aplicada (mm);

ETc = Evapotranspiração da cultura;

A = Área do vaso (m^2);

E_f = Eficiência do sistema de irrigação (95%).

O tempo de irrigação foi calculado pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a vazão nominal do gotejador.

Os dados ambientais foram extraídos da estação meteorológica instalada à dez metros do local, registrados durante o período de condução do experimento (01 de dezembro de 2016 a 15 de maio de 2017) e estão apresentados na Figura 6.

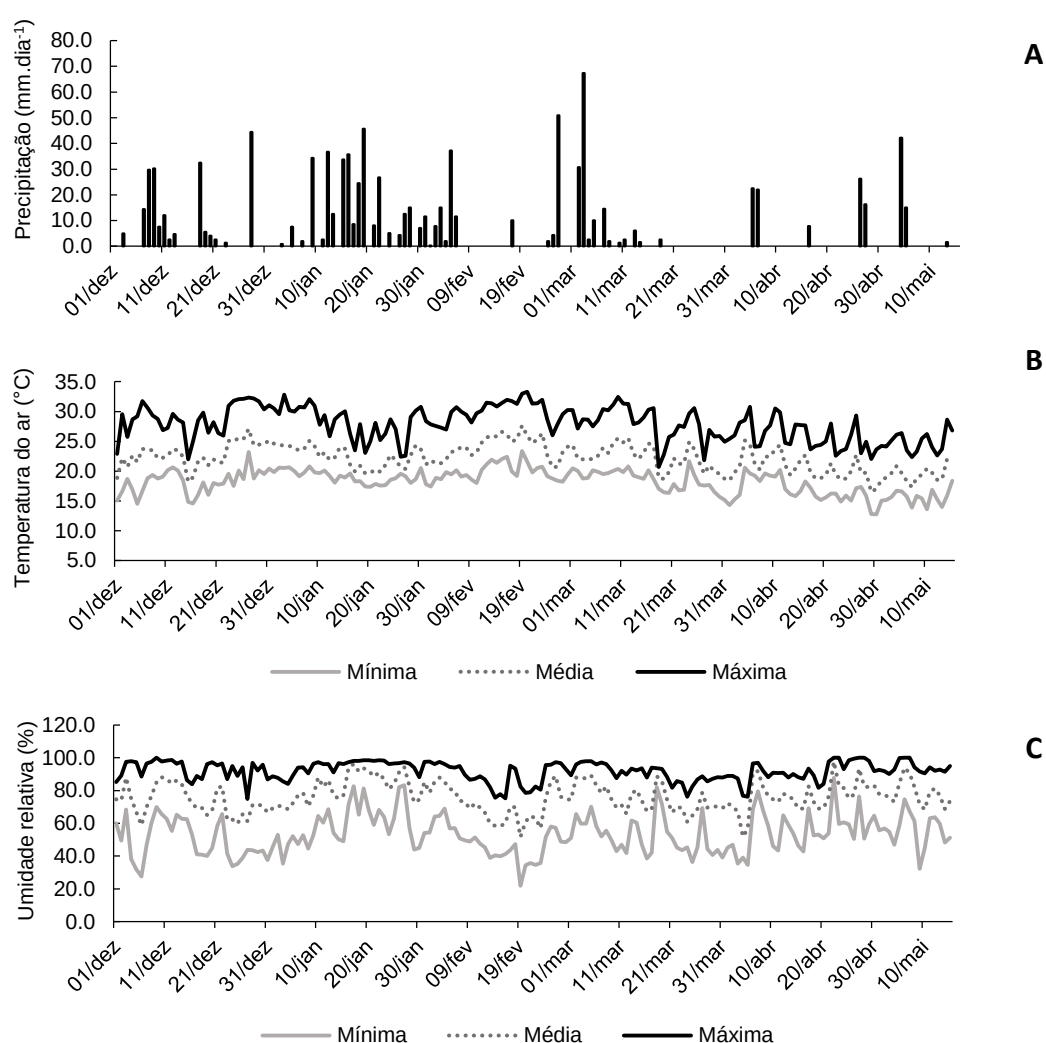


Figura 6. Dados ambientais de (A) precipitação pluvial diária; (B) temperatura do ar mínima, média e máxima e (C) umidade relativa do ar mínima, média e máxima registrados durante o período experimental. Botucatu (SP), 2017. Elaboração: próprio autor.

3.2.4. Parâmetros avaliados

As plantas de todas as parcelas úteis foram colhidas no dia 15/05/2017 (165 dias após o plantio), e posteriormente, fracionadas em parte aérea (ramas e folhas) e raízes. As tuberosas foram lavadas e escovadas com água corrente e água deionizada, e encaminhadas ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT)/UNESP - Botucatu-SP, para a realização das análises de qualidade e caracterização físico-química.

3.2.4.1. Incidência de raízes tuberosas com defeitos

Avaliou-se mediante a contagem do número de raízes tuberosas com incidência de rachaduras salientes, deformações e esverdeamento (MIRANDA et al., 1995). A incidência de defeitos foi obtida pela relação entre o número de raízes tuberosas defeituosas e o número total de raízes tuberosas, sendo os valores expressos em porcentagem (%).

3.2.4.2. Número, produtividade e classificação das raízes tuberosas

A produtividade total foi obtida a partir do somatório de todas as classes de raízes tuberosas, inclusive àquelas com peso menor que 70 gramas, respectivamente (MIRANDA et al., 1995; SILVA et al., 2002). As raízes lisas de formato alongado e uniforme foram contadas, pesadas e classificadas nas seguintes categorias: extra (70 a 149g), extra AA (150 a 299g), extra A (> 300g) (CEAGESP, 2011). Após o procedimento, determinou-se a produtividade por classe.

3.2.4.3. pH e acidez

Para a determinação do logaritmo negativo da concentração hidrogeniônica, fatiaram-se tuberosas de três tamanhos (grande, médio e pequeno) e utilizaram-se 5g de cada amostra "*in natura*" em becker de 100 mL, adicionados 50 mL de água destilada e processado por 20 segundos. Após o repouso de 10 minutos, na porção sobrenadante determinou-se o pH, seguindo a metodologia da AOAC (2005). O teor de acidez titulável, que representa o conteúdo total de íons hidrogênio neutralizáveis na amostra, foi quantificado na mesma amostra após a determinação do pH, seguindo a metodologia da AOAC (2005) e os resultados expressos na base úmida em mg de ácido málico por 100g⁻¹.

3.2.4.4. Caracterização físico-química

Para tanto, obteve-se uma porção representativa de raízes nos tamanhos: grande, médio e pequeno para cada repetição. Em seguida, as amostras foram fatiadas, pesadas com auxílio de balança analítica e inseridas em sacos de papel devidamente identificados para secagem em estufa de circulação forçada a 105°C até peso constante, a fim de inibir a ação da água no favorecimento do desenvolvimento microbiano e na atividade enzimática.

Após secagem, pesaram-se as amostras novamente para obtenção do peso da matéria seca, as quais foram posteriormente processadas em moinho tipo Whilley com peneira de 1mm para obtenção da farinha. Utilizou-se 100g de farinha para cada subparcela.

3.2.4.5. Umidade

A porcentagem de umidade foi determinada utilizando-se 3 g de amostra de cada material e secas em estufa a 105°C até a obtenção de peso constante. Após esse período foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador e novamente pesadas, seguindo o método da AOAC (2005).

3.2.4.6. Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, conteúdo que representa o total de sais minerais na amostra (substâncias não voláteis até 550°C), submeteram-se 3 g de amostra em mufla a 550°C por 2 horas até a calcinação completa. Após esse período as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas, seguindo a metodologia da AOAC (2005), sendo os resultados expressos na base úmida em g 100g⁻¹.

3.2.4.7. Matéria graxa

Para o teor de matéria graxa, empregaram-se três repetições de aproximadamente 3g de cada amostra, as quais foram inseridas em extrator Soxhlet, utilizando éter de petróleo para a extração, seguindo a metodologia da AOAC (2005), com resultados expressos na base úmida em g 100g⁻¹.

3.2.4.8. Fibras

Quanto ao teor de fibra bruta, que representa o conteúdo total de fibras, 3g de cada amostra foi inserida em bloco digestor completo (com tubos e condensador),

acrescentando-se no tubo de digestão 200 mL de solução de H_2SO_4 a 1,25% e, submetido à ebulição branda durante 30 minutos. O material retido em filtro de papel apropriado foi lavado com auxílio de água destilada quente, transferido para o tubo digestor com auxílio de 200 mL de NaOH a 1,25% e submetido novamente ao processo de digestão. Após a segunda filtragem em filtro identificado, o filtro juntamente com a amostra foi submetido ao processo de secagem completa em estufa com temperatura de 105°C , com circulação de ar forçado. Em seguida, esfriados à temperatura ambiente por 2 horas em dessecador e, sequencialmente pesados, seguindo a metodologia da AOAC (2005), sendo os resultados expressos na base úmida em $\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

3.2.4.9. Proteína

Para o teor de proteína bruta, que representa o conteúdo total de protídeos na amostra, submeteram-se 200 mg de amostra em bloco digestor de proteína (Micro-Kjeldahl), seguindo a metodologia da AOAC (2005), com fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína bruta de 6,25 e com resultados expressos na base úmida em $\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

3.2.4.10. Açúcares solúveis totais

Visando determinar o teor de açúcares solúveis, que representa o conteúdo total de açúcares redutores, mais a sacarose e outros possíveis açúcares solúveis presentes na amostra, 500 mg de cada amostra foram colocadas em erlenmeyer de 250 mL onde foi acrescentado 30 mL de etanol absoluto P.A. e 30 mL de água destilada, levando ao banho-maria com temperatura entre $60-65^\circ\text{C}$ por 1 hora. Em seguida, acrescentou-se 1 mL de HCl P.A. concentrado e procedeu-se à agitação, retornando ao banho-maria por mais uma hora na mesma faixa de temperatura, seguindo o método proposto por Somogy (1945) e Nelson (1944). Os resultados foram expressos na base úmida em $\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

3.2.4.11. Amido

A determinação de amido foi realizada pelo método enzimático. A amostra de 200 mg peneirada (abertura de 0,180 mm) acrescentou-se 42 mL de água destilada e 1 mL de solução comercial de alfa-amilase (Termamyl 120L- Novo Nordisk) a 50% (v/v). Após estes procedimentos os erlenmeyers foram levados ao banho-maria, com

agitação suave, a 90°C, durante 2 horas. Junto se realizou uma prova em branco. Nas amostras dextrinizadas foram acrescentadas 2,5 mL de solução tampão acetato 2 M, de pH 4,8 e 5 mL de solução recém preparada e filtrada de Amiloglucosidase EC 3.2.1.3 de *Rhizopus* SP (Sigma), na concentração de 10 mg/mL. Os erlenmeyers com as amostras mais as provas em branco, foram levados ao banho-maria com agitação contínua a 60°C por 2 horas. Logo após, retirou-se a amostra hidrolisada a qual foi resfriada até a temperatura ambiente e corrigido o pH entre 7 e 9 com NaOH a 4 M e transferindo para um balão volumétrico de 250 mL. O volume foi completado com água destilada e 5 mL desta diluição foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, completado com água destilada, filtrado em papel simples e no material filtrado foi dosado o teor de açúcares redutores, obedecendo a metodologia proposta por Somogy (1945) e Nelson (1944) e AOAC (2005), utilizando o fator de conversão de 0,9, com os resultados expressos na base úmida em g 100g⁻¹.

As etapas das análises dos componentes físico-químicos na batata-doce são descritos na Figura 7.

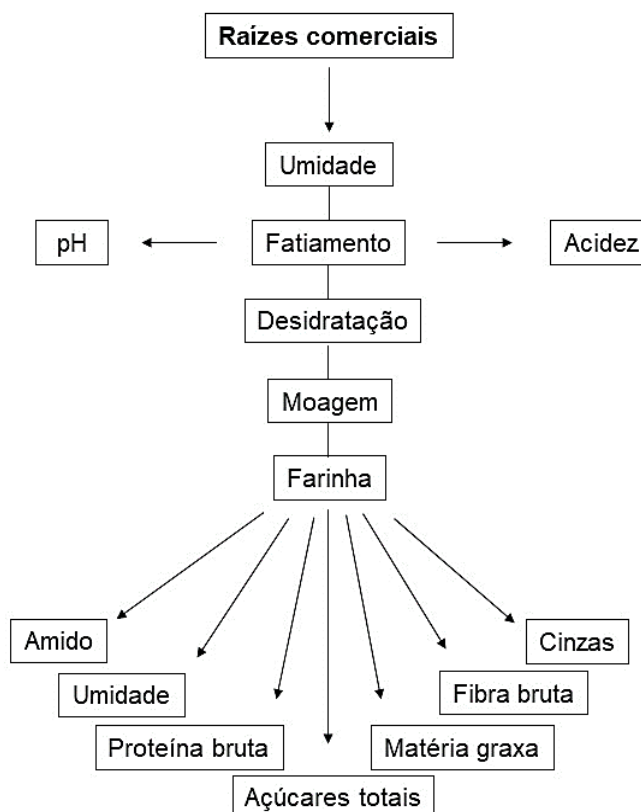


Figura 7. Fluxograma das etapas de caracterização das raízes e de amidos.

3.2.5. Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de comparação de médias (Tukey a $p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no *software* AgroEstat.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A incidência de raízes defeituosas apresentou índices entre 25,41% a 5,27% em solo arenoso (NQ); e de 24,52% a 4,94% para o solo de textura média (LV) e textura argilosa (NV), com maior índice encontrado na testemunha e menor para a parcela tratada com fertilizante orgânico, respectivamente.

A Tabela 30 apresenta os valores médios de nutrientes fornecidos por meio da irrigação com efluente doméstico tratado, utilizado durante o experimento.

No final do período experimental não foram quantificados teores de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) no efluente em razão da possível ausência dos elementos. Verificou-se que a utilização da água residuária doméstica tratada demonstrou maior eficiência no fornecimento de Nitrogênio, Potássio e Cálcio, o que pode fornecer subsídios para a produção da cultura.

Tabela 30. Estimativa da contribuição diária de macro e micronutrientes acrescentados no ciclo da cultura da batata-doce via irrigação com efluente tratado.

Estádio de desenvolvimento	Período (dias)	EET								
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn
		----- mg vaso ⁻¹ -----								
Plantio ao estabelecimento	0 – 30	1194	33,0	504	583	61,3	218	1,0	7,6	1,4
Crescimento vegetativo	31 – 60	1049	30,4	449	562	56,2	187	0,9	4,9	1,1
Maturação à colheita	61 -150	6082	175,9	1606	1258	325,9	386	5,4	28,2	6,5
Total		8326	239	2561	2404	443,4	792	7,4	40,7	9,0

*EET – Efluente de esgoto doméstico tratado.

As diferentes práticas culturais de adubação e irrigação desempenhadas neste trabalho demonstraram influências na maioria dos parâmetros estudados.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 31, para os parâmetros de produtividade total e de raízes comerciais, e diâmetro de raízes de batata-doce, foram observadas interações significativas entre os fatores: adubação e textura do solo. Nota-se pelos resultados que o melhor rendimento de raízes comerciais, assim como o maior diâmetro, foram obtidos nos tratamentos que receberam adubação orgânica associada a irrigação com efluente tratado, em ambos os tipos solos. Os menores rendimentos foram apresentados pelas testemunhas, que receberam adubação mineral sem a suplementação com efluente.

Verifica-se para o solo de textura arenosa (NQ) que o melhor rendimento comercial foi apresentado pelo tratamento AO+AP, sendo que para o solo de textura média (LV) o tratamento AO+AR obteve a maior média. As menores produtividades de raízes, apresentadas pelas testemunhas, foram 37,49 e 43,17% menores em comparação ao maior rendimento verificado.

Quanto ao desempenho entre tipos de solo, as médias também apresentaram diferenças significativas. Os resultados gerais apontam que a cultura da batata-doce respondeu melhor quando cultivada no solo de textura média (LV), obtendo maiores rendimentos em relação ao solo de textura arenosa (NQ).

A explicação para as respostas da produtividade total de raízes comerciais de batata-doce terem ocorrido com maior expressividade em solo de textura média, pode ser atribuída a dinâmica da matéria orgânica contida no material utilizado em relação à textura do solo.

A dinâmica da matéria orgânica, conforme postulado por Feller et al. (1999), varia com a quantidade de argila presente no meio. Concomitantemente, Paes et al. (1996) afirma que quão maior for o teor de argila, mais lenta será a mineralização, devido a maior quantidade de sítios de troca em suas partículas que, conseqüentemente, aumentam as relações organo-minerais. Os benefícios dessa relação, segundo os autores, provavelmente refletirão na proteção do carbono pelas argilas e, na liberação dos nutrientes e carbono de forma gradativa, o que explica o solo de textura média ter sido mais propício.

Portanto, provavelmente as perdas de carbono no solo arenoso foram mais intensificadas em comparação ao solo de partículas mais finas, acreditando-se que os nutrientes foram menos aproveitados pela cultura, em razão de na fase inicial a planta não ter habilidade para absorver os nutrientes, sendo basicamente absorção de água.

Em relação ao uso do efluente junto a adubação orgânica, seus efeitos podem ter favorecido a atividade microbiana do solo por conter carbono e nitrogênio em sua composição e, conseqüentemente, intensificando os processos de mineralização de compostos orgânicos de liberação rápida, a exemplo de carboidratos, proteínas e hemiceluloses provenientes dos resíduos vegetais, podendo ser melhor aproveitado pelas raízes da batata-doce a curto prazo. (CARVALHO, 2001; DUARTE et al., 2008)

Em segundo momento, conforme a liberação gradativa, o efluente provavelmente agiu como fonte extra de nutrientes, mantendo o aproveitamento pela cultura analogamente ao seu desenvolvimento como um todo, como pode ser observado o seu comportamento quando comparada entre os tratamentos AM+AP e AM+AR, sendo o último atribuído com melhores respostas na produtividade da cultura.

Os benefícios do uso associado entre biossólido e efluente são relatados por diversos autores. Weicong et al. (2014) constataram aumento de 33 e 39% no rendimento de óleo Crambe. Analogamente, Lima (2015) também constatou influências significativas no rendimento do óleo em girassol. Louzada (2016) e Kummer (2013) observaram incrementos de 125,21% e 86% na produtividade de grãos de crambe e soja, respectivamente.

Os resultados da avaliação referente ao diâmetro médio de raízes de batata doce apontam que as adubações demonstraram efeitos significativos. Analogamente ao parâmetro anterior, para o solo de textura arenosa (NQ), houve favorecimento com a adubação orgânica junto à irrigação com o efluente tratado, com média estatisticamente maior em relação aos demais tratamentos. No solo de textura média (LV), o tipo de água utilizada na irrigação junto com o composto orgânico não apresentou influências sobre o diâmetro das túberas, porém, a maior média foi observada na parcela referente ao tratamento AO+AR.

O comportamento da cultura entre os tipos de solo denotou diferenças significativas. Os resultados gerais apontam que o cultivo da batata-doce foi expressivamente melhor em solo de textura média, e o cultivo em solo de textura arenosa obteve redução média de 9,02 cm no diâmetro, quando comparado ao anterior em condições semelhantes de cultivo.

Tabela 31. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo nos componentes de produção e características agronômicas de raízes de batata doce, Botucatu, 2017.

Adubações	Solo							
	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV
	Produtividade Total	Produtividade Total	Extra	Extra	Extra AA	Extra AA	Diâmetro	Diâmetro
	----- kg ha ⁻¹ -----				----- cm -----			
AM + AP	21562,91 Db	32918,57 Ca	10487,01 Db	8268,82 Db	5163,74 Cb	6382,29 Da	35,05 Ba	36,21 Ba
AM + AR	49732,58 Cb	61204,16 Ba	11704,4 Cb	13767,39 Ca	19427,32 Bb	20826,72 Cb	41,21 Ba	41,95 Ba
AO + AP	57514,39 Ab	61512,83 Ba	27260,12 Aa	16831,77 Ba	24155,37 Aa	23057,50 Ba	40,45 Bb	49,47 Aa
AO + AR	51355,66 Bb	76247,52 Aa	18704 Bb	30707,52 Aa	23461,22 Aa	24962,61 Aa	50,60 Aa	54,79 Aa
----- p -----								
Adubações (A)	< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01	
Solo (S)	< 0,01		2,90 ^{ns}		< 0,01		< 0,01	
A x S	< 0,01		< 0,01		< 0,01		< 0,01	
C.V. (%)	0,77		3,42		2,09		7,96	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

Em relação ao comprimento médio de raízes (Tabela 32), a análise dos dados apontou efeitos significativos apenas entre adubações, os quais demonstram que o crescimento longitudinal aumentou quando se utilizou o biossólido independentemente do tipo de água utilizada.

Na relação diâmetro e comprimento entre adubações e textura do solo, presume-se que as influências do material orgânico ocorreram além dos aspectos químicos de nutrição e fertilidade, podendo ser atribuído também às características físicas do solo, agindo possivelmente na redução do atrito entre raízes e barreiras físicas, favorecendo o desenvolvimento das tuberosas.

Resultados encontrados por Lambert (2013) em condições semelhantes a este experimento corroboram com o presente trabalho. O autor ao avaliar o uso do lodo de esgoto em comparação a adubação química, encontrou taxas decrescentes de 9,37% para camada de 0-10 e de 6,71% na densidade do solo com o uso do composto, entre profundidades de 0-10 e de 11-20 cm, respectivamente.

De acordo Hernando; Polo (1989) e Tester (1990), o uso da matéria orgânica age na estabilidade das partículas, favorece a aeração e o fluxo equilibrado da umidade e auxilia na redução da densidade aparente do solo. Tornando o meio propício para o cultivo de culturas tuberosas, como a utilizada neste trabalho, até mesmo em solos mais argilosos.

Tabela 32. Característica agrônômica de raízes de batata-doce em função de diferentes fontes de adubação e tipos de solo. Botucatu, 2017.

Adubações	Comprimento
	cm
AM + AP	14,94 b
AM + AR	18,13 ab
AO + AP	18,75 a
AO + AR	20,38 a
Solo	
NQ	17,73
LV	18,31
	----- p -----
Adubações (A)	< 0,01
Solo (S)	0,53 ^{ns}
A x S	0,26 ^{ns}
C.V. (%)	12,96

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação.

Quanto aos parâmetros de qualidade apresentados na Tabela 33, não houve efeitos significativos para pH e acidez titulável, exceto sobre o teor de umidade das raízes, as quais alcançaram maior acúmulo no tratamento AM+AR. Verificam-se reduções no teor de água conforme o incremento de nutrientes por meio das adubações, com decréscimo de 71,39 para 69,30% conforme apresentado.

De acordo com Westermann et al. (1994) o potássio favorece o acúmulo de água nos tubérculos. Todavia, Popp (2005) destaca que o teor da umidade em tuberosas varia com a interação entre fatores como cultivar, condições de campo, modo de adubação e disponibilidade de cloro, sendo o último não observado no presente trabalho. Resultados semelhantes foram encontrados por Quadros et al. (2009) ao testar quatro genótipos de batata fertilizada com diferentes doses e fontes de potássio, encontrando variações de 79,10 a 81,47% de umidade.

Consoante a Zorzella et al. (2003), este dado indica a qualidade da raiz e o seu potencial para consumo e uso industrial, influenciando na textura do produto final. Os teores de umidade nas raízes de batata-doce estão de acordo com os valores médios descritos na TACO (2011) e USDA (2009) os quais citam 69,50 e 77,28%, respectivamente. Quanto aos valores de pH e acidez do presente trabalho, estes foram superiores aos encontrados por Leonel et al. (1998) e Cereda et al. (1985) e semelhantes aos encontrados por Correa (2016).

Tabela 33. Componentes de qualidade de raízes tuberosas de batata-doce cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.

Adubações	Umidade	pH	Acidez
	(%)		mg C ₄ H ₆ O ₅ 100g ⁻¹
AM + AP	71,39 a	6,10	2,25
AM + AR	68,66 b	6,18	2,18
AO + AP	69,95 ab	6,12	2,47
AO + AR	69,30 ab	6,18	2,16
Solo (S)			
NQ	69,83	6,16	2,28
LV	69,81	6,13	2,24
----- p -----			
Adubações (A)	< 0,05	0,56 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Solo (S)	0,97 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,67 ^{ns}
A x S	0,44 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,34 ^{ns}
C.V. (%)	2,16	2,36	11,34

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

Conforme os resultados apresentados na Tabela 34 foram observadas interações significativas entre os fatores adubação e textura do solo, para os teores de proteínas, matéria graxa e açúcares totais em raízes de batata-doce. As interações demonstram, de maneira geral, melhores resultados com a adubação orgânica junto à irrigação com efluente tratado em ambos os tipos solos, exceto para teor de proteínas que não se verificou diferenças significativas ao último fator supracitado.

O tipo de adubação influenciou o conteúdo de proteínas nas raízes. Verifica-se que a adubação mineral junto a irrigação com o efluente tratado no solo de textura arenosa (NQ) aferiu aumento no acúmulo, diferindo em relação a testemunha (AM+AP). No solo de textura média (LV), o maior teor de proteína foi alcançado na parcela tratada com biossólido e água residuária, sendo a menor média apresentada pela testemunha. Os demais tratamentos não diferiram estatisticamente.

Para ambos os casos, a adubação orgânica pode ser melhor recomendada, devido aos benefícios ambientais e econômicos advindos da redução na dependência exclusiva de fertilizantes sintéticos.

As respostas relativas quanto ao teor de matéria graxa nas raízes de batata-doce analisadas, demonstraram que houve maior acúmulo de material etéreo na parcela tratada com AO+AR dentro do solo de textura arenosa (NQ), os demais tratamentos não se diferiram estatisticamente entre si. Para o solo de textura média (LV), os tipos de adubação utilizadas diferiram estatisticamente.

A comparação entre texturas de solo demonstrou efeitos significativas. Os resultados gerais denotam, que a batata-doce cultivada em solo de textura arenosa (NQ), obteve maiores acúmulos de matéria graxa.

De maneira geral, estas variações comportamentais de resposta da cultura aos parâmetros citados na presente pesquisa, entre adubações e textura dos solos, podem ser atribuídas ao material vegetal utilizado.

Dong et al. (2017) ao avaliar dez cultivares de batata-doce comumente cultivadas na China destacou variações de 1,61 a 3,98 g 100g⁻¹ de proteína bruta, 0,18 a 0,47 g 100g⁻¹ de matéria graxa. Duarte et al. (2016) registrou variações de 1,98 a 2,57 g 100g⁻¹ de proteína bruta em oito genótipos de mandioca, e Quadros et al. (2009) encontrou variações de 1,85 a 2,25 g 100g⁻¹ de proteínas, mas não obteve diferenças significativas quanto a composição de matéria graxa em três cultivares de batata cultivada sobre diferentes doses de potássio.

Paralelamente, o teor de açúcares totais no presente trabalho também demonstrou variações significativas. A cultura obteve melhor desempenho no acúmulo de açúcares quando tratada com o composto orgânico sob a irrigação com a água residuária tratada, diferindo-se estatisticamente dos demais tratamentos.

A resposta da cultura ao acúmulo de açúcares entre solos não apontou diferenças significativas. Apesar disso, os resultados gerais obtidos no presente trabalho demonstram que o cultivo da batata-doce em solo de textura arenosa também obteve melhor resposta.

Resultados relatados por Correa et al. (2016) corroboram com o alcançado no presente trabalho. Os autores retrataram variações de 3,20 a 3,50 g 100g⁻¹ de açúcares em batata-doce manejada sob parcelamento da adubação nitrogenada. Antonius et al. (2011) relatou aumento no teor de açúcares totais em batata-doce com o uso do lodo de esgoto, semelhante ao relatado por Nicoletto et al. (2017), que registrou aumento de 19,9 a 29,4% com o incremento de nitrogênio por meio do uso de resíduos de digestão anaeróbia (ADRs). Esse comportamento também foi relatado por Kumar et al. (2004) em batata, a qual foi detectada aumento nos açúcares quando houve maior consumo de nitrogênio orgânico.

A explicação para este comportamento pode ser atribuída ao aumento da eficiência fotossintética da planta e consequentemente acúmulo de açúcares. Contribuindo com os resultados alcançados no presente trabalho, Bourn; Prescott (2002) concluíram que a aplicação de fertilizantes na produção agrícola afeta a composição química de plantas.

Cserni et al. (1987) detectaram que quanto maior a quantidade de nitrogênio disponível para as culturas maior será a absorção e maior será a taxa fotossintética. Isso explica a resposta da cultura quanto aos tratamentos adotados, uma vez que o nitrogênio é componente essencial da enzima-chave na fixação de carbono, a ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase, atribuída como Rubisco (FYLLAS et al., 2009).

Vale ressaltar que durante o período experimental, além das adubações de cobertura, houve o fornecimento diário de potássio por meio da irrigação com o efluente. O papel do elemento é também preponderante no acúmulo de açúcares, podendo ser um dos motivos para os resultados encontrados.

De acordo com Mengel (1974) e Malavolta (2006) o potássio atua tanto na fotossíntese como na distribuição dos produtos resultantes do processo,

armazenando-os na forma de açúcares em órgãos de reserva. A eficiência na translocação promovida pela presença do elemento influencia os teores de açúcares solúveis e de amido, isso justifica a importância do elemento para a cultura da batata-doce (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os teores de proteínas estão próximos aos citados na TACO (2011) e USDA (2009), que descrevem teores de 1,3 e 1,57 para proteínas em raízes cruas de batata-doce. Os valores de matéria graxa foram superiores aos achados de Leonel et al. (1998) e Cereda et al. (1985), os quais relatam valores de 0,16 e 0,88 g 100g⁻¹, respectivamente. Os açúcares estão de acordo com os reportados por Miranda et al. (1995), os quais encontraram valores entre 4,8 a 7,8% (Tabela 33).

Tabela 34. Interação entre fontes de adubação e tipos de solo na qualidade físico-química de raízes de batata doce. Botucatu, 2017.

Adubações	Solo					
	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV
	Proteína	Proteína	Matéria graxa	Matéria graxa	Açúcar total	Açúcar total
	----- g 100g ⁻¹ -----					
Mineral + AP	0,86 Ba	0,83 Ca	0,53 Ba	0,58 Aa	3,60 Ba	3,08 Ba
Mineral + AR	1,31 Aa	1,06 BCb	0,57 Ba	0,59 Aa	3,56 Ba	3,24 Bb
Orgânica + AP	1,28 Aa	1,15 Ba	0,67 Ba	0,60 Aa	3,61 Ba	3,43 Ba
Orgânica + AR	1,21 Ab	1,77 Aa	1,07 Aa	0,56 Ab	4,05 Ab	4,74 Aa
	----- p -----					
Adubações (A)	< 0,01		< 0,01		< 0,01	
Solo (S)	0,46		< 0,05		0,42	
A x S	< 0,01		< 0,01		< 0,01	
C.V. (%)	13,46		20,67		8,03	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

Diferente do observado anteriormente, não houve efeitos significativos sobre o teor de fibra bruta nas raízes de batata-doce produzidas no presente trabalho, não sendo detectados quaisquer efeitos nem para interação dos fatores e nem entre solos. Analogamente, os demais parâmetros físico-químicos referentes a cinzas (minerais fixos) e amido não foram afetados pelas adubações e nem pelo tipo de solo ao nível de significância adotado (Tabela 35).

Este comportamento pode ser atribuído ao material vegetal utilizado, que possivelmente não responde aos modos de adubação adotados na qualidade de raízes. Mei et al. (2010), atribuem a qualidade físico-química ao genótipo utilizado.

Por outro lado, a alta precipitação que caracterizou grande parte de o ciclo da cultura deve ser ressaltada, uma vez que pode ter reduzido a atividade normal da amilase. De acordo com La Bonte et al. (2000), quando a atividade da amilase é comprometida, o resultado é a redução na conversão da maioria dos açúcares simples em amido.

Os valores para fibras e cinzas encontrados (Tabela 34) estão de acordo com as médias descritas na TACO (2011) e USDA (2009), sendo relatados teores de 2,6 e 3,0 g 100g⁻¹ para fibras e, 0,9 e 0,99 g 100g⁻¹ para cinzas, respectivamente. Os valores encontrados para amido estão dentro da faixa relatada no estudo de Miranda et al. (1995), com variação de 13,4 a 29,2 g 100g⁻¹.

Tabela 35. Parâmetros de qualidade físico-química de raízes tuberosas de batata doce, cultivadas em diferentes condições de adubação e água para irrigação. Botucatu, 2017.

Adubações	Fibras	Cinzas	Amido
	g 100g ⁻¹		
Mineral + AP	1,11	0,97	23,67
Mineral + AR	1,30	1,05	24,25
Orgânica + AP	1,16	1,15	24,67
Orgânica + AR	1,48	1,26	25,33
Solo (S)			
NQ	1,50	1,15	24,21
LV	1,28	1,06	24,75
	p		
Adubações (A)	0,64	0,09	0,23
Solo (S)	0,12	0,28	0,34
T x A	0,69	0,98	0,19
C.V. (%)	27,73	20,92	6,48

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey. Legenda: NQ – Neossolo Quartzarênico órtico (textura arenosa); LV – Latossolo Vermelho distrófico (textura média). AM+AP – Adubação mineral + água de abastecimento; AM+AR – Adubação mineral + água residuária; AO+AP – Adubação orgânica + água de abastecimento; AO+AR – Adubação orgânica + água residuária. ^{ns} não significativo; (p <0,05) significativo a 5% de probabilidade. (p <0,01) significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

3.4. CONCLUSÕES

Não houve influência da adubação mineral nos parâmetros agronômicos de produção, com maior limitação em solo arenoso.

A adubação orgânica aumenta na produtividade comercial de raízes. A textura do solo influencia na mineralização do material e eficiência sobre a resposta da planta.

Os parâmetros de qualidade de estado de conservação: pH, umidade e acidez da batata-doce não foram afetados pelo uso do composto orgânico e do efluente.

Os modos de adubação e tipo de solo não influenciam os parâmetros físico-químicos das raízes de batata-doce. As raízes permaneceram com características nutritivas adequadas

O uso do lodo de esgoto compostado associado a água residuária é viável do ponto de vista técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGYARKO, K. et al. Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) Yield Parameters, Soil Chemical Properties and Cost Benefit Ratios Following Incorporation of Poultry Manure and Inorganic NPK Fertilizers in Low Nutrient Ghanaian Soils. **International Journal of Plant & Soil Science**, v.3, n. 2, p. 129-138, 2014
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO. **Irrigation and drainage paper**, v. 56, 301p., 1998.
- ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, R.C.; PIRES, A.M.M. Nitrogênio presente em lodo de esgoto e a resolução n. 375 do Conama In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: Avaliação após a resolução nº 375 do Conama**. Botucatu: Editora FEPAF, 2010. p. 157-170.
- ANTONIOUS, G.F. Mobility and half-life of bensulide in agricultural soil. **J. Environ. Science & Health**, Part B, v. 45, p.1–10., 2010.
- ANTONIOUS, G., et al. Heavy metals uptake in plant parts of sweet potato grown in soil fertilized with municipal sewage sludge. **Int. J. Geol.**, v. 5, p. 14-20, 2011.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 18. th. edition, Gaithersburg, 2005. 3000 p.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Versão 1.0. Jaboticabal: Unesp, 2010.
- BOURN, D.; PRESCOTT, J. A Comparison of the Nutritional Value, Sensory Qualities, and Food Safety of Organically and Conventionally Produced Foods. Critical Reviews in: **Food Science and Nutrition**, v. 42, n. 1, p. 1–34, 2002.

CARVALHO, P. C. T. Compostagem. In: TSUTYA, M. T. et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 181-208.

CENTRO DE QUALIDADE HORTIGRANJEIRO.- CEAGESP. **Ficha da batata-doce**. São Paulo: CEAGESP, 2011. 6p.

CEREDA, M.P.; WOSIACKI, G.; CONCEIÇÃO, F.D.A. Características físico-químicas e reológicas de cultivares de batata doce (*Ipomoea batatas*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 5, p. 61-70, 1985.

CORREA, C. V. et al. Carboidratos e proteína em raízes de batata-doce influenciadas pelo Parcelamento do nitrogênio e armazenamento das raízes. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 12, n 1, p. 36-44, 2016.

CORREA, C. V. **Produção e qualidade de batata-doce em função das doses e parcelamento da adubação potássica**. 2016. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Luiz de Mesquita Filho”, Botucatu - SP, 2016.

CSERNI I; PROHASKA K. The effect of N supply on the nitrate, sugar and carotene content of carrots. **Acta Hort.**, v. 220: p. 303-307, 1987.

DONG, J. U.; HONG-NAN, S. U. N. Sweet potato and potato residual flours as potential nutritional and healthy food material. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n.11, p. 2632–2645, 2017.

DUARTE, A. S. et al Effects of application of treated wastewater in soil: pH, organic matter, phosphorus and potassium. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.

DUARTE, F. F. et al. Produtividade e valor nutricional da parte aérea e de raízes tuberosas de oito genótipos de mandioca de indústria. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.17, n.1, p.1-12, 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. (2006). Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**.

FELLER, C. Organo-mineral interactions in tropical soils. In search of "functional" organic matter pools: the particle-size fractionation approach. In: **Anais Encontro brasileiro sobre substâncias húmicas**, Santa Maria: UFSM, v. 3, p.104-124, 1999.

FYLLAS, N. M. et al. Basin-wide variations in foliar properties of Amazonian forest: phylogeny, soils and climate. **Biogeosciences**, v.6, n.4, p.2677-2708, 2009.

HERNANDO, S; POLO, A. Effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of a soil. **The Science of the Total Environment**, v.81, n. 82, p. 589-596, 1989.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Avibook, 1990. 649p.

KERAITA, B.; JIMÉNEZ, B.; DRECHSEL, P. Extent and implications of agricultural reuse of untreated, partly treated and diluted wastewater in developing countries. **Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, Wallingford, v. 3, n. 58, p. 1-15, 2008.

KUMAR, D.; SINGH, B.P.; KUMAR, P. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. **Annals of Applied Biology**, v.145, n.3, p.247-256, 2004.

KUMMER, A. C. B. **Efeito de efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto compostado no solo e nas culturas de trigo e soja**. 2013. 178 f. Tese (Doutorado) - Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

LA BONTE, D.R., PICHA, D.H., JOHNSON, H.A. Carbohydrate-related changes in sweetpotato storage roots during development. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.** v.125, p. 200–204, 2000.

LANARV. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de Corretivos Fertilizantes e Inoculantes – Métodos Oficiais**. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Ministério da Agricultura. Brasília, 104p., 1988.

LAMBERT, R. A. **Eficiência do uso da água residuária e do lodo de Esgoto compostado nas propriedades químicas e físicas De solo cultivados com laranjeiras**. 2013. 198 f. Tese (Doutorado) - Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M. P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce - um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 3, 1998.

LIMA, R. A. S. **Utilização de resíduos de tratamento de esgoto como suprimento hídrico e nutricional na cultura do girassol**. 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

LOUZADA, I. S. B. **Aplicação da água residuária tratada e de adubação com lodo de esgoto na cultura do crambe**. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W.; LOPES, C.A.; SILVA, J.B.C. **A cultura da batata-doce**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ. 1995. 94p. (Coleção Plantar).

MINITAB, INC. **Minitab Reference Manual (release 13.0)**, Minitab Inc. State Coll. P.A., 2000, USA.

MEI X.; UM, T. H.; HAN, J. J. Composition and physicochemical properties of dietary fiber extracted from residues of 10 varieties of sweet potato by a sieving method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p. 7305–7310., 2010.

MENGEL, K.; VIRO, M. Effect of potassium supply on the transport of photosynthates to the fruits of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). **Physiology Plant**, v.30, p.295-300, 1974.

NELSON, N. et al. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **J. biol. Chem**, v. 153, n. 2, p. 375-380, 1944.

NICOLETTO, C. et al. Distillery anaerobic digestion residues: A new opportunity for sweet potato Fertilization. **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 38–47, 2017.

PAES, J.M.V.; ANDREOLA, F.; BRITO, C.H. e LOUDES, E.G. Decomposição da palha de café em três tipos de solo e sua influência sobre a CTC e o pH. **Revista Ceres**, v.43, p. 337- 342, 1996.

POPP, P. R. **Batata para processamento - aptidão da matéria prima para processamento**. Curitiba: [s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/minas2005/02%20-%20Aptid%E3o%20da%20mat%E9ria%20prima%20para%20a%20ind%FAstria%2001.pdf>>. Acesso em: 23 de out 2017.

QUADROS, D.A.; IUNG, M.C.; FERREIRA, S.M.R.; FREITAS, R.J.S. Composição química de tubérculos de batata para processamento, cultivados sob diferentes doses e fontes de potássio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n.29: 316-323, 2009.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: instituto agrônomo/ fundação IAC. 1997. 285p

RAIJ, B. Van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas instituto agrônomo, 2001. 285p.

SANTOS, C. M.; ESCOBEDO, J. F., (2016). Temporal variability of atmospheric turbidity and DNI attenuation in the sugarcane region, Botucatu/SP. **Atmospheric Research**, v.181, p. 312–321, 2016.

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. **Cultura da batata-doce**. In: Cereda, M.P. (coord.). Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo: Fundação Cargill, v.2, p.448-504, 2002.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE**, New York, v. 118, n. 6, 1992, p. 977-980.

SULLIVAN P. Sustainable Soil Management: Soil Systems Guide. ATTRA National Sustainable Agriculture 165 Information Service. National Center for Appropriate Technology (NCAT). 2004. Disponível em: <<http://attra.ncat.org/attra-pub/PDF/soilmgmt.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2017.

SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **J. biol. Chem**, v. 160, p. 69-73, 1945.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – **TACO 4ª edição revisada e ampliada**. 2011. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_>. Acesso em: 16 nov 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. [tradução: Armando Molina Divan Junior ... et al.]; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. - 5. ed. - Porto Alegre: Artmed, 2013.

TESTER, R.F., MORRISON, W.R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylase and lipids. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.67, p.551-557, 1990.

USDA. **Agricultural Research Service Nutrient**. Data Laboratory. 2009. Disponível em:<<http://ndb.nal.usda.gov/>>Acesso em 30 out 2017.

USDA/National Organic Program. Soil fertility and crop nutrient management practice standard. 7 CFR Section 205.203. 2013. Disponível em: <www.ams.usda.gov/nop>Acesso em: 24. Out. 2017.

VAN HEERDEN, P.D., LAURIE, R. Effects of prolonged restriction in water supply on photosynthesis, shoot development and storage root yield in sweet potato. **Physiol. Plant**, v. 134, p. 99–109, 2008.

WEICONG, Q.; TINNENBROEK-CAPEL, I. E. M.; SCHAART, J. G.; BANGQUAN, H.; JIHUA, C.; VISSER, R. G. F.; VAN LOO, E. N.; KRENS, F. A. **BMC Plant Biology**, vol. 14, n. 1, 235 p. 2014.

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.

ZORZELLA, C. A.; VENDRUSCOLO, J. L.; TREPTOW, R. O.; ALMEIDA, T. L. Caracterização física, química e sensorial de genótipos de batata processados na forma chips. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 6, p. 15-24, 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os teores máximos permitidos de substâncias inorgânicas no lodo de esgoto, diante das leis propostas pela Resolução CONAMA 375/2006, pelo Conselho das Comunidades Europeias (86/278 / CEE), à Agência de Proteção

Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, CFR Part 503, 1993) e a quantidade de aplicações do mesmo ao longo dos anos, o composto utilizado apresentou potencial para uso agrícola, podendo ser utilizado na batata-doce.

Os macronutrientes em maiores concentrações no biossólido foram: $N > P > Ca$, e na água residuária as concentrações encontradas foram na ordem de: $N > K > Ca$, respectivamente.

A aplicação do efluente tratado nas irrigações diárias para a cultura da batata-doce afetou significativamente os parâmetros agrônômicos avaliados. A produtividade foi maior com a utilização do composto, sobretudo com a utilização do efluente em solo argiloso. A aplicação de lodo de esgoto não interferiu na integridade nutricional e na qualidade das tuberosas.

Com relação aos efeitos da água residuária utilizada, se destaca o provimento de potássio (K) às plantas, o que torna característica relevante quando se utiliza a combinação biossólido+AR, visto que o composto apresenta baixa capacidade de disponibilização deste nutriente devido a baixa concentração, por sua vez de maior exigência, tornando promissora o uso desses resíduos no cultivo da batata-doce.

Especialmente, o uso do composto junto ao efluente deve ser monitorado quanto ao teor de Zinco (Zn). A combinação desses resíduos indicou nítido impacto no balanço nutricional do elemento, sendo preocupante a quantidade encontrada na cultura em função da possibilidade de queda na qualidade e produtividade de raízes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAOSTAT - **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division: Sweet Potatoes**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 30 set. 2017.

FOLONI, J.SS. et al. Adubação de cobertura na batata-doce com doses combinadas de nitrogênio e potássio. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, p. 117-126, 2013.

FREITAS, J. A. de. et al. Resistência de Clones de Batata-Doce, *Ipomoea batatas* L., aos Nematoides Causadores de Galhas. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1257 - 1261, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal: informações sobre culturas temporárias. [Batata-doce]**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612#resultado>>. Acesso em: 29 set. 2017.

LOSS, A. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistema de aléias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 867-874, 2009.

MARCHESE, A. et al. Seleção de Clones de Batata-Doce Resistentes a *Meloidogyne incognita* raça 1. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 997 - 1004, 2010.

MEKONNENT, B.; TULU, S.; NEGRO, J. Evaluation of orange fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties for yield and yield contributing parameters in the humid tropics of Southwestern Ethiopia. **Journal of Plant Sciences**, v. 10, n. 5, p. 191-199, 2015.

OLIVEIRA, A. P. et al. Yield of sweet potato fertilized with cattle manure and biofertilizer. **Horticultura Brasileira**, v.28, p.277-281, 2010.

OLIVEIRA, F. A. et al. Tolerância do maxixeiro cultivado em vasos à salinidade da água de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa - MG, v. 61, n.1, p. 147-154, 2014.

PERESSIN, V. A.; FELTRAN, J. C. In: AGUIAR, A.T E. et al. (editores). **Boletim 200**. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Campinas: IAC, 2014. p. 59-61

RÓS, A. B.; NARITA, N.; HIRATA, A. C. S. Produtividade de batata-doce e propriedades físicas e químicas de solo em função de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 205-214, 2014.

SANTOS, J. F. et al. Produção de batata-doce adubada com esterco bovino em solo com baixo teor de matéria orgânica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 103 - 106, 2006.

SILVA, J. A. et al. Rendimento do inhame adubado com esterco bovino e biofertilizante no solo e na folha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.253-257, 2012.

SILVA, G. O. et al. Desempenho de cultivares de batata-doce para caracteres relacionados com o rendimento de raiz. **Revista Ceres**, v. 62, n.4, p. 379-383, 2015.

SOUZA, D. P. et al. Influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu - SP, v. 20, n. 2, p. 348-362, 2015.

YAHAYA, S. U. et al. Evaluating the performance of improved sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam) advanced lines in Kano, Sudan savanna of Nigeria. **International Journal of Agronomy and Agricultural Research**, v. 7, n. 4, p. 52-60, 2015.