



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS

**ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO EM CULTIVOS
FERTIRRIGADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA**

STEPHANIE SIMÕES BRAGA

**JANAÚBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019**

STEPHANIE SIMÕES BRAGA

**ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO EM CULTIVOS FERTIRRIGADOS
COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Orientador
Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo

JANAÚBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

B813a Braga, Stephanie Simões
Alterações físicas do solo em cultivos fertirrigados com água residuária tratada [manuscrito] / Stephanie Simões Braga. – 2019.
37 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2019.

Orientador: Prof. D. Sc. Marcos Koiti Kondo.

1. Água Reutilização. 2. Águas residuais. 3. Solos Análise. I. Kondo, Marcos Koiti. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 628.3623

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

STEPHANIE SIMÕES BRAGA

**ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO EM CULTIVOS FERTIRRIGADOS
COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de fevereiro de 2019.

Profº. Dr. Marcos Koiti Kondo
UNIMONTES (orientador)

Profº. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos
UNIMONTES (Co-orientador)

Profº Dr. Victor Martins Maia
UNIMONTES (Conselheiro)

Dr. Arley Figueiredo Portugal
EMBRAPA (Conselheiro)

Dra. Polyanna Mara de Oliveira
EPAMIG (Conselheira)

**UNIMONTES
MINAS GERAIS – BRASIL
2019**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e à Nossa Senhora, por ter guiado meus passos ao longo dessa jornada e permitir a conclusão de mais essa etapa;

À minha família, minha mãe Eleide, meu pai Hiorque, meus irmãos Jhonny e Amanda e à minha avó Nilza, que sempre me apoiaram e deram força para não desistir;

Ao meu noivo, Walber, por todo amor, companheirismo e apoio. E, principalmente, pela ajuda na execução deste trabalho e nas coletas de solo. Obrigada por sempre estar ao meu lado e nunca ter me deixado desistir!

À Universidade Estadual de Montes Claros, pela oportunidade de realização do Mestrado;

À Companhia de Saneamento de Minas Gerais, pela cessão da área experimental e apoio na realização deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudo;

Ao meu orientador, Professor Marcos Koiti Kondo, pelos ensinamentos e pelo apoio durante esses dois anos de mestrado;

Ao Professor Silvânio Rodrigues dos Santos, pela oportunidade de participação nesse trabalho e pelos conhecimentos transmitidos;

Aos demais membros da banca, o Engenheiro Agrônomo Dr. Arley Figueiredo Portugal, à Engenheira Agrícola Polyanna Mara de Oliveira e ao Professor Victor Martins Maia, pelas sugestões apresentadas e disponibilidade;

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido e do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia;

Aos amigos e estagiários do laboratório de solos: Pablo, Verônica, Caik, Matheus, Marcos e Heberth;

Aos funcionários da UNIMONTES, em especial Gevaldo, Joseilton, Juliano, João, Kelly e Thiago. Aos funcionários da COPASA, em especial ao Alex;

A todos os meus amigos, em especial aos da Unimontes;

A todos aqueles que, no momento, não me recordei, mas que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	4
ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO APÓS CINCO ANOS DE CULTIVOS FERTIRRIGADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA	4
1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4. CONCLUSÕES.....	18
5. AGRADECIMENTOS.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CAPÍTULO 2	22
ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLOCULTIVADO COM BANANEIRA ‘PRATA- ANÃ’ FERTIRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA.....	22
1. INTRODUÇÃO	25
2. MATERIAL E MÉTODOS	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4. CONCLUSÕES.....	34
5. AGRADECIMENTOS.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
CONCLUSÕES FINAIS	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS	37

RESUMO GERAL

BRAGA, Stephanie Simões. **Alterações físicas do solo em cultivos fertirrigados com água residuária tratada**. 2019. 37 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG¹.

As águas residuais tratadas são um importante recurso hídrico, especialmente em regiões semiáridas e áridas. No entanto, existem preocupações de que a irrigação com água residuária tratada possa levar à degradação das propriedades físicas do solo. Por isso, avaliou-se o efeito da fertirrigação com a água residuária sanitária tratada em duas áreas de cultivo, sendo a primeira em cultivo sucessivo de algodão, milho, algodão, feijão e abacaxi e a segunda no cultivo da banana ‘Prata-Anã’, comparados com a pastagem degradada. Decorridos 5 anos depois do início dos cultivos, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m para a avaliação dos seguintes atributos: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, macro e microagregados, areia, silte e argila total, argila dispersa em água e grau de floculação, em parcelas envolvendo 5 níveis de aplicação de água residuária, definidos mediante o critério de elemento referência. Todos os cultivos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições. O uso da água residuária tratada após cinco anos com cultivos sucessivos alterou os atributos físicos do solo na profundidade de 0,0-0,2 m sem, no entanto, interferir na estrutura do solo nas maiores profundidades. Já no cultivo da banana, com a aplicação da água residuária não se observou alterações nos atributos físicos do solo nas maiores profundidades. No entanto, a água residuária interferiu na agregação do solo até 0,0-0,2 m. A fertirrigação com água residuária melhora a qualidade física do solo, comparativamente à pastagem degradada.

Palavras-chave: pastagem, estabilidade de agregados, reuso agrícola.

¹**Comitê orientador:** Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Orientador); Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos – UNIMONTES (Coorientador); Dr. Arley Figueiredo Portugal – EMBRAPA (Conselheiro); Dra. Polyanna Mara de Oliveira – EPAMIG (Conselheira); Prof. Dr. Victor Martins Maia – UNIMONTES (Conselheiro).

GENERAL ABSTRACT

BRAGA, Stephanie Simões. **Soil physical changes under cropsfertiligated with treated wastewater**. 2019. 37p. Dissertation (Master's Degree in Plant Production in the Semi-arid) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG⁴.

The treated wastewater is an important alternative to minimize agricultural water resources demand, especially in semi-arid and arid regions. However, there are concerns that irrigation with treated wastewater may lead to degradation of soil physical properties. The soilfertiligationchanges with treated sanitary wastewater from the Janaúba Wastewater Treatment Plant was studied in two field experiment: after the sequential cropping of cotton, maize, cotton, beans, and pineapple, and after 'Prata-Anã' banana cropping. Soil sampling was made after five years of cropping, in 2017, in the depths of 0-0.2; 0.2-0.4; 0.4-0.6 and 0.6-0.8 m. It was used the randomized block design with four replications. The attributes evaluated were soil bulk density, particle density, total porosity, macroporosity, microporosity, mean weight diameter, geometric mean diameter, macro and microaggregates, sand, silt and total clay, water-dispersible clay, and clay flocculation index. The treated wastewater fertiligation after five years with sequential cropping changes soil physical properties in the 0-0.2 m depth but did not modify the soil structure in the deeper layers. In the banana area, wastewater fertiligation changes soil aggregation in the 0-0.2 m depth, without modify soil physical properties in the deeper layers. The wastewater fertiligation based on chemicals concentration criteria for five years improves soil physical quality comparing to pasture.

Keywords: irrigation, aggregate stability, agricultural reuse.

²**Guidance committee:** Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Advisor); Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos – UNIMONTES (Co-advisor); Dr. Arley Figueiredo Portugal – EMBRAPA (Counselor); Dra. Polyanna Mara de Oliveira – EPAMIG (Counselor); Prof. Dr. Victor Martins Maia – UNIMONTES (Counselor).

1. INTRODUÇÃO GERAL

Diante do desenvolvimento das atividades agrícolas, principalmente em regiões onde há carência de água para fornecimento às plantas, a quantidade de água demandada vem aumentando ano após ano no Brasil, tanto no processo de produção agrícola quanto no abastecimento humano, animal e industrial. Em contrapartida, a água potável está cada vez mais escassa, gerando grande preocupação ambiental.

Tendo em vista o uso da água residuária na agricultura, tem-se a fertirrigação como forma de disposição, sendo uma alternativa de tratamento, cuja técnica irá priorizar o aproveitamento dos nutrientes presentes na água residuária sobre áreas cultivadas, além da disposição correta dessa água no meio ambiente (LOMONACO *et al.*, 2010). Há estudos que comprovam que a aplicação de esgoto urbano no solo proporciona alteração de várias características físicas de solos cultivados (ANDRADE FILHO *et al.*, 2013).

A fertirrigação é uma técnica de aplicação de nutrientes para plantas via água de irrigação (SILVA *et al.*, 2012), que pode possibilitar aumento na produtividade e na qualidade dos produtos colhidos, minimizando a poluição ambiental com a redução de disposição direta do efluente, além de promover melhoria nas características físicas, químicas e biológicas do solo (MATOS *et al.*, 2003).

O Brasil está entre os dez países com a maior área irrigada do mundo (FAO, 2017), tendo uma área registrada no ano de 2014, de 6,1 Mha (ANA, 2016), sendo a agricultura irrigada responsável pela retirada de $969 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ dos corpos d'água e pelo consumo de $745 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (ANA, 2017).

Neste panorama, considerada a importância da economia de água, torna-se imprescindível o estudo de alternativas e técnicas mais sustentáveis de produção agrícola, sobretudo na região norte de Minas Gerais, onde geralmente boas produtividades estão associadas à considerada demanda por água e nutrientes (ALVES *et al.*, 2018).

A maior limitação do uso após aplicações contínuas de água residuária tratada na agricultura está relacionada à adição de nutrientes em quantidades superiores às exigidas pela cultura e, muitas vezes, devido aos totais de sais dissolvidos, presentes na sua composição química, capazes de aumentar a concentração de Na no solo, gerando um aumento da salinidade e sodicidade e assim comprometendo a estrutura do solo e a capacidade de retenção de água (MATOS *et al.*, 2007).

Comparada à água potável, a água residuária tratada é geralmente caracterizada por uma maior carga de matéria orgânica dissolvida, sólidos suspensos, razão de adsorção de

sódio e salinidade considerável, acompanhada pelo deslocamento da argila devido à dispersão de minerais de argila no solo (LEUTHER *et al.*, 2019).

É de suma importância determinar a taxa de aplicação mais adequada para cada cultura, para proteger os recursos naturais como água e solo. O manejo inadequado do solo com a taxa de irrigação inadequada pode vir a ser um grande problema, interferindo nas alterações do solo e atuando diretamente na compactação, aumentando a densidade e, por consequência, alterando outras propriedades físicas como: porosidade, retenção de água, aeração e a resistência do solo à penetração de raízes (MONTANARI *et al.*, 2010).

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho foi de avaliar os impactos nos atributos físicos do solo de duas áreas próximas, uma cultivada sucessivamente com algodão, milho, algodão, feijão e abacaxi e a outra com banana, fertirrigadas com água residuária tratada, quando comparado à área de pastagem, sem irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE-FILHO, J.; NETO, O. N. S.; DIAS, N. S.; NASCIMENTO, I. B.; MEDEIROS, J. F.; COSME, C. R. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, v. 18, no. 4, p. 661-674, out-dez (2013).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017. 86 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacaoUsodaAguaAgriculturaIrigada.pdf>. Acesso em: 03 de Dezembro de 2018.

ANA & Embrapa. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil – 2014**: Relatório Síntese. Brasília: ANA, 2016, 33 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/ProjetoPivos.pdf>. Acesso em: 03 de Dezembro de 2018.

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; OLIVEIRA, P. M. Fertirrigação do milho com água residuária sanitária tratada: crescimento e produção. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Reg. ABES: 136152, 2018.

FAO, **Food and Agriculture Organization of the United Nations** (n.d.). Forest products trade. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/statistics/80570/en/>. Acesso em 03 de Dezembro de 2018.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; RIBEIRO, I. C. A.; NASCIMENTO, F. S.; SARMENTO, A. P. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Ambiente&Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.

MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; CECON, P. R.; BRASIL, M. S.; MUDADO, C. S. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 544-551, 2007.

MATOS, A. T.; Lo MONACO, P. A. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despulpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa: UFV, 2003. 68 p. (Engenharia na Agricultura: Boletim Técnico, 7).

MONTANARI R.; CARVALHO, M. de P. C.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVO, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. de O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1811 - 1822, 2010.

LEUTHER, F.; SCHLÜTER, S.; WALLACH, R.; VOGEL, H.J. Structure and hydraulic properties in soils under long-term irrigation with treated wastewater. **Geoderma**, 333, pp.90-98. 2019.

SILVA, J. G. D.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; PREVIERO, C. A. Composição químico-bromatológica e produtividade do capim-mombaça cultivado em diferentes lâminas de efluente do tratamento primário de esgoto sanitário. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.5, p. 606-613, set/out, 2012.

CAPÍTULO 1

ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO APÓS CINCO ANOS DE CULTIVOS FERTIRRIGADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA

(Artigo formatado de acordo com as normas de Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental)

RESUMO

BRAGA, Stephanie Simões. **Alterações físicas do solo após cinco anos de cultivos fertirrigados com água residuária tratada**. 2019. Cap. 1, p.6-22. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG³.

A utilização da água residuária tratada no sistema solo-planta baseada em critérios de fertirrigação em conjunto com o manejo adequado do solo, é uma alternativa para aumentar a produtividade, com melhorias em algumas propriedades físicas do solo, além de reduzir a poluição ambiental com o racionamento e aproveitamento do recurso natural. Assim, objetivou-se avaliar as alterações dos atributos físicos do solo após o cultivo sucessivo com algodão, milho, algodão, feijão e abacaxi, fertirrigados com água residuária sanitária tratada, em comparação à condição de pastagem de sequeiro degradada, próxima à área de cultivo. O experimento foi implantado no ano de 2012, sendo coletadas amostras de solo após cinco anos, em 2017, nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m, para análises dos atributos: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, macro e microagregados, areia, silte e argila total, argila dispersa em água e grau de floculação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. O uso da água residuária tratada após cinco anos com cultivos sucessivos alterou os atributos físicos do solo na profundidade de 0,0-0,2 m sem, no entanto, interferir na estrutura do solo nas maiores profundidades. A fertirrigação com água residuária melhora a qualidade física do solo, em algumas profundidades, comparativamente à pastagem.

Palavras-chave: estrutura do solo, agregados, argila dispersa, irrigação.

³**Comitê orientador:** Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Orientador); Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos – UNIMONTES (Coorientador); Dr. Arley Figueiredo Portugal – EMBRAPA (Conselheiro); Dra. Polyanna Mara de Oliveira – EPAMIG (Conselheira); Prof. Dr. Victor Martins Maia – UNIMONTES (Conselheiro).

ABSTRACT

BRAGA, Stephanie Simões. **Soil physical changes after five years of fertigated crops with treated wastewater**. 2019. Ch. 1, p.6-22. Dissertation (Master's Degree in Plant Production in the Semi-arid) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG⁴.

ABSTRACT: The use of treated wastewater in the soil-plant system based on fertigation criteria in conjunction with proper soil management is an alternative to increase productivity, with improvements in some soil physical properties, and to reduce environmental pollution with rationing and use of the natural resource. The objective of this study was to evaluate the changes in soil physical attributes after cotton, maize, cotton, bean and pineapple cultivation in succession, fertirrigated with treated sanitary wastewater, compared to the pasture condition, near the growing area, without soil management and managed without irrigation. The experiment was carried out in 2012 at the Unimontes/Copasa experimental area, next to the Janaúba Sewage Treatment Plant - MG. Soil samples were collected after five years in 2017 at depths of 0.0-0.2, 0.2-0.4, 0.4-0.6 and 0.6-0.8 m; The following parameters were evaluated: soil density, particle density, total porosity, macroporosity, microporosity, weighted average diameter, geometric mean diameter, macro and microaggregates, sand, silt and total clay, water dispersed clay and flocculation degree. The experimental design was in randomized blocks, with four replications. The use of wastewater treated after five years with successive crops altered the physical attributes of the soil in the 0.0-0.2 m layer, but did not interfere with the soil structure in the deeper layers. Fertilization with wastewater following the nutrient concentration criterion for five years improves the physical quality of the soil compared to pasture.

Keywords: soil structure, aggregates, dispersed clay, irrigation.

²**Guidance Committee:** Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Advisor); Prof.Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos – UNIMONTES (Co-advisor); Dr. Arley Figueiredo Portugal – EMBRAPA (Counselor); Dra. Polyanna Mara de Oliveira – EPAMIG (Counselor); Prof. Dr. Victor Martins Maia – UNIMONTES (Counselor).

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das atividades agrícolas aliado à necessidade de aumento de produção para fomento humano, animal e industrial tem incrementando ano após ano o consumo de água no Brasil, tornando-se indispensável o uso e o gerenciamento adequado dos recursos hídricos.

Para um melhor aproveitamento do efluente de sistemas de tratamento de água residuária uma alternativa é a utilização agrícola, diminuindo os impactos sobre os corpos hídricos receptores (CARLOS *et al.*, 2018; LEONETI *et al.*, 2011).

O uso agrícola da água residuária tem se tornado uma importante ferramenta para combater a escassez de água, minimizando os impactos em corpos hídricos e diminuindo custos de tratamento devido à atuação do solo como forma de disposição e fornecimento de nutrientes às plantas, com alterações nos atributos físicos e químicos do solo (MATOS *et al.*, 2005).

O uso contínuo de água residuária apresenta como limitante os totais de sais dissolvidos, capazes de aumentar a concentração de Na no solo, aumentando a sua salinidade e sodicidade e comprometendo a estrutura do solo como a desagregação devido à dispersão de argilas, redução da infiltração, elevação da densidade e da compactação do solo indicada pelo aumento dos macros e microporos (ARIENZO *et al.*, 2009; MUYEN *et al.*, 2011).

Considerando as dificuldades em se remover o sódio e a salinidade das águas residuárias, torna-se necessário estabelecer a taxa de aplicação mais adequada de cada sistema solo-planta, para proteger a integridade dos recursos naturais (VARALLO *et al.*, 2010).

Diante disso, objetivou-se avaliar os impactos nos atributos físicos do solo ao final do cultivo sequencial do algodoeiro, milho, algodoeiro, feijoeiro e abacaxizeiro fertirrigados com água residuária tratada, quando comparados à área de pastagem degradada, sem irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), em Janaúba – MG, nas coordenadas centrais 15° 46' 14,5" S e 43° 19' 14,31" W, com altitude de 534 m. O clima é tropical com inverno seco (Aw), segundo Köppen.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA, 2013). A área experimental foi utilizada anteriormente para avaliar a aplicação de água residuária sanitária tratada em nível terciário (ART), proveniente da ETE de Janaúba, como fonte de nutrientes e atendimento de parte da exigência hídrica do algodão (abril a setembro de 2012), do milho (novembro de 2012 a fevereiro de 2013)(ALVES *et al.*, 2018), algodão (junho a novembro de 2013) (Alves, 2014), feijão comum (abril a junho de 2014)(SANTOS *et al.*, 2016) e abacaxi (julho de 2015 a março de 2017)(OLIVEIRA, 2018).

Nos 41 dias antes da semeadura do algodão (abril a setembro de 2012), foi feita a correção do solo com calcário dolomítico (1.500 kg ha^{-1}) (CFSEMG, 1999), incorporando depois com duas subsolagens, cruzadas, com hastes espaçadas 0,50 m entre si, até 0,65 m de profundidade. Aos 38 dias antes da semeadura, foram realizadas duas gradagens, cruzadas. Esta sequência possibilitou o destorroamento e o nivelamento do solo, incorporando o calcário e controlando as plantas daninhas remanescentes (SANTOS *et al.*, 2016b).

No sulco de plantio, foram aplicados $100,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 ($333,3 \text{ kg ha}^{-1}$ do formulado NPK 4-30-10), sendo a adubação nitrogenada ($20,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) complementada com ureia, na dose de $14,8 \text{ kg ha}^{-1}$, e a potássica ($40,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O) com o cloreto de potássio, na dose de $11,6 \text{ kg ha}^{-1}$, conforme CFSEMG (1999) (SANTOS *et al.*, 2016b).

Todos os cultivos foram conduzidos na mesma área e nas mesmas parcelas experimentais envolvendo 5 tratamentos de ART (0: água limpa e adubação mineral; 1: 50; 2: 100; 3: 150 e 4: 200% da dose de ART limitada pelo elemento referência K^+ nos 3 primeiros

cultivos e 0: água limpa e adubação mineral; 1: 100; 2: 200; 3: 300 e 4: 400% da dose de ART limitada pelo elemento referência Na^+ no abacaxizeiro) (Tabela 1), sendo os referidos tratamentos dispostos no delineamento em blocos completos casualizados, com 4 repetições, o que possibilitou a quantificação das doses de ART totais aplicadas em cada uma das parcelas experimentais, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Doses de água residuária sanitária tratada (ART, mm) utilizadas nos cultivos sequenciais de milho (nov/2012 a fev/13), algodoeiro (jun a nov/13), feijoeiro comum (abr a jun/14), abacaxizeiro (jul/15 a mar/17) e os totais aplicados em cada tratamento.

ART	Milho	Algodão	Feijão	Abacaxi	Totais
0	0	0	0	0	0
1	61,2	103,2	46,1	117,3	327,8
2	122,0	200,0	91,7	234,1	647,8
3	180,5	302,9	137,8	351,4	972,6
4	240,2	399,7	184,3	468,3	1292,5

Em todos os ciclos de cultivo que antecederam as avaliações buscou-se, com manejo da irrigação, manter a umidade na capacidade de campo até os 0,4 m de profundidade, no intuito de atender a demanda hídrica de cada cultura. Pela exigência em água ser superior à de nutrientes contidos na ART, foi feita a complementação em todos os tratamentos, com água limpa, via sistema de irrigação por gotejamento em ambos os tipos de água, com emissores espaçados 0,4 m entre si e 0,9 m entre linhas laterais e com vazão média igual a $5,81 \text{ L h}^{-1}$.

Ao final do último cultivo (abacaxizeiro), em cada parcela experimental foram coletadas duas subamostras indeformadas e duas deformadas de solo em quatro profundidades (0,0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m), sendo estas consideradas subparcelas. Assim, para a análise estatística o projeto experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições para cada área experimental.

Foi utilizada também uma área de pastagem a 100 m da área de cultivo, sendo considerada como testemunha, com quatro repetições e duas subamostras indeformadas e duas deformadas de solo. Nesta área de pastagem, manteve-se a mesma condição original da área de cultivo, sem aplicação de ART. A pastagem apresentava sinais de degradação, explorada com baixo nível tecnológico, compactação do solo e presença de plantas invasoras.

As amostras indeformadas de solo foram coletadas em campo respectivamente para cada unidade experimental. Em laboratório, foram secas ao ar e passadas em peneira de 2,0 mm para determinação de densidade de partículas (D_p), areia, silte, argila total, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF), conforme EMBRAPA (2011).

Para a análise textural, utilizou-se o método da pipeta com fracionamento das areias, com agitação mecânica e o dispersante químico hidróxido de sódio (NaOH), determinando assim o teor de areia, silte e argila total (GEE & BAUDER, 1986; EMBRAPA, 1997).

Na estabilidade de agregados, foram utilizadas amostras com estruturas não perturbadas em forma de torrões, desagregadas manualmente e peneiradas em um conjunto de peneiras com malhas de 8,0 e 2,0 mm. Após peneiramento úmido em agitador de Yoder, foram determinados os índices de agregados do solo: diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), macroagregados e microagregados (MacAgr e MicAgr) e agregados > 2,0 mm (AGREG2), conforme Kemper & Rosenau (1986).

As amostras deformadas foram determinadas pelo método do anel volumétrico, para determinação da densidade do solo (D_s), porosidade total (Pt), macroporosidade (MaPt) e microporosidade (MiPt), conforme EMBRAPA (2011).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos a 5% pelo teste F, procedeu-se à análise de regressão. Para a comparação de médias de tratamento

em relação à testemunha (área de pastagem), realizou-se o teste de Dunnett a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, os atributos físicos indicaram variações dos tratamentos com água potável (0) e água residuária tratada (ART) em relação à pastagem (testemunha). Associado aos tratamentos tem-se a influência do tempo e volume de ART aplicada, manejo do solo e cobertura vegetal.

A maioria dos atributos físicos do solo foi influenciada pelo manejo da ART após os cultivos em sucessão, em comparação à pastagem sem irrigação na profundidade de 0,0-0,2 m. Seções mais profundas apresentaram diferenças somente em relação à pastagem.

TABELA 2: Médias de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Eutrófico fertirrigado com água residuária sanitária tratada.

Tratamentos	Ds	Dp	Pt	MiPt	MaPt	DMP	DMG	AGREG2	MACRO	MICRO	AREIA	SILTE	ARGILA	ADA	GF
mm	g cm ⁻³	g cm ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	mm	mm	%	%	%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	%
Pastagem	1,59	2,40	0,33	0,28	0,05	1,72	1,20	82,38	95,63	4,38	542,03	217,97	240,00	67,50	71,88
0	1,45*	2,43	0,49*	0,30	0,19*	1,37*	1,02*	60,27*	90,58*	9,42*	550,28	179,72	270,00	37,50*	86,11*
327,8	1,46*	2,47	0,46*	0,29	0,18*	1,40*	1,05*	61,56*	90,90*	9,11*	591,67	184,58	223,75	12,50*	94,41*
647,8	1,46*	2,44	0,44*	0,26	0,18*	1,42*	1,05*	62,54*	92,29	7,71	586,56	169,69	243,75	27,50*	88,72*
972,6	1,55	2,45	0,40	0,27	0,13	1,38*	1,03*	60,50*	90,57*	9,43*	586,85	194,41	218,75	27,50*	87,43*
1292,5	1,52	2,49	0,41	0,21	0,20*	1,33*	0,99*	57,34*	91,29*	8,71*	565,94	224,06	210,00	25,00*	88,10*
CV	2,93	3,34	12,06	15,80	36,13	10,16	6,65	14,91	2,14	24,17	4,96	18,84	18,02	6,68	1,76
20-40															
Pastagem	1,54	2,43	0,36	0,28	0,08	1,25	0,97	51,55	85,75	14,26	436,01	192,74	371,25	88,75	76,09
0	1,51	2,48	0,39	0,22	0,18*	1,15	0,92	43,81	87,95	12,06	497,82	183,44	318,75	47,50*	85,10*
327,8	1,50	2,41	0,41	0,22	0,19*	1,15	0,93	44,34	86,61	13,39	525,40*	178,36	296,25*	10,00*	96,62*
647,8	1,40	2,43	0,43	0,23	0,20*	1,22	0,96	48,95	87,70	12,30	533,88*	158,62	307,50*	27,50*	91,06*
972,6	1,52	2,49	0,44	0,24	0,19*	1,11	0,91	43,19	83,75	16,25	528,26*	179,24	292,50*	25,00*	91,45*
1292,5	1,49	2,55	0,41	0,21	0,21*	1,15	0,92	45,59	87,41	12,59	521,53*	180,97	297,50*	10,00*	96,64*
CV	2,81	3,59	5,28	15,39	23,09	13,38	3,53	20,72	4,07	26,15	6,71	10,86	10,01	4,82	0,71

0,4 – 0,6 m															
Pastagem	1,55	2,34	0,35	0,27	0,09	1,11	0,89	43,72	82,63	17,37	422,11	200,39	377,50	87,50	76,82
0	1,56	2,52	0,38	0,20	0,18	1,12	0,91	42,91	85,93	14,08	455,10	178,65	366,25	41,25*	88,74*
327,8	1,56	2,56	0,39	0,24	0,15	1,01	0,87	36,61	84,54	15,46	490,50	172,00	337,50	13,75*	95,93*
647,8	1,52	2,39	0,39	0,27	0,11	1,03	0,87	38,43	84,71	15,30	441,88	159,38	398,75	26,25*	93,42*
972,6	1,51	2,41	0,39	0,23	0,16	1,07	0,89	39,25	85,79	14,22	466,36	169,90	363,75	27,50*	92,44*
1292,5	1,49	2,43	0,42	0,21	0,22	0,87	0,81	28,26	82,28	17,72	499,33	189,42	311,25	33,75*	89,16*
CV	6,08	5,56	3,80	4,74	8,25	16,40	9,98	27,57	3,54	19,04	7,72	18,05	10,16	7,34	10,73
0,6 – 0,8 m															
Pastagem	1,62	2,45	0,34	0,27	0,08	1,09	0,91	43,37	80,04	19,96	419,24	248,50	342,50	162,50	52,55
0	1,50	2,46	0,40	0,23	0,17	1,09	0,89	41,40	82,46	17,54	464,78	175,22*	360,00	32,50*	90,97*
327,8	1,55	2,55	0,41	0,23	0,18	0,91	0,84	32,09	78,86	21,14	444,88	160,12*	395,00	70,00*	82,28*
647,8	1,55	2,48	0,38	0,23	0,15	0,83	0,79	25,95	78,29	21,72	448,99	157,27*	393,75	55,00*	86,03*
972,6	1,58	2,51	0,38	0,26	0,12	0,95	0,84	34,04	79,82	20,18	449,11	177,14*	373,75	72,50*	80,60*
1292,5	1,49	2,45	0,42	0,22	0,20	0,80	0,77	24,66	77,56	22,44	449,96	181,30*	368,75	37,50*	89,83*
CV	7,89	3,51	13,61	17,63	22,63	16,88	8,13	27,52	5,94	23,07	5,02	17,33	10,26	5,83	1,94

Para cada profundidade, as médias de tratamento seguidas de asterisco (*) diferiram da área de pastagem (testemunha) pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância; Ds: Densidade do solo; Dp: Densidade de Partículas; Pt: Porosidade total determinada; MiPt: Microporosidade; MaPt: Macroporosidade; DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; AGREG: Índice de estabilidade de agregados; MACRO: Macroagregados; MICRO: Microagregado; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de Flocculação.

A densidade de partículas reflete a distribuição dos minerais e da matéria orgânica (EMBRAPA, 2011), não sofrendo alteração quando comparada com a área de pastagem. Resultados semelhantes foram encontrados por Alves *et al.* (2015), quando avaliaram os impactos da fertirrigação na qualidade física do solo cultivado com banana, não encontrando também interferência do uso da ART.

O grau de flocculação foi o único atributo alterado pelas doses de ART para todas as profundidades. Isso pode ser explicado pelo fato da ART possuir elementos químicos que flocculam as argilas do solo, além da área estar degradada, por interferência da chuva e do escoamento superficial da água, afetando assim o solo.

A densidade do solo e a porosidade total foram significativas ($p < 0,05$) apenas na profundidade de 0,0-0,2 m. Resultados semelhantes ocorreram no trabalho de Pignataro Netto (2009), onde em todas as áreas de pastagem ocorreu uma redução na porosidade quando comparada ao cerrado nativo, refletindo comportamento inverso da densidade do solo, cujo aumento do grau de empacotamento das partículas reduz o volume de vazios do solo. Quando comparada em doses de ART, somente a profundidade de 0,0-0,2 m apresentou diferença significativa dos demais tratamentos (FIGURA 1A e 1B).

Nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, em virtude de o solo ter atingido valores de densidade do solo semelhantes e, ou, superiores a $1,45 \text{ g cm}^{-3}$, o solo pode ser considerado compactado (REINERT *et al.*, 2008), resultado do manejo inadequado. Alves *et al.* (2015), avaliando os atributos físicos de um solo cultivado com banana 'Prata-Anã' não encontraram diferenças na D_s após uso de ART em relação a água limpa.

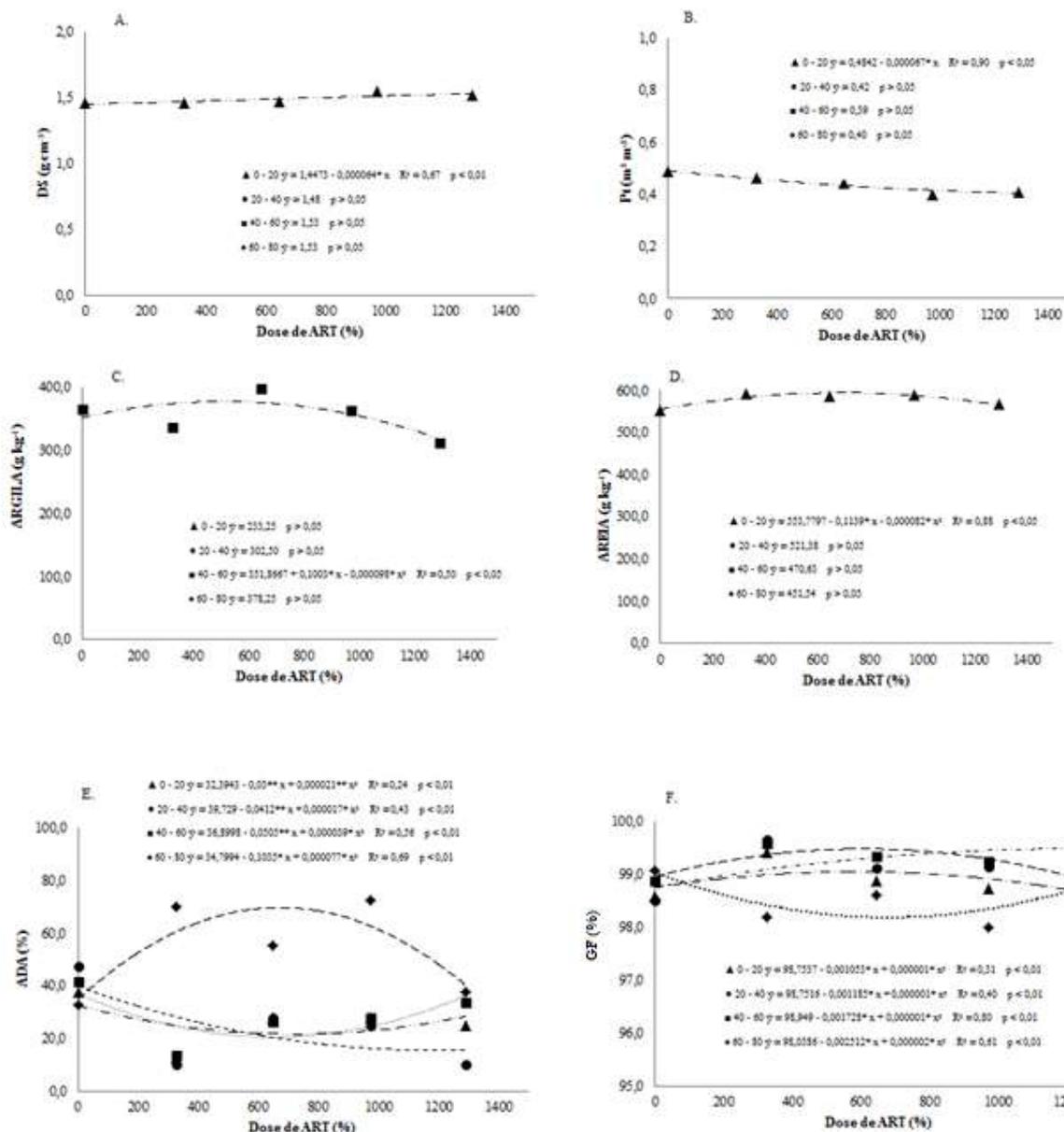


Figura 1. Densidade do solo (A), porosidade total (B), argila total (C), areia (D), argila dispersa em água (E) e grau de floculação (F) em um Latossolo Vermelho eutróficofertirrigado com água residuária sanitária tratada.

Reinert *et al.* (2008) consideram $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ como densidade crítica para o bom crescimento do sistema radicular. Nesse caso, pela análise dos resultados dos tratamentos, pode-se considerar a condição de densidade do solo próxima do limite crítico para o desenvolvimento das plantas. Portanto, comparando-se com a pastagem, na profundidade de 0-0,2 m, o uso da ART reduziu a compactação do solo para os tratamentos T1, T2 e T3.

A razão entre macro e microporosidade é um indicador sensível de compactação do solo, seus valores indicam o quanto de macroporos está sendo alterado em relação ao volume de microporos. Para a microporosidade, nenhuma interferência foi verificada pela adoção do uso de águas residuais, tendo seus valores médios de $0,27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (TABELA 1). A microporosidade do solo é responsável pelo armazenamento de água e tem seu valor ideal dentro de um intervalo entre $0,25$ e $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (LIMA *et al.*, 2007).

A macroporosidade nas profundidades de 0-0,2e 0,2-0,4m das áreas cultivadas e fertirrigadas foram maiores que a encontrada no solo na sua condição original (pastagem) nas quatro profundidades estudadas. Nas demais não foi significativo. Esse fato contradiz os resultados obtidos por Rodriguez *et al.* (2016) em áreas cultivadas com coqueiro onde a macroporosidade foi menor que aquela encontrada no solo sob caatinga e com Baquero *et al.* (2012), que observaram redução da macroporosidade na área de cana-de-açúcar sob Latossolo Vermelho em comparação com a floresta nativa.

Os valores de macroporosidade na área cultivada e irrigada foram acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e na área de pastejo (testemunha) foi menor que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Os poros com diâmetro menor que $0,10 \text{ mm}$ são os mais afetados negativamente com a compactação do solo pelo manejo inadequado. De acordo com Lima *et al.* (2012), os valores da macroporosidade estão adequados em todas as profundidades, pois é recomendável que sejam superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para suficiente respiração radicular.

O DMP, DMG, MACRO e MICRO e AGREG2 apresentaram diferença entre doses e pastagem, porém não apresentou diferença significativa até $0,2 \text{ m}$ de profundidade (TABELA 1). Pignataro Netto (2009) encontrou diferenças nessas variáveis apenas em um solo com pastagem de andropogon, em relação a outros tratamentos com o uso de ART, indicando que o solo foi afetado igualmente até $0,2 \text{ m}$ de profundidade.

Este solo tem uma cobertura de pastagem degradada pelo tempo de uso, que com manejo inadequado pode ter ocasionado a ruptura dos agregados. Agregados não estáveis podem desaparecer ao mínimo impacto de uma gota d'água, de acordo com Vicente *et al.* (2012), enquanto agregados estáveis restabelecem a porosidade do solo, aumentando a resistência à erosão e promovendo a infiltração de água no solo.

A estrutura dos agregados é quem controla a funcionalidade do solo, que, quando bem estruturado permite que as raízes possam se espalhar e receber facilmente a água e os nutrientes, favorecendo a propagação das plantas (PIGNATARO NETTO, 2009).

Para areia, silte e argila não foram observadas alterações nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,4-0,6 m. No entanto, nas profundidades de 0,2-0,4 m e 0,6-0,8 m a argila e o silte, respectivamente, alteraram quando comparados à pastagem. A argila (FIGURA 1C) e a areia (FIGURA 1D), quando comparadas entre as doses de ART, apresentaram diferença nas profundidades de 0,4-0,6 e 0,0-0,2 m, respectivamente, entre as doses.

Santos *et al.* (2016), avaliando o perfil do mesmo Latossolo Vermelho Eutrófico, cultivado por algodoeiro herbáceo submetido à aplicação de água residuária, não observaram alteração significativa para areia, silte e argila em todas as profundidades, devido à mineralogia oxídica do Latossolo e seu alto grau de intemperismo.

A alteração na estrutura, pelo risco de dispersão da argila é mais comum em Latossolos, por ser composta principalmente por caulinita, óxidos de ferro (goethita e hematita) e óxidos de alumínio (gibbsita), do que a aplicação de água rica em sódio por si só (ALMEIDA NETO *et al.*, 2009).

A argila dispersa em água e o grau de flocculação tiveram diferenças quando comparadas com a área de pastejo e entre doses de fertirrigação em todas as profundidades (FIGURAS 1E e 1F). É comum encontrar diferenças entre os teores de ADA, observando assim influência da mineralogia do solo na dispersão e flocculação das argilas. Vale ressaltar

que mesmo em altas doses de aplicação de ART, o grau de flocculação foi maior não influenciando assim na dispersão da argila.

Há relatos que demonstram que as aplicações controladas dessas águas têm trazido benefícios ao solo (PAES *et al.*, 2013), como a flocculação da argila do solo e a diminuição de teor de sódio, indicando a importância da qualidade da água utilizada no controle das qualidades dos solos.

4. CONCLUSÕES

O uso da água residuária tratada após cinco anos com cultivos sucessivos de algodão, milho, algodão, feijão e abacaxi alterou os atributos físicos do solo na profundidade de 0,0-0,2 m, no entanto não interferiu na estrutura do solo mais profundo.

A fertirrigação com água residuária seguindo o critério de concentração de nutrientes, durante cinco anos, melhora a qualidade física do solo em todas as profundidades avaliadas, comparativamente à pastagem.

5. AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Banco do Nordeste do Brasil S.A., Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017. 86 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacaoUsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf>>. Acesso em: 03 de Dezembro de 2018.

ANA & Embrapa. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil – 2014**: Relatório Síntese. Brasília: ANA, 2016, 33 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/ProjetoPivos.pdf>. Acesso em: 03 de Dezembro de 2018.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Rome: FAO, 2006. 320 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ALMEIDA NETO, O. B. de; MATOS, A. T. de; ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M. da; DUARTE, A. Irrigation water quality influence on clay dispersive behavior of Oxisols. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p.1571-1581, 2009.

ALVES, I. S. **Competição de cultivares de algodoeiro fertirrigadas com água residuária sanitária tratada**. Monografia - Curso de Agronomia, da Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil, 2014.

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F.; ARAÚJO, E. D. Soil physical attributes in chemigated banana plantation with wastewater. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.6, p.998-1008, nov./dez. 2015.

AMORIM, R.S.S. **Desprendimento e arraste de partículas de solo decorrente de chuvas simuladas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, p.75, 1999.

ARIENZO, M.; CHRISTEN, E. W.; QUAYLE, W.; KUMAR, A. A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters. **Journal of Hazardous Materials**, v.164, n. 2-3, p.415-422, 2009.

BAQUERO, J.E.; RALISCH, R, MEDINA, C. D.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de cana-de-açúcar em um oxiso vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2012 fev; 36 (1): 63-70.

CARLOS, F. S.; SCHAFFER, N.; ANDREAZZA, R.; MORRIS, L.; TEDESCO, M. J.; BOECHAT, C. L.; CAMARGO, F. A. de O. Treated industrial wastewater effect on chemical constitution maize biomass, physicochemical soil properties, and economic balance. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 6, p. 1532-2416, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2011. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília-DF, 2013. 353p.

FAO, **Food and Agriculture Organization of the United Nations** (n.d.). Forest products trade. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/statistics/80570/en/>. Acesso em 03 de Dezembro de 2018.

GEE, G. W. & BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis. Part and mineralogical methods**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. P.383-411. (Agronomy Series, 9).

KEMPER, W.; ROSENAU, R. **Aggregate stability and size distribution**. Washington: Governmentprinting office, 1986.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**. RAP — Rio de Janeiro 45(2): 331-48, mar./abr. 2011.

LIMA, C. G. R. *et al.* Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 31, p. 1233–1244, 2007.

LIMA, C. L. R.; MIOLA, E.C.C.; TIMM, L.C.; PAULETTO, E. A.; SILVA, A.P. Compressibilidade do solo e faixa de água menos limitante de um solo construído sob cobertura após a mineração de carvão no sul do Brasil. **Solo Até Res**. 124: 190-195, 2012.

MATOS, A. T. de; PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; BARROS, F. M. Alteração de atributos químicos no solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v.9, n.3, p.406-412, 2005.

MATOS, A. T.; M. A. N. SEDIYAMA, 1996. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquidos de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: Freitas, R. T. F. e Viana, C. F. A. I Seminário mineiro sobre manejo e utilização de dejetos suínos. **Anais...** EPAMIG, EMATER, UFV, ASSUVAP. p.45-54.

MUYEN, Z.; MOORE, G. A.; WRIGLEY, R. J. Soil salinity and sodicity effects of waste water irrigation in South East Australia. **Agricultural Water Management**, v.99, n. 1, p.33-41, 2011.

OLIVEIRA, F. S. **Fertirrigação do abacaxizeiro com água residuária sanitária tratada**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Montes Claros, 2018, 143 p.

PAES, J. L. de A.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R. B. A.; FREIRE, M. B. G. dos S.; BARROS, M. de F. C.; ROCHA, G. C. Dispersão de argilas em solos afetados por sais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.11, p.1135–1142, 2013

Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – Protocolo 229.12 – 22/03/2012 • Aprovado em 02/08/201.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J.; Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 33, p. 1441-1448, 2009.

REID H, SARKIS S. Diretrizes australianas e internacionais de águas recuperadas: os fundamentos. Cultivo de culturas com águas residuais recuperadas. **CSIRO Publ.**, Collingwood, Austrália. 2006: 39-61.

REINERT DJ, ALBUQUERQUE JA, REICHERT JM, AITA C, CUBILLA ANDRADA MM. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2008;32(5).

SANTOS, S.R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; CECON, P. R. Crescimento e produção do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária no semiárido de Minas Gerais. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 40-57, janeiro-março, 2016a.

SANTOS, S. R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; MATOS, A. T.; MAIA, V. M. (2016): Indicadores de produção e qualidade da fibra do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.3, p.525-536, maio./jun. 2016b.

SOUZA, J. A. A. *et al.* Alteração nas características físicas do solo decorrentes da aplicação de esgoto doméstico tratado. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 361–366, 2010.

VARALLO, A. C. T., CARVALHO, L., SANTORO, B.L.; SOUZA, C.F., 2010. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Agriambi, 14.4, 2010.

VICENTE, T. F. Da S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.11, p.1215–1222, 2012.

CAPÍTULO 2

ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLOCULTIVADO COM BANANEIRA ‘PRATA- ANÃ’ FERTIRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA

(Artigo formatado de acordo com as normas de Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental)

RESUMO

BRAGA, Stephanie Simões. **Alterações físicas do solo cultivado com bananeira ‘prata-anã’ fertirrigada com água residuária tratada.** 2019. Cap. 2, p.24-39. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG⁵.

A utilização da água residuária tratada no sistema solo-planta baseada em critérios de fertirrigação em conjunto com o manejo adequado do solo, é uma alternativa para aumentar a produtividade, com melhorias em algumas propriedades físicas do solo, além de reduzir a poluição ambiental com o racionamento e aproveitamento do recurso natural. Assim, objetivou-se avaliar as alterações dos atributos físicos de um solo após o cultivo com banana ‘Prata-Anã’, fertirrigada com água residuária sanitária tratada, em comparação à condição de pastagem de sequeiro degradada. O experimento foi implantado no ano de 2012, sendo as coletas de amostras de solo realizadas após cinco anos, em 2017, nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m, cujos atributos avaliados foram: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, macro e microagregados, areia, silte e argila total, argila dispersa em água e grau de floculação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. O uso da água residuária tratada após cinco anos com cultivo da banana não alterou os atributos físicos do solo nas maiores profundidades, mas interferiu na agregação do solo até 0,2 m.

Palavras-chave: estrutura do solo, agregados, argila dispersa, irrigação.

⁵**Comitê Orientador:** Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Orientador); Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos – UNIMONTES (Coorientador); Dr. Arley Figueiredo Portugal – EMBRAPA (Conselheiro); Dra. Polyanna Mara de Oliveira – EPAMIG (Conselheira); Prof. Dr. Victor Martins Maia – UNIMONTES (Conselheiro).

ABSTRACT

BRAGA, Stephanie Simões. **Soil physical changes under cultivated with 'silver-dwarf' banana fertigated with treated wastewater.** 2019. Ch. 2, p.24-39. Dissertation (Master's Degree in Crop Production in the Semi-Arid) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG⁶.

The use of treated wastewater in the soil-plant system based on fertigation criteria in conjunction with proper soil management is an alternative to increase productivity, with improvements in some soil physical properties, and to reduce environmental pollution with rationing and use of the natural resource. The objective of this study was to evaluate the changes in the physical attributes of a soil after cultivation with 'Prata-Anã' banana, fertirrigated with treated sanitary wastewater, in comparison to the grazing condition, near the cultivation area, without soil movement and managed without irrigation. The experiment was carried out in 2012 at the Unimontes/Copasa experimental area, next to the Janaúba Sewage Treatment Plant - MG. Soil samples were collected after five years in 2017 at depths of 0.0-0.2; 0.2-0.4; The following parameters were evaluated: soil density, particle density, total porosity, macroporosity, microporosity, weighted average diameter, geometric mean diameter, macro and microaggregates, sand, silt and total clay, clay dispersed in water and degree of flocculation. The experimental design was in randomized blocks, with four replications. The use of treated wastewater after five years with banana cultivation did not alter the physical attributes of the soil in the deeper layers, however, it interfered in the aggregation of the soil in the layers of 0,0-0,2 m.

Keywords: soil structure, aggregates, dispersed clay, irrigation.

⁶**Guidance Committee:** Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Advisor); Prof.Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos – UNIMONTES (Co-advisor); Dr. Arley Figueiredo Portugal – EMBRAPA (Counselor); Dra. Polyanna Mara de Oliveira – EPAMIG (Counselor); Prof. Dr. Victor Martins Maia – UNIMONTES (Counselor).

1. INTRODUÇÃO

A redução da oferta hídrica para os mais variados usos torna o gerenciamento adequado dos recursos hídricos, algo indispensável para a preservação das águas e das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo necessário investir em saneamento e em tratamento de águas residuárias.

A aplicação de água residuária tratada em solos agrícolas tem se tornado cada vez mais eficiente para minimizar o descarte incorreto e suprir as necessidades hídricas e, principalmente, nutricionais das plantas por irrigação (SILVA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2010; COSTA *et al.*, 2012).

Apesar dos avanços nos processos de tratamento de água residuária, os efeitos da fertilização da cultura usando efluentes tratados devem ser monitorados para garantir que eles não comprometam a qualidade do solo e do fruto (VARALLO *et al.*, 2012).

O tipo e manejo da cultura e a demanda nutricional das plantas são fatores importantes no manejo das águas residuárias, que permitem estabelecer a taxa de aplicação mais adequada sem aumento na concentração de sódio no solo, evitando a salinização e o comprometimento da estrutura do solo (ARIENZO *et al.*, 2009; MUYEN *et al.*, 2011).

A bananeira é uma planta muito sensível aos fatores relacionados à física do solo, como a aeração, densidade do solo e retenção de água (COSTA *et al.*, 2011; MIOTTI *et al.*, 2013), além de ser altamente exigente em nutrientes, tornando-se indispensável o estudo de técnicas mais sustentáveis de produção agrícola, tais como a fertirrigação com água residuária.

Diante disso, objetivou-se avaliar os impactos nos atributos físicos do solo após cinco anos de cultivo de banana ‘Prata-Anã’ fertirrigada com água residuária tratada, quando comparada à área de pastagem, sem irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), em Janaúba – MG, nas coordenadas centrais 15° 46' 14,5" S e 43° 19' 14,31" W, com altitude de 534 m. O clima é tropical com inverno seco (Aw), segundo Köppen.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA, 2013). A área experimental foi utilizada anteriormente para avaliar a aplicação de água residuária sanitária tratada em nível terciário (ART), proveniente da ETE de Janaúba, como fonte de nutrientes e atendimento de parte da exigência hídrica da bananeira 'Prata-Anã'(Alves, 2015).

Antes do plantio, foram realizadas subsolagem, aração, gradagem e abertura de sulcos de plantio. A bananeira cultivar 'Prata-anã' foi plantada em cinco de maio de 2012 utilizando-se um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de diferentes doses de água residuária sanitária de tratamento terciário (ART) tomando-se por referência o limite máximo de aplicação anual (LMA) de 150 kg ha⁻¹ de sódio (Na) (Larcher, 2005) no solo, conforme descrito a seguir: T1: Testemunha (água limpa + adubação mineral); T2: 70 %; T3: 130 %; T4: 170 % e; T5: 200 % de ART em relação ao LMA de referência.

Pela exigência em água ser superior à de nutrientes contidos na ART, foi feita a complementação em todos os tratamentos, com água limpa, via sistema de irrigação por microaspersão, consistindo de emissor com vazão média igual a 76 L h⁻¹ na pressão de serviço de 200 kPa, sendo utilizado um emissor para cada três plantas. Os demais tratamentos culturais seguiram os recomendados para a cultura.

Após cinco anos de cultivo, em cada parcela experimental foram coletadas duas subamostras indeformadas e duas deformadas de quatro profundidades de solo estudadas (0,0-

0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m), sendo estas consideradas subparcelas. Assim, para a análise estatística o projeto experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições para cada área experimental.

Foi utilizada também uma área de pastagem distante 100 m da área de cultivo, sendo considerada como testemunha, com quatro repetições e duas subamostras cada, preservando sua estrutura. Nesta área não foi aplicada ART, mantendo a condição original do terreno, com sinais de degradação da forrageira, resultado de pastagem explorada com baixo nível tecnológico e compactação do solo.

As amostras indeformadas de solo coletadas em cada unidade experimental foram levadas ao laboratório, secas ao ar e passadas em peneira de 2,0 mm para determinação de densidade de partículas (Dp), areia, silte, argila total, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF), conforme EMBRAPA (2011).

Para a análise textural, utilizou-se o método da pipeta com fracionamento das areias, com agitação mecânica e o dispersante químico hidróxido de sódio (NaOH), determinando assim o teor de areia, silte e argila total (GEE&BAUDER, 1986; EMBRAPA, 1997).

Na estabilidade de agregados, foram utilizadas amostras com estruturas não perturbadas em forma de torrões, e posteriormente desagregadas manualmente e peneirados em um conjunto de peneiras com malhas de 8,0 e 2,0 mm. A partir das amostras obtidas, foram determinados os índices de agregados do solo: diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), macroagregados e microagregados (MacAgr e MicAgr) e agregados > 2,0 mm (AGREG2), conforme Kemper&Rosenau (1986).

As amostras deformadas foram coletadas pelo método do anel volumétrico, para determinação da densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (MaPt) e microporosidade (MiPt), conforme EMBRAPA (2011).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos a 5% pelo teste F, procedeu-se à análise de regressão. Para comparação de médias de tratamento em relação à testemunha, realizou-se o teste de Dunnett a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, os atributos físicos que foram influenciados pelo manejo com água residuária sanitária tratada (ART) em relação à pastagem (testemunha) foram: índice de estabilidade de agregados (AGREG), macroagregados (MACRO) e microagregados (MICRO), densidade de partículas (Dp), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), silte argila total.

A densidade do solo (Ds) não foi influenciada pelo manejo com a ART comparativamente a pastagem (Tabela 1). Porém, a argila total apresentou tendência ao aumento com a profundidade, contribuindo para alterar a Ds.

Segundo Borges *et al.* (1999), a Ds geralmente aumenta com a profundidade, devido à movimentação de material fino dos horizontes superiores para os inferiores reduzindo os espaços porosos e aumentando a Ds, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes favorecem a compactação.

Alves *et al.* (2015), analisando esta mesma área, obtiveram valores de Ds superiores a 1,7 g cm⁻³ em todas as profundidades. Isso demonstra que as aplicações controladas de ART têm trazido benefícios ao solo, como a recuperação do solo após anos de aplicação, indicando a importância do reúso da ART na fertirrigação (PAES *et al.*, 2013).

TABELA 1: Médias dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho Eutróficocultivado com Banana ‘Prata-Anã’ e fertirrigado com água residuária sanitária tratada.

Tratamentos	Ds	Dp	Pt	MiPt	MaPt	DMP	DMG	AGREG	MACRO	MICRO	AREIA	SILTE	ARGILA
mm	g cm ⁻³	g cm ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	mm	mm	%	%	%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
0,0 - 0,2 m													
Pastagem	1,59	2,40	0,33	0,28	0,05	1,72	1,20	82,38	95,63	4,38	542,03	217,97	240,00
0	1,54	2,58*	0,33	0,23	0,10	1,33*	1,01*	57,98*	86,79*	13,21*	544,38	135,63*	320,00*
70	1,64	2,55*	0,33	0,20	0,13	1,41*	1,04*	62,60*	91,36	8,64	568,17	174,34	257,50
130	1,54	2,56*	0,34	0,20	0,14	1,38*	1,05*	60,53*	90,28	9,73	534,32	158,19*	307,50*
170	1,52	2,59*	0,37	0,29	0,08	1,38*	1,03*	60,50*	90,57	9,43	547,49	148,76*	303,75*
200	1,55	2,57*	0,35	0,18	0,17	1,32*	1,00*	58,01*	86,11*	13,89*	550,86	136,64*	312,50*
CV	2,34	1,70	14,27	29,21	59,04	10,05	6,60	14,321	3,141	28,662	6,97	17,63	9,81
0,2 - 0,4 m													
Pastagem	1,54	2,43	0,36	0,28	0,08	1,25	0,97	51,55	85,75	14,26	436,01	192,74	371,25
0	1,52	2,64*	0,38	0,21	0,17	1,34	1,06	56,07	89,10	10,90	520,05	148,70	331,25
70	1,55	2,58*	0,36	0,17	0,19	1,20	0,96	48,72	85,78	14,22	545,35*	148,40	306,25*
130	1,66	2,59*	0,33	0,25	0,08	1,05	0,88	38,39	84,54	15,47	477,77	157,24	365,00
170	1,62	2,59*	0,36	0,19	0,17	1,11	0,91	43,19	83,75	16,25	509,19	180,81	310,00*
200	1,52	2,57*	0,39	0,18	0,20*	1,09	0,91	42,59	81,76	18,24	463,32	181,68	355,00
CV	4,05	1,75	15,44	37,30	37,76	18,89	10,48	28,45	5,86	33,50	9,40	23,08	9,02

0,4 -0,6 m													
Pastagem	1,55	2,34	0,35	0,27	0,09	1,11	0,89	43,72	82,63	17,37	422,11	200,39	377,50
0	1,50	2,58	0,43	0,27	0,16	1,10	0,88	42,15	82,35	17,65	479,07	145,93	375,00
70	1,53	2,14	0,42	0,27	0,15	1,21	0,93	51,40	81,91	18,09	489,94*	156,31	353,75
130	1,51	2,60	0,39	0,27	0,11	1,04	0,87	38,43	85,72	14,28	455,93	155,32	388,75
170	1,52	2,56	0,35	0,23	0,12	1,07	0,89	39,25	85,79	14,22	426,39	197,36	376,25
200	1,59	2,58	0,32	0,16*	0,17	0,96	0,86	33,98	82,39	17,61	408,36	187,89	403,75
CV	4,79	12,68	12,41	21,02	44,88	14,14	7,84	21,21	3,51	17,71	7,55	28,04	8,23
0,6 – 0,8 m													
Pastagem	1,62	2,45	0,34	0,27	0,08	1,09	0,91	43,37	80,04	19,96	419,24	248,50	342,50
0	1,49	2,58*	0,40	0,27	0,13	1,12	0,88	43,67	78,40	21,60	442,15	145,36*	412,50*
70	1,55	2,57*	0,41	0,24	0,16	1,07	0,93	42,03	78,88	21,12	437,00	180,50	382,50
130	1,60	2,56*	0,33	0,18	0,15	0,83	0,79	25,95	78,29	21,72	443,46	149,04*	407,50*
170	1,58	2,58*	0,38	0,26	0,12	0,95	0,84	34,04	79,82	20,18	458,99	122,26*	418,75*
200	1,46	2,69*	0,39	0,21	0,18	0,81	0,83	26,80	72,11	27,89	438,39	195,36	366,25
CV	5,20	1,35	18,15	33,52	45,56	15,14	9,01	26,17	7,17	25,29	6,00	19,90	8,27

Para cada profundidade, as médias de tratamento seguidas de asterisco (*) diferiram da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância.

Dp: Densidade de Partículas; Ds: Densidade do solo; Pt: Porosidade total; MiPt: Microporosidade; MaPt: Macroporosidade; DMP: Diâmetro médio ponderado; DMG: Diâmetro médio geométrico; AGREG: Índice de estabilidade de agregados; MACRO: Macroagregados; MICRO: Microagregado.

A Dp sofreu alteração quando comparada com a área de pastagem, exceto para a profundidade de 0,4-0,6 m, voltando a sua característica inicial da implantação do experimento de $2,57 \text{ g cm}^{-3}$, aproximadamente (ALVES *et al.*, 2015). Isso pode ter ocorrido devido a falta de fertirrigação ao longo do tempo, pois a bananeira é uma planta de desenvolvimento rápido que exige concentrações altas de nutrientes (Silva, 2008). Quando comparadas entre doses, a Ds e Dp só não apresentaram diferenças estatísticas para as profundidades de 0,4-0,6 m (FIGURA 1A e 1B).

A porosidade total do solo (Pt), a Microporosidade (MiPt) e a Macroporosidade (MaPt) que também são indicadoras de qualidade do solo, não foram influenciadas pelas aplicações de ART no presente estudo em comparação a pastagem. Porém, pode-se observar um decréscimo nos valores de Pt à medida que as doses de ART aumentam (FIGURA 1C).

As doses de ART não tiveram influência em nenhuma profundidade quando comparada a Pt, enquanto a MaPt na profundidade 0,2-0,4 foi superior e a MiPt na profundidade de 0,4-0,6 m foi inferior em solo irrigado com doses maiores de ART em relação ao controle (Tabela 1). No entanto, na Figura 1C, podemos observar um efeito linear da redução da porosidade em $0.000531 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para cada unidade percentual de aumento de dose de ART. Isso indica que o solo sofreu compactação ao longo dos anos, devido à redução da porosidade total do solo e o aumentado grau de empacotamento das partículas do solo.

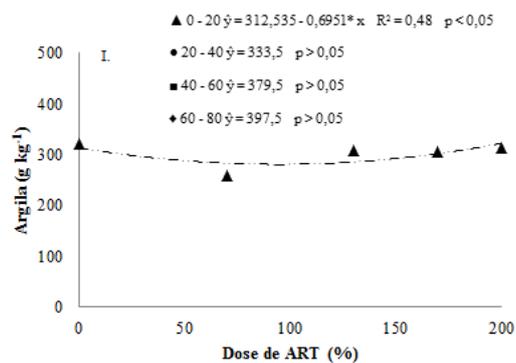
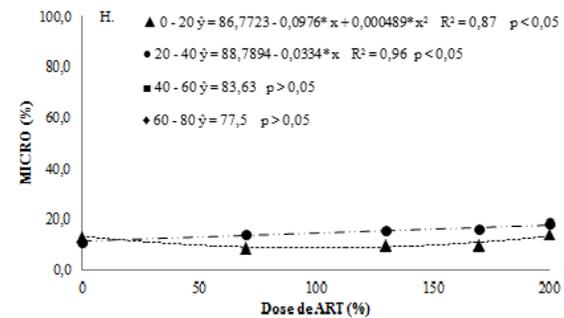
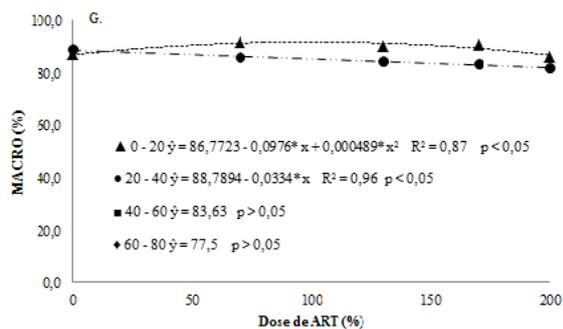
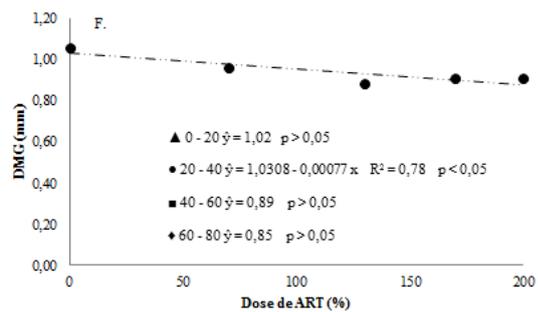
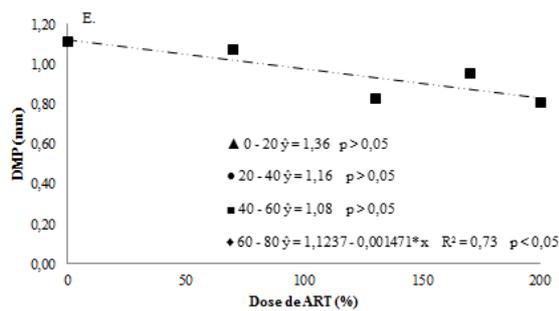
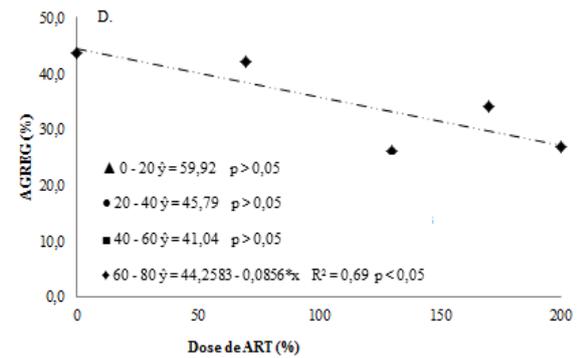
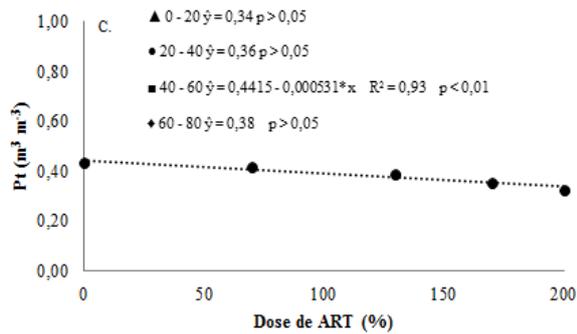
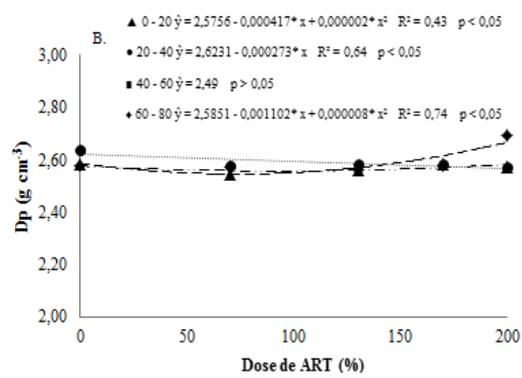
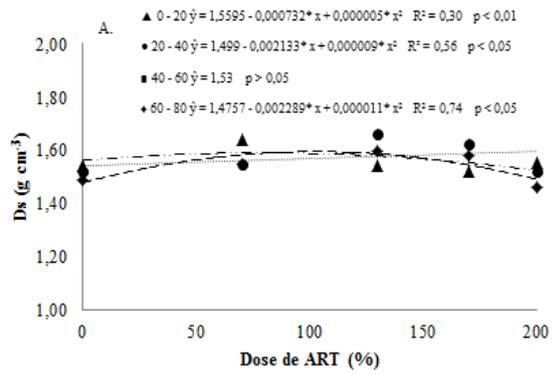


Figura 1. Densidade do solo (A), densidade de partículas (B), porosidade total (C), índice de estabilidade de agregados (D), Diâmetro médio ponderado (E), diâmetro médio geométrico (F), microagregados (G) e macroagregados (H) e argila total (I) em um Latossolo Vermelho Eutrófico irrigado com água residuária sanitária tratada.

O diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (AGREG), foram influenciados apenas até a profundidade de 0,2 m quando comparado com a testemunha, conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

Alves *et al.* (2015), avaliando a mesma área, não encontraram diferença significativa das profundidades quando comparada a testemunha. Essa mudança de comportamento dos agregados pode ter acontecido devido aos agregados estáveis em água conseguirem restabelecer a porosidade do solo influenciando no processo de infiltração e a resistência à erosão; e os agregados não estáveis desaparecerem ao mínimo impacto provocado pelas gotas de chuva (VICENTE *et al.*, 2012).

Com o aumento da dose de ART, observou-se na profundidade de 0,6-0,8 m uma redução na estabilidade de agregados quando avaliada pelos índices de agregação (Figura 1D) e DMP (Figura 1E) e na profundidade 0,2-0,4 m para DMG (Figura 1F).

Acredita-se que a ART pode ser utilizado como condicionador do solo na recuperação de áreas degradadas por manejo inadequado (GARCIA-ORENES *et al.*, 2005), já que a estabilidade dos agregados, medida pelo DMP, demonstra a resistência do solo à erosão (ALBUQUERQUE *et al.*, 2003).

Para silte e argila houve interferência da ART na faixa superficial, de 0,0-0,2 m (TABELA 1), enquanto o valor da fração argila também diferiu estatisticamente entre as doses de ART até 0,2 m de profundidade (Figura 1I), indicando a ocorrência de translocação da argila, provavelmente pela eluição da fração coloidal do solo.

4. CONCLUSÕES

O uso da água residuária tratada após cinco anos de cultivo com banana alterou os atributos físicos do solo em todas as profundidades, principalmente de 0 a 0,2 m .

A fertirrigação com água residuária seguindo o critério de concentração de nutrientes, durante anos, além de reduzir o impacto no meio ambiente ainda possibilita uma melhor estrutura do solo com reaproveitamento da água residuária.

5. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Banco do Nordeste do Brasil S.A., Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L.; FONTANA, E. C. 2003. Effects of liming and phosphorus application on the structural stability of an acid soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 27, no. 5, p. 799-806.

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F; ARAÚJO, E. D. Soil physical attributes in chemigated banana plantation with waste water. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.6, p.998-1008, nov./dez. 2015.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade Física de um Latossolo Vermelho Acriférrico Sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p.677-687, 2009.

ARIENZO, M.; CHRISTEN, E. W.; QUAYLE, W.; KUMAR, A. A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters. **Journal of Hazardous Materials**, v.164, n. 2-3, p.415-422, 2009.

BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um latossolo amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 23, núm. 4, 1999, pp. 1019-1025. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Brasil.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S.I. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (1999): 997-1003.

COSTA, M. C. G.; ALMEIDA, E. L.; FERREIRA, T. O.; OLIVEIRA, D. P.; ROMERO, R. E. Profundidade do solo e micro-relevo em bananais irrigados: impactos na nutrição mineral e potencial produtivo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, p. 567–578, 2011.

COSTA, M. S.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; BATISTA, R. O.; COSTA, L. L. B.; OLIVEIRA, W. M. Produção de mudas de Timbaúba sob diferentes concentrações de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 408-422, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2011. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília-DF, 2013. 353p.

GARCIA-ORENES, F.; GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, J.; NAVARRO-PEDRENO, J.I.; MATAIX-BENEYTO, G.I. “Factors controlling the aggregate stability and bulk density

in two different degraded soils amended with biosolids. **Soil and Tillage Research**, Vol. 82, No. 1, 2005, pp. 65-76.

GEE, G. W. & BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis. Part and mineralogical methods**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. P.383-411. (Agronomy Series, 9).

KEMPER, W.; ROSENAU, R. **Aggregate stability and size distribution**. Washington: Government printing office, 1986.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 2005. 531 p.

MIOTTI, A. A.; COSTA, M.C.G.; FERREIRA, T.O.; ROMERO, R.E.; Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, p. 536–545, 2013.

MUYEN, Z.; MOORE, G. A.; WRIGLEY, R. J. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. **Agricultural Water Management**, v.99, n. 1, p.33-41, 2011.

PAES, J. L. de A.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R. B. A.; FREIRE, M. B. G. dos S.; BARROS, M. de F. C.; ROCHA, G. C. Dispersão de argilas em solos afetados por sais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.11, p.1135–1142, 2013 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG –Protocolo 229.12 – 22/03/2012 • Aprovado em 02/08/2013.

SILVA, S. O.; PEREIRA, L. V.; RODRIGUES, M. G. V.; Bananicultura irrigada: Inovações tecnológicas. Variedades. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.29, n. 245, p. 78-83, 2008.

SILVA, J. G. D.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; PREVIERO, C. A. Composição químico-bromatológica e produtividade do capim-mombaça cultivado em diferentes lâminas de efluente do tratamento primário de esgoto sanitário. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 59, n. 5, p. 606-613, set/out, 2012.

SOUZA, R. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; SOARES, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 125-133, 2010.

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. de L. Mudanças nas características físico-químicas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa (*Lactuca sativa*, L.). **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 271-279, 2012.

VICENTE, T. F. S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A.K. S.; SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 1215–1222, 2012.

CONCLUSÕES FINAIS

O uso da água residuária tratada após cinco anos de cultivos com diversas culturas altera os atributos físicos do solo principalmente na região superficial do solo, até 0,2 m de profundidade.

A fertirrigação com água residuária seguindo o critério de concentração de nutrientes melhora a estrutura do solo, além de reduzir o impacto ambiental da disposição do efluente em corpos d'água superficiais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Banco do Nordeste do Brasil S.A., Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.