



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

JANIELLE SOUZA PEREIRA

**REÚSO AGRÍCOLA DE BIOSSÓLIDO EM CULTIVO DE
MUDAS DE *Psidium guajava* L.**

**JUAZEIRO – BA
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Janielle Souza Pereira

**REÚSO AGRÍCOLA DE BIODISSÍLIDO EM CULTIVO DE
MUDAS DE *Psidium guajava* L.**

Trabalho apresentado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^a. D.Sc. Nelci Olszewski

Coorientadora: Prof^a. D.Sc. Miriam Cleide Cavalcante de Amorim

JUAZEIRO – BA
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

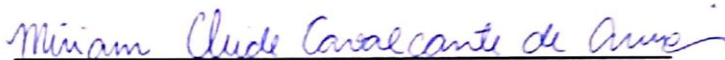
Janielle Souza Pereira

**“Reúso agrícola de biossólido em cultivo de mudas de
Psidium guajava L.”**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



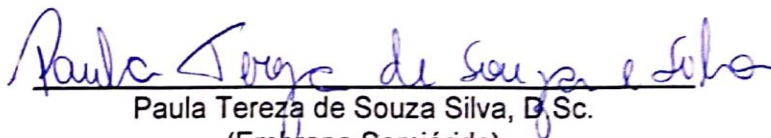
Nelci Olszewski, Profa. D.Sc.
(UNIVASF/CPGEA)



Miriam Cleide Cavalcante de Amorim, Profa. D.Sc.
(UNIVASF/CENAMB)



Alessandra Monteiro Salviano, Profa. D.Sc.
(Embrapa Semiárido/CPGEA)



Paula Tereza de Souza Silva, D.Sc.
(Embrapa Semiárido)

P436r Pereira, Janielle Souza
Reúso agrícola de biossólido em cultivo de mudas de *Psidium guajava* L. / Janielle Souza Pereira. – Juazeiro - BA, 2019.
xii, 67 f. : il. ; 29 cm.

Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola) -
Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-
BA, 2019.

Orientadora: Prof^a. D.Sc^a. Nelci Olszewski.

1. Adubo orgânico. 2. Goiaba. 3. Lodo de esgoto. I. Título. II.
Olszewski, Nelci. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.8

Dedico este trabalho ao Deus Criador e Mantenedor da minha vida, aos meus pais Adélio e Ângela, à minha família e amigos pelo incentivo e apoio em cada momento.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida e pela sabedoria concedida para concretização desse sonho, e por ser meu guia nesse caminho cheio de desafios que enfrentei. Muito obrigada Senhor Jesus, por sempre mostrar que devo me desafiar em cada situação e buscar a excelência em tudo o que fizer, mesmo quando esta não seja minha vontade.

Aos meus pais Adélio e Ângela que, mesmo distanciados por 300 km sempre se fizeram presentes, percebendo até mesmo pela voz ao telefone que algo não ia bem e logo me incentivavam a não desistir dos meus objetivos. Pai e mãe, infelizmente na busca por nossos sonhos algumas vezes temos que renunciar momentos que jamais serão recuperados, mas agradeço a vocês por sempre entenderem e tentarem amenizar a saudade que eu sentia de casa, seja por meio de uma ligação ou uma visita surpresa. Eu amo muito vocês e sempre farei o melhor para retribuir tudo o que fizeram e fazem por mim.

À minha família, que desempenha um papel indispensável na minha vida, pois mesmo “cobrando” um pouco mais da minha presença em casa, nunca deixou de me incentivar, de acreditar nos meus objetivos e principalmente, de orar por meu sucesso. Nela está o meu porto seguro, o lugar onde mora o meu coração.

À minha orientadora, D.Sc. Nelci Olszewski, que além de impulsionar o início da minha jornada na pesquisa, sempre me instigou a buscar mais do que o óbvio, seja me desafiando a encontrar respostas para questionamentos que muitas vezes me pareciam sem solução ou dando-me autonomia para desenvolver minhas ideias infundáveis ou “puxando minha orelha sutilmente” (kkkkkkkk). Muito obrigada pelos conselhos, paciência e ensinamentos.

À minha coorientadora, D.Sc. Miriam Cleide, que com muita paciência, acessibilidade e incentivo me possibilitou explorar mais a fundo uma área do conhecimento que eu pouco dominava, fazendo com que eu ampliasse meu campo de conhecimentos. Muito obrigada por cada ensinamento e conselhos.

Aos meus amigos, Ana Flávia, Lucas, Maurício, Kaique, Roberta, Jean, Telma e Dalvia, por muitas vezes me arrancarem da frente da tela do computador ou de dentro do laboratório para distrair um pouco e lembrar que “a vida não cabe no Lattes”.

Aos meus amigos da Turma Raiz, Amélia Carvalho, Ana Carla Menezes, Camila Santana, Fabiana Torres, Jadna Mylena, Marcelo José e Patrícia Barbosa, por sempre terem uma palavra de ânimo em cada momento em que compartilhamos nossas vitórias, medos, frustrações e sonhos.

A todos que fizeram parte dessa trajetória fornecendo equipamentos e auxiliando no desenvolvimento teórico e prático do projeto (D.Sc. Acácio Figueiredo, D.Sc. Alessandra Monteiro, D.Sc. Aliçandro Bezerra, André Azevedo, Celimar Oliveira, Damiana Rodrigues, Eduardo Barros, Edson Pereira, Filipe Maia, Genildo Rosa, Hideo Nagahama, Jeisa Cruz, Max Fernandes (*In memoriam*), Luan Wamberg, Rodrigo Torres, Sálvio Napoleão, Sara Pereira, Tales Xavier e Thiago Cirilo).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro, à Universidade Federal do Vale do São Francisco e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de obter o título de Mestre em Engenharia Agrícola; à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido) e à Companhia Pernambucana de Saneamento (Petrolina) pela disponibilização de recursos físicos para realização prática do projeto; à secretária do CPGEA, Carolina Torres, por sua prestatividade e eficiência em todos os serviços solicitados; e a todos os professores do programa pelos conhecimentos compartilhados.

PEREIRA, J. S. ¹**Reúso agrícola de biossólido em cultivo de mudas de *Psidium guajava* L.** 2019. 67p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro-BA.

RESUMO

O biossólido, produto resultante do tratamento do lodo de esgoto, pode ser aplicado como condicionador do solo promovendo melhorias na retenção de água, na aeração, na infiltração e na agregação das partículas. O trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de reúso agrícola do biossólido proveniente de reator anaeróbio de fluxo ascendente além de verificar alterações em características morfológicas de mudas de goiabeira e em características físicas do substrato de condução. Foi realizada a caracterização do biossólido, avaliação das características morfológicas das mudas de goiabeira e das características físicas dos substratos utilizados. As características físicas, químicas e microbiológicas do biossólido analisado o enquadram no padrão estabelecido pela Resolução nº 375 do CONAMA para reúso agrícola. O tratamento composto por biossólido e solo na proporção 2:1 foi o que mais favoreceu o desenvolvimento vegetativo das mudas de goiabeira, ainda que não tenha otimizado a área foliar e o índice de qualidade de Dickson. As características físicas do substrato como as densidades do solo e de partículas foram significativamente reduzidas ao se adicionar biossólido ao solo, enquanto que a porosidade total foi incrementada e a microporosidade apresentou valores dentro do ideal. Foi possível verificar similaridade entre os tratamentos, observando a formação de dois grupos, um composto por biossólido com maravalha e biossólido com solo na proporção 2:1 e o outro pelos tratamentos de esterco com maravalha e biossólido com solo na proporção 1:1 e na proporção 3:1.

Palavras-chave: Adubo orgânico. Goiaba. Lodo de esgoto.

¹O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

PEREIRA, J. S. ¹**Agricultural reuse of biosolids in seedling cultivation of *Psidium guajava* L.** 2019. 67p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering). Federal University of the São Francisco Valley. Juazeiro-BA.

ABSTRACT

The biosolid, a product resulting from the treatment of sewage sludge, can be applied as a soil conditioner promoting improvements in water retention, aeration, infiltration, and aggregation of particles. The objective of this study was to evaluate the potential of biosolids from an anaerobic reactor with ascending flow for agricultural reuse and to verify changes in the morphological characteristics of guava seedlings and the physical characteristics of the conduction substrate. The characterization of the biosolid was performed, as well as the evaluation of the morphological characteristics of the guava seedlings and the physical characteristics of the substrates used. The physical, chemical and microbiological characteristics of the analyzed biosolid fit the standard established by CONAMA Resolution No. 375 for agricultural reuse, with physical, chemical and microbiological characteristics indicating that this residue can be reused for agricultural purposes. The treatment composed of biosolids and soil in the 2:1 ratio was the one that most favored the vegetative development of guava seedlings, even though it did not optimize the leaf area and the Dickson quality index. The physical characteristics of the substrate such as soil density and particles were significantly reduced by adding biosolids to the soil, while the total porosity was increased and the microporosity presented values within the ideal. It was possible to verify similarity between the treatments, observing the formation of two groups, one composed of biosolid with razor and biosolid with soil in the proportion 2:1 and the other by the treatments of manure with razor and biosolid with soil in the proportion 1:1 and in the proportion 3:1.

Keywords: Organic fertilizer. Guava. Sewage sludge.

¹This work was supported by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1: Potencial do reúso agrícola de biossólido.....	30
Tabela 1. Carbono orgânico, matéria orgânica e teores de macronutrientes encontrados no biossólido da ETE Centro da COMPESA e limites permitidos pelas normas brasileiras.....	34
Tabela 2. Características físicas e químicas encontradas no biossólido da ETE Centro da COMPESA e limites permitidos pelas normas brasileiras.....	35
Tabela 3. Teores de substâncias inorgânicas encontradas no biossólido da ETE Centro da COMPESA e limites permitidos pelas normas brasileiras.....	35
Tabela 4. Parâmetros microbiológicos encontrados no biossólido da ETE Centro da COMPESA e limites permitidos pelas normas brasileiras.....	36
ARTIGO 2: Biossólido no condicionamento físico do solo e na condução de mudas de goiabeira.....	45
Tabela 1. Caracterização física do solo.....	48
Tabela 2. Caracterização química do solo.....	48
Tabela 3. Valores médios das características físicas do substrato em função das diferentes proporções de biossólido.....	50
Tabela 4. Valores médios das características morfológicas das mudas de goiabeira em função das diferentes proporções de biossólido.....	51
Tabela 5. Valores médios das características morfológicas e índices das mudas de goiabeira em função das diferentes proporções de biossólido.....	52
Tabela 6. Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão das variáveis utilizadas para elaboração do agrupamento com os dados das características físicas do substrato.....	55
Tabela 7. Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão das variáveis utilizadas para elaboração do agrupamento com os dados das características morfológicas das mudas de goiabeira.....	56

LISTA DE FIGURAS

REFERENCIAL TEÓRICO.....	143
Figura 1. Representação esquemática do reator UASB.....	19
ARTIGO 1: Potencial do reúso agrícola de bio sólido.....	30
ARTIGO 2: Bio sólido no condicionamento físico do solo e na condução de mudas de goiabeira.....	45
Figura 1. Teor de água no substrato em função das diferentes proporções de bio sólido	51
Figura 2. Densidade de biomassa (A) e Índice de qualidade de Dickson (B) na condução de mudas de goiaba em função das diferentes proporções de bio sólido...	52
Figura 3. Dendrograma da análise de agrupamento dos atributos físicos do substrato em função das diferentes.....	53
Figura 4. Dendrograma da análise de agrupamento das características morfológicas das mudas de goiabeira em função das diferentes proporções de bio sólido.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1. QUALIDADE DO SOLO, BIOSSÓLIDO E REÚSO AGRÍCOLA	14
2.2. GERAÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS	17
2.3. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA REÚSO AGRÍCOLA DO BIOSSÓLIDO...20	
2.4. CULTURA DA GOIABA (<i>Psidium guajava</i> L.)	21
3. REFERÊNCIAS.....	22
4. ARTIGO 1: Potencial do reúso agrícola de biossólido.....	30
4.1 INTRODUÇÃO	31
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.3 RESULTADOS	33
4.4 DISCUSSÃO	36
4.5 CONCLUSÕES	40
4.6 REFERÊNCIAS.....	40
5. ARTIGO 2: Biossólido no condicionamento físico do solo e na condução de mudas de goiabeira	45
5.1 INTRODUÇÃO	46
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	47
5.3 RESULTADOS	50
5.4 DISCUSSÃO	56
5.5 CONCLUSÕES	62
5.6 REFERÊNCIAS.....	62

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional desordenado, o intenso consumo de combustíveis fósseis, o desenvolvimento industrial e a demanda cada vez maior de produção de alimentos e de energia, estão entre os principais vetores da depreciação dos recursos naturais e da geração de resíduos, afetando a sustentabilidade ambiental e econômica (ABRAÃO, 2016; FREITAS et al., 2012; GONÇALVES, 2016).

Dentre os recursos naturais mais afetados pela degradação ambiental encontra-se o solo. Trata-se de um material não consolidado constituído de matéria orgânica e mineral, que recobre a superfície da terra e é considerado o suporte para o desenvolvimento e crescimento vegetal (OLIVEIRA, 2005).

Para que o solo apresente condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas, deve-se manter a qualidade das características físicas e químicas, pois o manejo inadequado reduz sua capacidade dinâmica, acarretando em alterações em atributos biológicos, físicos e químicos, comprometendo seu potencial agrícola (SILVA et al., 2015). Desse modo, a sustentabilidade ambiental deve ser assegurada utilizando-se racionalmente esse recurso natural, através de práticas conservacionistas de manejo, a exemplo da adição ao solo de resíduos adequadamente tratados e enriquecidos em matéria orgânica.

Dentre estes resíduos, pode-se destacar resíduos vegetais, como a torta de mamona, restos de folhas e sementes e, biossólido. Este último, proveniente do tratamento de águas residuárias de origem doméstica, os esgotos sanitários. Geralmente, quando o efluente é tratado, é gerado um resíduo rico em nutrientes como subproduto das operações e processos a que está sujeito e, esse material tem na sua destinação final o grande problema ambiental das estações de tratamento de esgotos (CARVALHO et al., 2016).

O reaproveitamento e a reciclagem do biossólido após estabilização devem ser considerados como opções de destino final, seja para recuperação de áreas degradadas, reúso industrial ou reaproveitamento como resíduo orgânico para a agricultura e não, apenas, a incineração ou a disposição em aterro sanitário (ANDREOLI, 2009; CARVALHO et al., 2016; LIMA, 2014).

Dentre os reúsos do biossólido, seu aproveitamento como fertilizante agrícola se mostra como um recurso para a agricultura sustentável, por possuir elevada carga orgânica e nutrientes (fósforo, nitrogênio, enxofre, magnésio e cálcio) essenciais ao

desenvolvimento vegetal, por possibilitar a ciclagem de nutrientes ao ser aplicado no solo, além de ser um condicionador, melhorando a retenção de água, a aeração, a infiltração e a agregação das partículas (AFÁZ et al., 2017; MIGLIOLI et al., 2016; USMAN et al., 2012).

No Brasil, a Resolução Federal nº 375 de 29 de Agosto de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) normatiza a aplicação agrícola do biossólido, limitando os teores de substâncias inorgânicas e de agentes patogênicos permitidos neste material residual. Essa norma também proíbe o uso do lodo em culturas inundadas, raízes, pastagem, tubérculos, olerícolas e em qualquer cultura que tenha contato da parte comestível com o solo. Tais medidas buscam a garantia da qualidade dos corpos hídricos, do solo e a segurança alimentar (BRASIL, 2006).

Dentre as culturas que a Resolução CONAMA 375/2006 permite a exploração com utilização do lodo de esgoto está a goiaba (*Psidium guajava* L.) que, no cenário nacional, sua produção se destaca no Vale do Submédio São Francisco, nos estados da Bahia e Pernambuco. Nessa região, a cultura representa 71,22% da produção nordestina e ocupa uma área de 5.101 ha, produzindo, em 2017, 152.750 toneladas (BARBOSA et al., 2015; IBGE, 2017).

Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do reúso agrícola do biossólido após estabilização e higienização térmica, no cultivo de mudas de goiabeira na região do Vale do Submédio São Francisco.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. QUALIDADE DO SOLO, BIOSSÓLIDO E REÚSO AGRÍCOLA

Para Aragão et al. (2012) a qualidade do solo se refere a manutenção do equilíbrio ambiental para promoção da saúde de animais, plantas e seres humanos, mantendo a capacidade sustentável da produtividade biológica do ecossistema. E, para Araújo et al. (2012) representa a capacidade do solo em manter a sustentabilidade produtiva, conservando os recursos naturais.

Segundo Araújo et al. (2012) e Freitas (2010), a qualidade do solo está fortemente relacionada com a ação antrópica, devendo estar em constante avaliação. Para isso são utilizados parâmetros físicos, químicos e biológicos para monitoramento

e através dos resultados se determinam as práticas de manejo conservacionistas mais adequadas à manutenção da sustentabilidade.

Entre as ações mitigadoras de degradação, visando a sustentabilidade ambiental, social e econômica, está a minimização do uso de insumos agrícolas e ênfase em sistemas de produção conservacionistas que se utilizam de prática como o plantio direto, o cultivo mínimo, a adubação verde e a cobertura morta, buscando conservar as propriedades físicas do solo (BORGES et al., 2014; SOARES et al., 2016; VISCHI FILHO et al., 2016). Como alternativa à incorporação de componentes que fomentam a qualidade química e física do solo está a aplicação de resíduos da agroindústria, agrícolas e urbanos, a exemplo do lodo de esgoto.

O lodo consiste em um subproduto gerado dos processos biológicos de tratamento do esgoto sanitário. Esse resíduo é pastoso, semissólido, rico em microrganismos, componentes inorgânicos e composto por 70 a 80% de matéria orgânica, rica em nutrientes, a exemplo do nitrogênio, fósforo e potássio, podendo substituir, parcialmente, os adubos químicos (AISSE et al., 2001; PEDROZA et al., 2010).

Entretanto, o lodo também é composto por micronutrientes que, em quantidades elevadas, tornam-se tóxicos para as plantas, como os metais pesados, a exemplo do arsênio (As), o níquel (Ni), o cádmio (Cd), o cobre (Cu), o mercúrio (Hg), o molibdênio (Mo), o boro (B), o chumbo (Pb), o selênio (Se) e o zinco (Zn) (LOPES et al., 2005).

Biologicamente, esse resíduo também pode apresentar elementos patogênicos como ovos de helmintos, cistos de protozoários, bactérias e vírus entéricos (AISSE et al., 2001; LOPES et al., 2005). Essas características exigem a realização de um tratamento que ao ser finalizado forneça um resíduo que se enquadre dentro dos critérios ambientais e técnicos estabelecidos pela legislação ambiental para sua disposição final (ROSA et al., 2016).

O tratamento do lodo de esgoto tem por objetivo reverter algumas características indesejáveis desse subproduto, a exemplo do grande volume, da instabilidade biológica e do potencial para transmissão de patógenos. Para tanto, devem ser realizados processos físicos, químicos e biológicos, podendo utilizar adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação (PEDROZA et al., 2010).

Quando o lodo é tratado e processado com a redução da presença de elementos contaminantes e de microrganismos patogênicos, este apresenta características que permitem sua utilização agrícola podendo, então ser denominado de biossólido (RIGO et al., 2014).

Após o tratamento, esse material ainda pode ser um problema ambiental e econômico às empresas de saneamento, sejam elas públicas ou privadas, pois, associado ao processamento, a destinação final representa 60% do custo operacional; exigindo a adoção de alternativas menos onerosas e ambientalmente corretas (PEDROZA et al., 2010).

As opções disponíveis mais utilizadas para destino final do biossólido são a deposição oceânica e a incineração, que se constituem seleções onerosas. Entretanto, pode-se optar pela deposição florestal, reaproveitamento e reciclagem, seja na recuperação de áreas degradadas, no reúso industrial ou como resíduo orgânico para a agricultura; métodos estes que mostram-se potencialmente elegíveis (ROSA et al., 2016).

A utilização do biossólido na agricultura mostra-se uma técnica de manejo conservacionista, pois sua aplicação favorece a sustentabilidade ambiental ao possibilitar a reciclagem da energia e dos nutrientes presentes em sua composição, concomitante ao aumento produtivo (MARTINS et al., 2015; MORETTI et al., 2015).

Para Braida et al. (2011) e Bittencourt et al. (2017) esse resíduo tem sido objeto de estudo de pesquisadores por apresentar conteúdo elevado de matéria orgânica, possibilitando o aumento do número de ligações entre as partículas, devido às grandes quantidade de cargas e elevada superfície de contato, atuando, assim, direta e indiretamente sobre os processos físico-estruturais e hídricos do solo.

Freitas e Melo (2013) e Rigo et al. (2014) também afirmam que o biossólido pode atuar como condicionador do solo, melhorando sua estrutura, ao liberar substâncias orgânicas que favorecem a agregação das partículas; conferindo ao solo maior capacidade de retenção de água e maior resistência à erosão.

Prado e Cunha (2011) afirmam que a utilização do biossólido como fonte de matéria orgânica se mostra uma alternativa mais segura para disposição final desse resíduo e sua aplicação melhora a qualidade do solo, pois aumenta a fertilidade, a porosidade total, a agregação das partículas, a estabilização dos agregados, a macroporosidade e reduz a densidade. Tais alterações promovem uma maior aeração

do solo, capacidade de retenção e infiltração de água e conseqüente redução dos processos erosivos.

Estudo realizado por Sampaio et al. (2012) observaram aumento significativo na porcentagem de agregados de maiores diâmetros (4 a 2 mm), seis meses após aplicação do referido resíduo. Bueno (2010), detectou em seu estudo a redução de 11% na densidade do solo, após aplicação de uma dosagem de 20 t ha⁻¹ de biossólido.

Nesta perspectiva, percebe-se que a aplicação desse resíduo na agricultura, na recuperação de áreas degradadas e de solos erodidos, mostra-se uma alternativa viável. Entretanto, no Brasil, esta prática ainda é restrita, limitando-se aos estados do Paraná, São Paulo, Espírito Santo e Rio Grande do Sul e, ao Distrito Federal, devido à escassez de dados acerca das características do biossólido de uso agrícola e pela falta de legislação estaduais que se adequem à realidade de cada região (BITTENCOURT et al., 2017; SAMPAIO, 2013).

Outras regiões que ainda não se destacam na reutilização desse resíduo, como o nordeste brasileiro, se mostram como locais com potencial para aplicação do biossólido aos solos, fomentando, assim, a sustentabilidade e auxiliando na melhoria da qualidade desse recurso natural, por incorporar resíduos ricos em nutrientes (PEDROZA et al., 2010; SILVA; SILVA, 2016).

Destarte, a aplicação agrícola do biossólido, atendendo às medidas de controle e a legislação vigente, mostra-se uma destinação final sustentável, econômica e socialmente correta (BITTENCOURT et al., 2013).

2.2. GERAÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS

O acelerado desenvolvimento econômico, o crescimento populacional desordenado, a urbanização e a intensificação das ações humanas têm gerado quantidade excessiva de resíduos como subprodutos das atividades realizadas (DIAS et al., 2012). Essa crescente produção de materiais residuais com imensa variedade e complexidade, associados a elevada produção de resíduos e a ausência de áreas de depósito adequadas, torna a gestão dos resíduos urbanos uma necessidade urgente quando se busca o desenvolvimento sustentável, evitando assim a ocorrência de problemas sanitários e contaminação do solo e da água (CARDOSO et al., 2015; MARTINS et al., 2017; QUERINO; PEREIRA, 2016).

Associado à geração de detritos urbanos, encontra-se o maior consumo de

água e conseqüente incremento na geração de águas residuárias (efluentes), provenientes dos esgotos domésticos e industriais, as quais são comumente lançadas nos corpos hídricos antes ou após tratamento (PERES et al., 2010). Esses problemas evidenciam a necessidade de implantação de ações que minimizem a ineficiência do gerenciamento de resíduos.

Dentre os fatores que contribuem para a ineficácia do sistema brasileiro de gestão de resíduos está a pouca preocupação do governo com saúde pública e o meio ambiente (GODECKE et al., 2012). Isto evidencia-se no retardamento da elaboração de legislações que regularizassem o saneamento básico, que levaram cerca de 20 anos em tramitação e discussão no Congresso Nacional.

Entre as resoluções estabelecidas estão aquelas destinadas à prevenção da contaminação das águas, a exemplo das Resoluções do CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, que classificam os corpos hídricos, estabelecem os padrões e condições de lançamento de efluentes, além de estabelecerem a necessidade de tratamento prévio desses resíduos antes de retornarem aos corpos hídricos (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

O tratamento dessas águas residuárias é realizado em estações de tratamento de esgoto (ETEs), utilizando diferentes sistemas tecnológicos em unidades integradas, visando a remoção de poluentes (PEDROZA et al., 2010).

Segundo Von Sperling (2005), em uma ETE o esgoto é submetido a variados processos, iniciando pelo tratamento preliminar, que removerá os sólidos grosseiros; seguido pelo tratamento primário para remoção de sólidos sedimentáveis e de matéria orgânica. Em seguida, o efluente é submetido ao tratamento secundário, onde operam mecanismos biológicos, visando a remoção de matéria orgânica e nutrientes (nitrogênio e fósforo) e, finalmente ao tratamento terciário ou avançado para remover poluentes remanescentes, gerando-se, como subproduto, um resíduo semissólido, pastoso e rico em nutrientes, denominado bio-sólido (PEDROZA et al., 2010).

Dentre os métodos utilizados para o tratamento das águas residuárias encontram-se os sistemas aeróbios, a exemplo do uso de lodos ativados, as lagoas aeradas e os filtros biológicos; e anaeróbios, como as lagoas anaeróbias, os filtros anaeróbios, os tanques sépticos e os reatores de alta taxa (reatores UASB) (ARRECHEA et al., 2009).

Os reatores UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket ou reatores de fluxo ascendente e manta de lodo, foram desenvolvidos na Holanda ao fim da década de

70 e, constituem um sistema anaeróbio com efluente escoando no sentido ascendente através de um leito denso de lodo, com elevada atividade de microrganismos e caracterizado por operar a menores tempos de detenção hidráulica (ARAÚJO, 2014).

Segundo Graaff et al. (2010), o reator UASB (Figura 1) é compartimentado em zona de digestão (fase que é formada pelo leito e manta de lodo) e zona de sedimentação (fase cujo as partículas se desagregam da manta de lodo e sedimentam voltando a zona de digestão). Na parte superior, o reator possui um dispositivo separador sólido, líquido e biogás, denominado separador trifásico, que auxilia na sedimentação dos sólidos. O efluente ao entrar no reator UASB, primeiramente entra em contato com o leito de lodo, que apresenta um perfil de sólidos de muito denso a partículas granulares com elevada capacidade de decantação onde ocorrerá a degradação da MO.

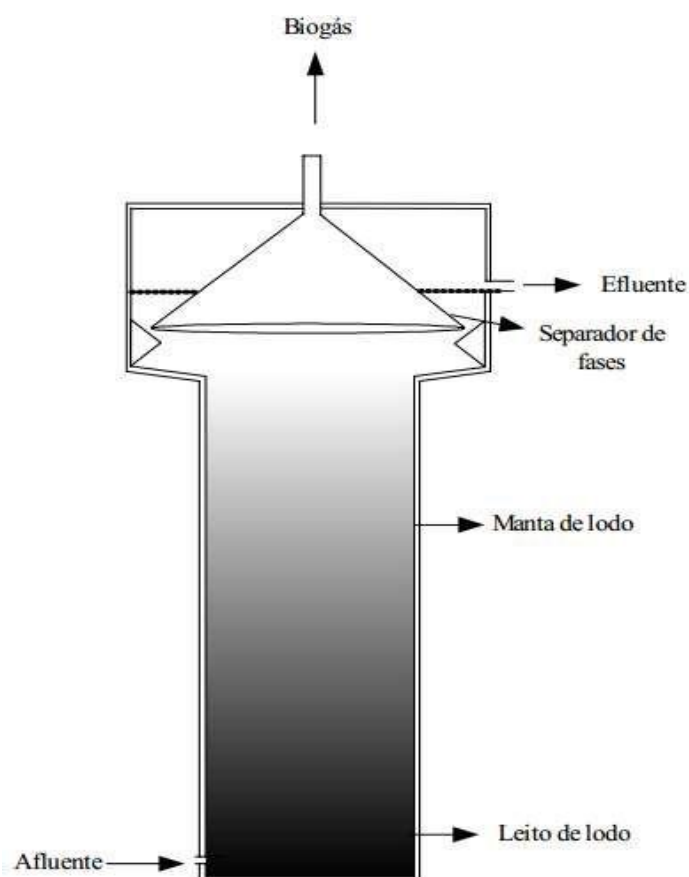


Figura 1. Representação esquemática do reator UASB.

Fonte: (OLMI et al., 2006)

Durante o tratamento o fluxo ascendente do efluente e as bolhas de gás geradas promove a mistura do sistema e auxilia o processo de contato entre biomassa

e substrato (MATANGUE; CAMPOS, 2011; OLMÍ et al., 2006).

No tratamento biológico o lodo é gerado como resultado da multiplicação dos microrganismos (biomassa) responsáveis pela degradação da matéria orgânica presente no esgoto afluente. Torna-se então um resíduo, pois deve ser removido do reator para evitar acúmulo bem como ser arrastado pelo efluente prejudicando o próprio tratamento. Assim, ao final do tratamento no reator UASB, com menores tempos de detenção hidráulica e elevada remoção de carga orgânica, produz-se o lodo biológico estabilizado e a custo atraente (RODRIGUES et al., 2010).

2.3. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA REÚSO AGRÍCOLA DO BIOSSÓLIDO

Para viabilizar o reúso sustentável e seguro dos resíduos das ETEs na agricultura, em 2006 foi instituída a Resolução Federal CONAMA nº 375. Nesta resolução estão descritos os critérios e procedimentos para o uso de lodos de esgoto provenientes de estações de tratamento de esgoto sanitário (BRASIL, 2006).

Dentre os critérios que a resolução pondera encontram-se o potencial agrônômico, as substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas, os indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos e a estabilidade do resíduo (BRASIL, 2006).

O parágrafo primeiro do artigo 7º estabelece que parâmetros como carbono orgânico, fósforo total, nitrogênio Kjeldahl, nitrogênio amoniacal, umidade, sólidos voláteis, pH em água, potássio, sódio, enxofre, cálcio e magnésio total devem ser considerados ao avaliar o potencial agrônômico (BRASIL, 2006).

No parágrafo quinto a resolução determina que, entre os parâmetros químicos a serem analisados na caracterização do lodo encontram-se as quantidades de arsênio, bário, mercúrio, cobre, níquel, zinco, selênio, cromo e molibdênio. E, biologicamente, o resíduo deve apresentar reduzida presença de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, *Salmonella* e vírus entéricos.

Baseando-se nas concentrações de patógenos presentes no lodo de esgoto, a Seção III da resolução classifica-o em classe A ou classe B. A primeira exige a ausência de *Salmonella* em 10 gramas de sólidos totais (ST), número mais provável (NMP) de coliformes termotolerantes inferior a 10^3 , ovos de helmintos em quantidade menor que 0,25 por grama de ST e as unidades formadoras de placa por vírus devem ser inferior a 0,25 por grama de sólidos totais. Já, a segunda classe considera apenas

a presença máxima de 10^6 de NMP por grama de ST e de 10 ovos de helmintos por grama de sólidos totais.

Entretanto, ainda que o lodo apresente potencial agrícola, o artigo 12º da resolução CONAMA 375/2006 proíbe a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto em pastagens, cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes, culturas inundadas e em qualquer cultura que tenha a parte comestível em contato com o solo.

Além dessa resolução, em julho de 2009, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento instituiu a Instrução Normativa SDA número 25 (IN nº 25), que estabelece especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem para fertilizantes orgânicos e biofertilizantes destinados às atividades agrícolas.

O artigo 2º da IN nº 25 classifica os fertilizantes orgânicos, sendo que aqueles cuja produção é oriunda de qualquer quantidade de material advindo de tratamento de despejo sanitário, denomina-se Classe D. Esta classe, apresenta as mesmas restrições da Resolução CONAMA nº 375/2006.

Para a classe D, o Anexo III da Instrução Normativa define os limites de alguns elementos presentes no resíduo, dentre eles estão o nitrogênio que deve ter um valor maior que 0,5 %, a relação carbono/nitrogênio (C/N) com resultado menor que 20%, o pH tem que ser superior a 6,0 e a umidade inferior a 70%.

Em relação aos cultivos agrícolas, entre as culturas que tanto a Resolução CONAMA nº 375/2006 quanto a IN nº 25 permitem o reúso do bio-sólido na condição de lodo de qualquer classe ou de fertilizante classe D, estão a acerola, a pinha, o limão e a goiabeira.

2.4. CULTURA DA GOIABA (*Psidium guajava* L.)

A goiaba, fruto da família Myrtaceae, originária da América tropical, consiste em uma árvore frutífera tropical, amplamente distribuída em várias regiões do mundo, devido a sua fácil adaptação às variadas condições edafoclimáticas (SANTOS et al., 2017).

O Brasil, juntamente com o México e a Índia são os maiores produtores do mundo, com produção, em 2017, atingindo 460.515 toneladas em aproximadamente 15 mil hectares (GARCIA et al., 2017).

No nordeste brasileiro, a goiabeira tem sido cultivada sob irrigação, tornando a região a primeira maior produtora do país, atingindo, em 2017, 46,6% da produção

nacional (IBGE, 2017).

Entre os estados nordestinos que se destacam na produção da goiaba estão a Bahia e Pernambuco, com destaque para as cidades de Juazeiro e Petrolina, que compreendem o Submédio do Vale do São Francisco e um dos Polos da Rede Integrada de Desenvolvimento Econômico (RIDE). Nesta região a cultura representa 71,22% da produção nordestina e ocupa uma área de 5.101 ha, produzindo, em 2017, 152.750 toneladas (ALVAREZ et al., 2011; BARBOSA et al., 2015; IBGE, 2017).

A goiabeira é extremamente importante para as regiões subtropicais e tropicais, em função do seu valor nutritivo, da extensiva aceitação para o consumo *in natura* e da ampla aplicação industrial (GARCIA et al., 2017; NOZAKI et al., 2013).

O fruto possui ácidos, açúcares, pectinas, taninos, flavonóides, óleos essenciais, álcoois sesquiterpenoides e ácidos triterpenoides em quantidades regulares; além de ser utilizadas como polpa, néctar, suco, compota, sorvete, doce (GARCIA et al., 2017).

A produção de mudas dessa cultura é realizada por estaquia e, o êxito depende da seleção de estacas com coloração verde, com dois nós, 12 cm de comprimento e preparadas com dois pares de folhas reduzidas à metade, seguido do estaqueamento a dois centímetros de profundidade, em substrato ideal. (BARBOSA; LIMA, 2010; PECHE, 2012). Deve-se também, manter a umidade das estacas realizando nebulização intermitente e cobrindo-as com sombrite interno de 50% (ALTOÉ et al., 2011). Os substratos indicados para cultivo das mudas de goiabeira são esterco de curral, terra de barranco e areia (2:4:1), ou apenas palha de arroz carbonizada ou vermiculita. Entretanto, devido à propagação do nematoide-das-galhas da goiabeira, os viveiristas têm optado pela utilização de compostos de resíduos da indústria de celulose em conjunto com esterco de animais ou produtos contendo argila expandida (BARBOSA; LIMA, 2010).

3. REFERÊNCIAS

ABRAÃO, R. Aplicação de lodo de estação de tratamento de água no crescimento de *Salvia officinalis*. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Santa Catarina. Curitibanos, SC, 2016.

AFÁZ, D. C. de S.; BERTOLAZ, K. B.; VIANI, R. A. G., SOUZA, C. F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 1, 2017.

AISSE, M. M.; FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. Aspectos Tecnológicos e de processos. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de Biossólidos – Transformando Problemas em Soluções**. Curitiba: Finep, 2.ed. cap.2, p. 49-119. 2001.

ALTOÉ, J. A.; MARINHO, C. S.; TERRA, M. I. da; CARVALHO, A. J. C. de. Multiplicação de cultivares de goiabeira por miniestaquia. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p.801-809, 2011.

ALVAREZ, I. A.; OLIVEIRA, A. R.de; PEREIRA, L. A. **Seleção de propriedades referência para compor modelos de restauração ecológica: aplicação de pesquisa quali-quantitativa**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2011; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 36 p.

ANDREOLI, C. V. et al. (Coord). **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 388 p.

ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R. de; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M. de; SANTOS, M. T. P. dos; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 1, p. 11-18, 2012.

ARAÚJO, E. A. de; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

ARAÚJO, T. L. da S. **Desempenho de reator anaeróbio híbrido (leito fixo e manta de lodo) tratando esgoto sanitário em escala piloto**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2014.

ARRECHEA, A. P.; TORRES, M. L.; LLORENS, M. del C. E.; ACOSTA, R. E. Tecnología para el tratamiento de lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos. **Tecnología Química**, Edición Especial, 2009.

BARBOSA, F. R.; LIMA, M. F. **A cultura da goiaba**. 2ª edição revista e ampliada – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 180 p.

BARBOSA, K. da S.; SOUSA, C. de; LIMA, D. D.; COELHO, B. E. S.; CARVALHO, I. R. B. de; SOUSA, K. dos S. M. de. Caracterização físico-química de goiabas provenientes de diferentes pontos de comercialização da cidade de Petrolina-PE. In: Simpósio de Fruticultura do Vale do São Francisco, 2015. **Anais do Simpósio de Fruticultura do Vale do São Francisco**. Petrolina: UNIVASF, v. 1, p. 151-154.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1129-1139, 2017.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; ANDREOLI, C. V.; MOURA, E. N.; TOGNY, F. L.; SILVA, L. A. T. P. da. Lodo de esgoto submetido ao revolvimento: efeito sobre sólidos totais, pH e ovos viáveis de helmintos. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**. v. 11, supl. 1, p. S191-S200, 2013.

BORGES, T. K. de S.; MONTENEGRO, A. A. de A.; SANTOS, E. M. dos; SILVA, D. D. da; SILVA JÚNIOR, V. de P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1862-1873, 2014.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. **Matéria orgânica e seu efeito na física do solo**. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 7, p. 221-278, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de afluentes, e dá providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 de março de 2005. Seção 1, seção 1, 2005, p. 58-63.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. “Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2006.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2011.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária de Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa nº 25. Aprova definições, especificações e as garantias dos fertilizantes orgânicos, simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2009.

BUENO, J. R. P. **Qualidade do solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto para o cultivo do milho**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agronômico - IAC, Campinas, 2010.

CARDOSO, M. A.; MOTA, P. D. M.; SILVA, L. C. da; MONTEIRO, S. C.; FERREIRA, J. F. C. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 03, n. 19, p. 149-161, 2015.

CARVALHO, L. C. do C. S.; LE, L. T.; SANTOS, F. S. dos. Lodo de esgoto e seu potencial uso agrícola: revisão bibliográfica. In: Seminário de políticas públicas e meio ambiente, 2016. **Anais do Seminário de políticas públicas e meio ambiente**, v. 1, 2016. ISSN: 2318-698.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Revista Engenharia Sanitária**, v.17, n.3, p. 325-332, 2012.

FREITAS, D. A. F. de. **Qualidade do solo em sistemas de manejo em Latossolo sob Cerrado**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras, 2010.

FREITAS, D. A. F. de; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 417-428, 2012.

FREITAS, R. X.; MELO, G. A. Avaliação do uso de biocomposto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas, 2010. **Revista Monografias Ambientais**, v. 12 n. 12, p. 2665 – 2673, 2013.

GARCIA, D. M.; ALENCAR, U. R. de; MOTA, B. G.; BORGES, I. R.; SOUZA, P. O. de. Determinação de características tecnológicas de farinhas produzidas a partir de resíduos de polpas de mamão, melão e goiaba e sua utilização na elaboração de biscoitos tipo *cookies*. **Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS**, v.4, n.1, p: 29-41, 2017.

GODECKE, M. V.; NAIME, R. H.; FIGUEIREDO, J. A. S. O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1700-1712, 2012.

GONÇALVES, L. F. da S. **Caracterização físico-química do biossólido como potencial energético**. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2016.

GRAAFF, M. S. de; TEMMINK, H.; ZEEMANAD, G.; BUISMAN, C. J. N. Anaerobic treatment of concentrated black water in a UASB reactor at a short HRT. **Water**, v.2, n.1, p. 101-119, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. **IBGE Estados – Lavoura permanente**. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 06 de junho de 2017.

LIMA, F. A. **Determinação de áreas potenciais à aplicação de lodo de esgoto como insumo agrícola utilizando geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2014.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, v.23, p.143-147, 2005.

MARTINS, B. H. da S.; MARTINEZ, D. G.; PUIG, P.; BANDAR, H. A.; SCHMITZ, W. C. Uso de biossólido na agricultura. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p. 64-72, 2015.

MARTINS, L. O. S.; SILVA, L. T.; CARNEIRO, R. A. F. Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de Usina de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município de Santo Antônio de Jesus – BA. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 2, n. 2, p. 142-166, 2017.

MATANGUE, M. T. A.; CAMPOS, C. M. M. Determination of kinetic parameters of an upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) treating swine wastewater. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n. 6, p.1204-1210, 2011.

MIGLIOLI, M. G.; LEITE, J. F. de S.; GOULART, J. A. G.; SILVA, J. D. da. Alternativas para o reúso e a disposição final do lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto em Blumenau, SC. In: Simpósio Internacional de

Qualidade Ambiental, 2016. **Anais do Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, v. 10, 2016.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU JÚNIOR, C. H. Decomposição de lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto em Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p. 1796-1805, 2015.

NOZAKI, M. de H.; DONADEL, F.; SCHNEIDER, C. F.; DETONI, A. M. Controle alternativo de *Colletotrichum gloeosporioides* em frutos de goiabeira com óleos essenciais. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, supl. 1, p. S53-S57, 2013.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574p.

OLMI, V. R.; PIRES, A. M. B.; RAMOS, A. de L. S.; KAMEYAMA, O.; MANCILHA, I. M. de; PASSOS, F. J. V. Avaliação do comportamento de um substrato sintético e de um efluente de suinocultura no tratamento anaeróbio de reatores UASB. **Revista Ceres**, v. 53, n. 307, p. 418-424, 2006.

PECHE, P. M. Produção de mudas de goiabeira em sistema hidropônico e convencional. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Lavras, MG, 2012.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F. de; PICKLER, A. de C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEN, C. da C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, p. 89-188, 2010.

PERES, L. J. S.; HUSSAR, G. J.; BELI, E. Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 020-036, 2010.

PRADO, A. K.; CUNHA, M. E. T. Efeito da Aplicação de Lodo de Esgoto e Curtume nas Características Físico-Químicas do Solo e na Absorção de Nitrogênio por Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 10, n. 1, p. 37-41, 2011.

QUERINO, L. A.; PEREIRA, J. P. G. Geração de resíduos sólidos: a percepção da população de São Sebastião de Lagoa de Roça, Paraíba. **Revista Monografias Ambientais**, v. 15, n.1, p.404-415, 2016.

RIGO, M. M.; RAMOS, R. R.; CERQUEIRA, A. A.; SOUZA, P. S. A.; MARQUES, M. R. C. Destinação e reúso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014.

RODRIGUES, L. S.; SILVA, I. J. da; ZOCCATO, M. C. de O.; PAPA, D. N.; SPERLING, M. V.; OLIVEIRA, P. R. de. Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.94–100, 2010.

ROSA, A. P.; LOBATO, L. C. da S.; BORGES, J. M.; MELO, G. C. B. de; CHERNICHARO, C. A. de L. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB. **Revista Engenharia Sanitária**, v. 21, p. 315-328, 2016.

SAMPAIO, A. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, n. 193, p. 16-27, 2013.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, J. C. A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; CARVALHO, N. C. de; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 1637-1645, 2012.

SANTOS, P. R. dos; PREISOGKE, S. da C.; VIANA, A. P.; CAVALCANTE, N. R.; SOUSA, C. M. B. de; AMARAL JÚNIOR, A. T. Associations between vegetative and production traits in guava tree full-sib progenies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.5, p.303-310, 2017.

SILVA, A. F.; SILVA, M. C. B. C. da. Agricultura no nordeste semiárido e os resíduos orgânicos aproveitáveis. **Revista Equador**, v. 5, n. 2, p. 102-119, 2016.

SILVA, E. M. da S.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. de P.; PINHEIRO, F. W. A.; ANDRADE, B. A. de. Efeito da adubação nitrogenada na formação de mudas de goiabeira irrigadas com águas salinizadas. **Revista Verde**, v.10, n. 4, p.42-48, 2015.

SOARES, B. S.; LIMA, E. M.; MAIA, M. R.; SILVEIRA, G. S. P. Práticas de manejo e conservação do solo da cultura cafeeira na bacia hidrográfica do Riacho Água Fria, Barra do Choça – Bahia. **REGNE**, v. 2, especial, p. 191-200, 2016.

USMAN, K.; KHAN, S.; GHUKAM, S.; KHAN, M. U.; KHAN, M. A.; KHALIL, S. K. Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications. **American Journal of Plant Sciences**, v.3, p. 1708-1721, 2012.

VISCHI FILHO, O. J.; CORSATO, L. G.; QUIESSI, J. A.; KANNO, O. Y.; PENTEADO, R. B.; ARABORI, R. M.; BELORTE, L. C. C.; LIMA, M. E. de. Diagnóstico e reabilitação agroambiental de trecho de bacia hidrográfica por sensoriamento remoto e turbidez da água. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1099-1109, 2016.

Von SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3 ed. v.1. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

4. ARTIGO 1: Potencial do reúso agrícola de biossólido

Potential of agricultural reuse of biosolids

RESUMO: O reúso agrícola do biossólido como adubo orgânico promove economia na aquisição de fertilizantes por possuir nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal e ser um condicionador do solo. Para que esse reaproveitamento seja viável o resíduo deve receber tratamentos obedecendo regulamentação vigente em cada país. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do biossólido proveniente de reator anaeróbio de fluxo ascendente para reúso na agricultura, comparando os resultados encontrados com os requisitos de qualidade estabelecidos por normas brasileiras. O biossólido utilizado foi proveniente da estação de tratamento de esgoto da Companhia Pernambucana de Saneamento, em Petrolina – PE, Brasil. Amostras foram coletadas do pátio de secagem após processamento, e submetidas a análises físicas, químicas e microbiológicas. O biossólido atende às exigências da Resolução número 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente para aplicação como composto orgânico destinado à agricultura. O biossólido não atende aos limites de tolerância apenas para os elementos zinco, ferro e manganês estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25 de 2009 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Tendo em vista o teor de matéria orgânica e a composição química do biossólido, este pode ser utilizado para fins de condicionamento físico e fertilização do solo/substrato.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilizante orgânico. Estação de tratamento de esgoto. Lodo de esgoto. Reúso. Resíduo urbano.

ABSTRACT: The agricultural reuse of biosolids as organic fertilizer promotes savings in the acquisition of fertilizers because it has nutrients essential to plant development and is a soil conditioner. For this reuse to be viable, the regulations in force in each country must be obeyed. In this context, the objective of the study was to evaluate the potential of biosolids from an anaerobic reactor with an upward flow for reuse in agriculture, comparing the results found with the quality requirements established by Brazilian standards. The biosolid used came from the sewage treatment plant of Companhia Pernambucana de Saneamento, in Petrolina - PE. Samples were collected from the drying yard after processing and submitted to physical, chemical and microbiological analysis. The biosolid meets the requirements of Resolution number 375/2006 of the National Environmental Council for application as an organic compound intended for agriculture. The biosolid does not meet the tolerance limits only for the zinc, iron and manganese elements established by Normative Instruction No. 25 of 2009 of the Ministry of Agriculture, Livestock, and Supply. Considering the organic matter content and the chemical composition of the biosolid, it can be used for physical conditioning and fertilization of the soil/substrate.

KEYWORDS: Organic fertilizer. Sewage treatment station. Sewage sludge. Reuse. Urban waste.

4.1 INTRODUÇÃO

O lodo gerado pelos tratamentos biológicos do esgoto doméstico ou sanitário é um resíduo que pode provocar problemas ambientais e financeiros para as estações de tratamento, em função de sua quantidade e do custo operacional para seu processamento e disposição final, representando cerca de 60% das despesas financeiras (Godoy, 2013; Pereira; Garcia, 2017). Assim, seu reaproveitamento deve ser considerado como opção de destino final, seja para recuperação de áreas degradadas, reúso industrial ou reaproveitamento como resíduo orgânico para a agricultura e, não apenas para incineração ou disposição em aterro sanitário (Rigo et al., 2014) gerando assim receitas.

Para fins de uso agrícola como fonte de adubação orgânica o lodo deve ser submetido a tratamento para aquisição de características adequadas e, a partir deste ponto, o subproduto passa a ser denominado de biossólido (Rigo et al., 2014). Assim, torna-se indispensável a qualificação desse resíduo antes da sua disposição ou reúso (Soares et al., 2017) com a realização de tratamentos para estabilização através de processos de digestão aeróbia e anaeróbia, compostagem, estabilização química e térmica, condicionamento e higienização enquadrando-o segundo a regulamentação vigente em cada país (Andreoli et al., 2014; Usman et al., 2012).

No Brasil, a Resolução nº 375 de 20 de agosto de 2006, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) normatiza a aplicação agrícola do biossólido, limitando os teores de substâncias inorgânicas e de agentes patogênicos permitidos neste material residual. Essa norma também proíbe seu uso em culturas inundadas, raízes, pastagem, tubérculos, olerícolas e em qualquer cultura que tenha contato da parte comestível com o solo. Enquanto que a Instrução Normativa 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece os níveis de tolerância para uso como fertilizantes orgânicos destinados à agricultura. Tais medidas buscam a garantia da qualidade dos corpos hídricos, do solo e a segurança alimentar (Brasil, 2006; Brasil, 2009).

Assim, dentre seus reúsos, o aproveitamento como fertilizante agrícola mostra-se como um recurso para a agricultura sustentável, por possuir elevada carga orgânica e nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal (fósforo, nitrogênio, enxofre, magnésio e cálcio), possibilitando a ciclagem de nutrientes ao ser aplicado

ao solo, e o condicionamento físico do solo, melhorando a retenção de água, a aeração, a infiltração e a agregação das partículas (Afáz et al., 2017).

Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do biossólido proveniente de reator anaeróbico de fluxo ascendente para reúso na agricultura, após estabilização e higienização com cal, comparando os resultados encontrados com os requisitos de qualidade estabelecidos por normas brasileiras.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O biossólido utilizado no ensaio foi proveniente do descarte do lodo de reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) da estação de tratamento de esgoto (ETE Centro) da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), em Petrolina – PE, tratando esgotos sanitários. As amostras foram coletadas do pátio de secagem, após o lodo passar a ser desidratado em decanter centrífugo, higienização com cal virgem e exposição ao sol para secagem por 90 dias.

Considerando que o material amostrado encontrava-se disposto em pilhas, a coleta das amostras seguiu o Método do Quarteamento (ABNT, 2004) e a recomendação da Resolução CONAMA 375/2006 para composição final da amostra. Assim, dividiu-se a pilha em quatro partes iguais, nas quais coletou-se 15 subamostras com quantidades similares do material, homogeneizando-as para formar uma única amostra; sendo então acondicionadas em recipientes esterilizados e encaminhadas ao laboratório para caracterização física, química e microbiológica.

Seguindo metodologias propostas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012) e métodos da United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2004), foram determinadas, em triplicata: umidade a 65° C; sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (SV) e sólidos totais fixos (SF) pelo método gravimétrico, com posterior determinação de relação SV/ST; carbono orgânico total, matéria orgânica e nitrogênio total utilizando-se o analisador elementar TruSpec CNH LECO®; nitrogênio amoniacal e nitrato pelo método volumétrico, fósforo total pelo método colorimétrico; potássio e sódio por fotometria de chama; cálcio e magnésio por titulação; ovos de helmintos pelo método de FAUST e coliformes termotolerantes pelos tubos múltiplos.

Também foram analisados os teores totais de substância contaminantes como níquel, chumbo, cromo, cobre, ferro, manganês e zinco pelo método de

espectrometria de absorção atômica com atomização por chama de ar-acetileno no comprimento de onda específica para cada elemento químico analisado, no aparelho da marca Perkin Elmer, modelo Analyst 100; alumínio por titulometria e enxofre pelo método simplificado de cloreto de bário, segundo USEPA (2004).

Os resultados obtidos da caracterização do biossólido foram comparados aos parâmetros determinados pela Resolução número 375/2006 do CONAMA e com a Instrução Normativa SARC nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para verificação do atendimento aos critérios para reúso agrícola.

Ainda, foi calculado o nitrogênio disponível para aplicação superficial e subsuperficial, ou seja, aplicar o biossólido como adubação de cobertura ou incorporado no solo; conforme Equações 1 e 2, respectivamente, propostas pela Resolução número 375/2006 do CONAMA, considerando a fração de mineralização igual a 20%, uma vez que o biossólido proveio de digestão anaeróbia.

$$N_{\text{disp}} = \left(\frac{FM}{100}\right) \times (N_{Kj} - N_{NH_3}) + 0,5 \times (N_{NH_3}) + (N_{NO_3} + N_{NO_2}) \quad \text{Eq. (1)}$$

em que:

FM = fração de mineralização do nitrogênio (%);

N_{Kj} = nitrogênio de Kjeldahl (mg kg^{-1});

N_{NH_3} = nitrogênio amoniacal (mg kg^{-1});

$N_{NO_3} + N_{NO_2}$ = nitrato e nitrito (mg kg^{-1}).

$$N_{\text{disp}} = \left(\frac{FM}{100}\right) \times (N_{Kj} - N_{NH_3}) + (N_{NO_3} + N_{NO_2}) \quad \text{Eq. (2)}$$

4.3 RESULTADOS

O teor de carbono orgânico (CO) encontrado para o biossólido foi de 20,2 % ($202,0 \text{ g kg}^{-1}$) e o teor de matéria orgânica (MO) foi de 34,8% ($348,25 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 1).

Tabela 1. Carbono orgânico, matéria orgânica e teores de macronutrientes encontrados no biossólido da ETE Centro da COMPESA e limites permitidos pelas normas brasileiras¹.

Elementos químicos	Teor	Limite estabelecido pelo MAPA
Carbono orgânico (%)	20,2	> 15
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	348,25	Não há limite
Nitrogênio total (%)	17,84	> 0,50
C/N	1,13	< 20
Nitrogênio amoniacal (mg kg ⁻¹)	260,40	Não há limite
Nitrogênio orgânico (mg kg ⁻¹)	178139,60	Não há limite
Nitrato (mg kg ⁻¹)	987,87	Não há limite
Nitrito (mg kg ⁻¹)	0,00	Não há limite
Fósforo total (g kg ⁻¹)	0,02	Não há limite
Potássio total (g kg ⁻¹)	0,15	Não há limite
Cálcio total (g kg ⁻¹)	0,74	Não há limite
Magnésio total (g kg ⁻¹)	1,09	Não há limite
Enxofre total (%)	0,054	Não há limite

¹ Resolução CONAMA 375/2006 e IN nº 25 do MAPA. A Resolução CONAMA 375/2006 não limita os valores desses elementos químicos.

O teor de N foi de 17,84% e, em função dos teores de C e de N, a relação C/N encontrada para o biossólido foi de 1,13 (Tabela 1).

Também, foram analisados os teores de nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrogênio orgânico e nitrito (Tabela 1), que não possuem limites definidos pelas resoluções.

O elemento K foi encontrado na quantidade de 0,15 g kg⁻¹ e, não é limitado pelos órgãos responsáveis pela regulação do reúso agrícola do biossólido.

Os teores de Ca, Mg e S encontrados no biossólido foram de 0,74 g kg⁻¹, 1,09 g kg⁻¹ e 0,054%, respectivamente.

A Tabela 2 apresenta os resultados de pH, umidade e relação SV/ST, parâmetros com padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 375/2006 e IN nº 25 do MAPA.

Tabela 2. Características físicas e químicas encontradas no biossólido da ETE Centro da COMPESA e limites permitidos pelas normas brasileiras*.

Parâmetros do biossólido	Teor	Limite permitido pelo CONAMA	Limite permitido pelo MAPA
pH	8,14	Não há limite	> 6,0
Umidade (m ³ m ⁻³ ou %)	10,99	Não há limite	< 70
Relação SV/ST	0,21	< 0,70	Não há limite

*Resolução CONAMA 375/2006 e IN nº 25 do MAPA.

Na Tabela 3 estão descritos os teores de metais pesados e os limites estabelecidos pelo CONAMA e pelo MAPA.

Tabela 3. Teores de substâncias inorgânicas encontradas no biossólido da ETE Centro da COMPESA e limites permitidos pelas normas brasileiras¹.

Elementos químicos	Teor	Limite máximo estabelecido pelo CONAMA	Limite mínimo estabelecido pelo MAPA
Níquel (mg kg ⁻¹)	25,20	420	Não há limite
Chumbo (mg kg ⁻¹)	< LD	300	Não há limite
Cromo (mg kg ⁻¹)	8,70	1000	Não há limite
Cobre (mg kg ⁻¹)	44,20	1500	Não há limite
Zinco (%)	0,01	0,28	0,10
Ferro (%)	0,11	Não há limite	0,20
Manganês (%)	0,04	Não há limite	0,05
Sódio (mg kg ⁻¹)	334,00	Não há limite	Não há limite
Alumínio (mg kg ⁻¹)	0,00	Não há limite	Não há limite

¹ Resolução CONAMA 375/2006 e IN nº 25 do MAPA. * LD = limite de detecção.

Outros parâmetros que devem ser avaliados antes de destinar o biossólido para fins agrícolas são os microbiológicos, a exemplo dos coliformes termotolerantes e os ovos de helmintos, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros microbiológicos encontradas no biossólido da ETE Centro da COMPESA e limites permitidos pelas normas brasileiras¹.

Parâmetros microbiológicos	Quantidade	Limites permitidos para lodo classe A	Limites permitidos para lodo classe B
Coliformes	153,06	1000	1000000
Ovos viáveis de helmintos	0,00	0,25	10

¹ Resolução CONAMA 375/2006 e IN nº 25 do MAPA.

4.4 DISCUSSÃO

Em função do teor de CO, segundo a IN nº 25 do MAPA o biossólido pode ser classificado como fertilizante orgânico, uma vez que, para tal, deve ter no mínimo 15% desse componente e, o biossólido apresenta 20,2% (Tabela 1). O teor de MO encontrado foi de 348,25 g kg⁻¹ e, como a Resolução CONAMA 375/2006 e a Instrução Normativa nº 25 do MAPA não estabelecem limites para os teores dessa componente, o biossólido pode ser reutilizado para fins agrícolas, tendo em vista que, segundo Abreu et al. (2017), a MO melhora propriedades do solo como a retenção de água, a estabilidade de agregados e a fertilidade.

Segundo a Instrução Normativa nº 25, a relação carbono/nitrogênio (C/N) deve ser inferior a 20 para que um resíduo seja utilizado na agricultura. Essa relação diz respeito a eficiência no fornecimento de matéria orgânica ao solo. Para Almeida et al. (2016), quando a razão C/N é maior que o limite estabelecido, há reduzida quantidade de matéria orgânica ativa do solo, diminuindo os processos de mineralização e acentuando a imobilização, minimizando a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Assim, os dados confirmam que o biossólido é fonte adequada de MO em função da relação C/N ser de 1,13 (Tabela 1).

Para uso do biossólido como fertilizante agrícola, a IN nº 25 do MAPA, determina que o teor mínimo de N no resíduo deve ser de 0,5 %. Desta forma, como o resíduo avaliado apresenta valor superior ao mínimo estabelecido, pode ser destinado para fins agrícolas, com 17,87% de N em sua composição (Tabela 1). Este resultado corrobora com o encontrado por Corrêa e Silva (2016) que, ao analisarem biossólido originado de esgoto doméstico tratado com cal, detectaram 4% de nitrogênio. Sendo assim, esse resíduo pode ser destinado ao uso agrícola, com a

ressalva de que o excesso desse nutriente pode desequilibrar as relações N/K, N/P, por favorecer o desenvolvimento da parte aérea em detrimento ao sistema radicular, limitando a absorção desses elementos pelas raízes reservas; prolongando o ciclo de cultivo e reduzindo o índice de colheita (Corrêa et al., 2016; Nunes et al., 2016; Pérez et al., 2017).

Avaliando a disponibilidade de N, observou-se que o biossólido apresentava valores de nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrogênio orgânico e nitrito (Tabela 1), que possibilitaram concluir que para aplicação superficial o material residual analisado possuía $36,746 \text{ g kg}^{-1}$ de nitrogênio disponível e para incorporação subsuperficial $36,616 \text{ g kg}^{-1}$.

Os resultados obtidos foram superiores aos encontrados em estudo realizado por Moretti et al. (2015) e, Corrêa e Silva (2016) que encontraram valores de 35 g kg^{-1} e 1 g kg^{-1} de nitrogênio no biossólido, respectivamente, evidenciando o potencial do resíduo como fonte de adubação nitrogenada.

Quanto ao elemento P, as normas vigentes não estabelecem limites para a quantidade do macronutriente. O biossólido analisado possui $0,02 \text{ g kg}^{-1}$ de P (Tabela 1) e, pode ser utilizado como fonte complementar de adubação fosfatada, tendo em vista este ser um elemento exigido em altas quantidades pela maioria das plantas cultiváveis. Além disso, um possível excesso dificilmente se caracteriza em toxidez.

Segundo Vilar et al. (2010), o P pode ser adsorvido ao solo, formando complexos de superfície de esfera interna com os minerais de argila, ficando indisponível para as plantas. E para Corrêa et al. (2016) e Klein e Agne (2012) a adição desse elemento ao solo deve ser controlada, pois o excesso do mesmo pode se tornar tóxico e desestabilizar a relação P:Zn, reduzindo a absorção do zinco, por inibição competitiva ao se ligar com o cátion acompanhante do fosfato ou com o dihidrogenofosfato (H_2PO_4).

Para o elemento K, que não é limitado pelos órgãos responsáveis pela regulação do reúso agrícola do biossólido, a quantidade encontrada neste estudo ($0,15 \text{ g kg}^{-1}$, Tabela 1) foi inferior à detectada (17 g kg^{-1}) por Maia et al. (2018), além de ter sido menor que o teor de outros resíduos orgânicos, a exemplo do valor presente no esterco bovino ($0,351 \text{ g kg}^{-1}$) em estudo realizado por Silva et al. (2014).

Segundo Cabreira et al. (2017) a quantidade reduzida de K no biossólido ocorre devido à alta solubilidade do nutriente, que não se precipita no lodo, permanecendo

dissolvido na água do processo de tratamento e sendo perdido quando a água do biossólido é drenada pela centrífuga decanter.

Por não haver padrão definido para os teores de Ca, Mg e S e, sendo estes nutrientes indispensáveis ao desenvolvimento vegetal (Schmitt et al., 2018), por ser responsável pela rigidez da parede celular, por ser o centro da molécula de clorofila e por participar da síntese proteica, respectivamente; torna-se promissora a utilização do biossólido como fonte de adubação complementar desses nutrientes (Fiorini et al., 2017; Luengo et al., 2018).

Os teores de Ca ($0,74 \text{ g kg}^{-1}$), Mg ($1,09 \text{ g kg}^{-1}$) e S ($0,054 \text{ g kg}^{-1}$) encontrados (Tabela 1) são inferiores aos encontrados por Abreu et al. (2017) ao avaliar biossólido proveniente de esgoto sanitário tratado por processo anaeróbio na ETE Alegria (RJ).

De acordo com a Tabela 2, o valor de pH (8,14) e de umidade 10,99 ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela IN nº 25 do MAPA (mínimo de 6,0 e máximo de 70%, respectivamente). O pH encontrado (8,14) difere do pH ácido (4,2) detectado por Abreu et al. (2017). Essa diferença pode ser explicada pelo tratamento com cal realizado no processo de higienização do biossólido da COMPESA (Petrolina-PE), o que não ocorreu com o lodo analisado por Abreu et al. (2017) e por Alonso et al. (2018). Entretanto, atenção deve ser dispensada a essa característica, no sentido de que não haja elevação do pH do resíduo, acima do valor considerado ideal para uso agrícola (5,5-6,5), implicando em alteração na disponibilidade de nutrientes, ao ser adicionado ao solo.

Para a umidade do biossólido deve-se considerar que o valor limitante de água presente neste resíduo é estabelecido visando facilitar o manuseio, o transporte, reduzir a produção de chorume, odores, atividade microbiana e presença de vetores (Lu et al., 2012). O resultado encontrado (10,99%) não corrobora com estudo realizado por Ferraz e Poggiani (2014), que detectaram umidade de 81,59% em biossólido proveniente da estação de tratamento de esgoto de Barueri (SP). Entretanto essa diferença se explica pela desidratação em decanter centrífugo, seguida de disposição do biossólido da COMPESA em pátio de secagem para redução do teor de água.

A Resolução 375/2006 do CONAMA limita a relação SV/ST do resíduo, a qual deve ser inferior a 0,7 para ser considerado estável para reúso agrícola; ou seja, o resíduo possui reduzida quantidade de agentes patogênicos, que está relacionada a um baixo potencial de produção de odores e chorume (Silva; Miki, 2017). Desta forma,

o biossólido estudado é adequado, uma vez que essa relação foi de apenas 0,21 (Tabela 2); diferentemente de pesquisa realizada por Oliveira et al. (2014) que detectaram 0,79 como a menor relação SV/ST, impossibilitando a destinação desse resíduo para fins agrícolas.

Em relação a composição química do biossólido (Tabela 3), segundo Magela et al. (2012), esta pode limitar seu reuso na agricultura, devido à presença de quantidades inaceitáveis de metais pesados. Desse modo, torna-se indispensável a avaliação cuidadosa e continuada dos valores desses parâmetros. Milhome et al. (2018) destacam que o acúmulo desses também pode contaminar os ecossistemas ambientais ou ser absorvido via água pelas plantas causando injúrias e morte a depender dos níveis de tolerância de cada espécie, além da possibilidade de entrar na cadeia alimentar e contaminar os animais e o ser humano.

O teor de Ni ($25,2 \text{ mg kg}^{-1}$) está abaixo do valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 375/2006 (420 mg kg^{-1}) permitindo sua destinação ao uso agrícola. Quando em altas concentrações, este elemento pode inibir a absorção de ferro, cobre, manganês e zinco, pois sua assimilação pelas plantas ocorre pelos mesmos sítios de absorção (Costa et al., 2015).

As quantidades de Pb, Cr e Cu também são estabelecidas por essa Resolução e, os valores encontrados no biossólido (Tabela 3) são muito inferiores aos valores permitidos, evidenciando o reduzido potencial de contaminação de solo ou substrato por tais elementos. Considerando que as características do lodo estão diretamente associadas ao tipo de efluente tratado que o originou (o esgoto doméstico), o qual não se origina de águas que contenham elevadas concentrações desses constituintes inorgânicos, é esperado que no lodo gerado na ETE COMPESA esses teores sejam baixos.

Resultados obtidos por Ferraz e Poggiani (2014), ao avaliarem biossólido da estação de tratamento de esgotos domésticos de São Miguel (SP), corroboram com esse estudo ao verificarem quantidades inferiores desses metais, tendo como base a Resolução CONAMA 375/2006.

As quantidades encontradas para Zn (0,01 %), Fe (0,11 %) e Mn (0,04 %) estão abaixo dos valores mínimos estabelecidos pela IN nº 25 do MAPA, que são de 0,1; 0,2 e 0,05%, respectivamente, tornando-o inadequado para uso como fertilizante orgânico quando analisado segundo tais parâmetros. Entretanto, o suprimento desses elementos químicos pode ser realizado com a adição de outros fertilizantes.

O Na e o Al presentes no biossólido, em contrapartida às demais substâncias inorgânicas, não estão limitados pelas resoluções. No entanto, deve-se atentar para as características do solo ou substrato em que poderia ser aplicado, devido ao potencial do Na em promover a salinização e, do Al em promover a acidificação com possível redução de disponibilidade de macronutrientes, especialmente P (Bittencourt et al., 2012).

Com relação aos parâmetros microbiológicos, no resíduo avaliado foram encontrados coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos em quantidades reduzidas, o que torna possível o uso deste biossólido na agricultura (Tabela 4). Pode-se ainda classificá-lo como biossólido classe B, com possível enquadramento na classe A, a depender dos valores de *Salmonella spp.* e vírus. Esses resultados corroboram com estudo realizado por Abreu et al. (2017), que obtiveram valores de 0,04 coliformes por g⁻¹ de ST e 0,01 ovos viáveis de helmintos por g⁻¹ de ST ao avaliar biossólido proveniente de áreas domiciliares e comerciais.

4.5 CONCLUSÕES

As características físicas, químicas e microbiológicas do biossólido analisado o enquadram no padrão estabelecido pela Resolução nº 375 do CONAMA para reúso agrícola.

O biossólido atende aos limites de tolerância para todas as variáveis estabelecidas pela Instrução Normativa nº 25 de 2009 do MAPA para sua aplicação como composto orgânico destinado à agricultura, exceto pelos baixos teores de zinco, ferro e manganês.

Tendo em vista as características físicas, químicas e microbiológicas do biossólido, este resíduo pode ser reutilizado para fins de condicionamento físico e fornecimento de nutrientes para o solo.

4.6 REFERÊNCIAS

ABREU, A. H. M. de; LELES, P. S. dos S.; MELO, L. A. de; OLIVEIRA, R. R. de; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius Raddi*. E *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017.

AFÁZ, D. C. de S.; BERTOLAZ, K. B.; VIANI, R. A. G., SOUZA, C. F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 1, 2017.

ALMEIDA, L. S. de; FERREIRA, V. A. S.; FERNANDES, L. A.; FRAZÃO, L. A.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n.9, p. 1539-1547, 2016.

ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M. de; MELO, L. A. de; LELES, P. S. dos S.; CABREIRA, G. V. Biosolids as substrate for the production of *Ceiba speciosa* seedlings. **CERNE**, v. 24, n. 4, p. 420-429, 2018.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

APHA. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**, 22 th edition. American Public Health Association, Washington, D.C. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, p. 25. 2004.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. de S.; SIMEÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 315-324, 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. “Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 29 de agosto, 2006.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária de Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa nº 25. Aprova definições, especificações e as garantias dos fertilizantes orgânicos, simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**. Brasília, 23 de julho, 2009.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. dos S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. de; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. dos. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017.

CORRÊA, R. S.; SILVA, D. J. da. Eficácia de cinco bio sólidos como fontes de nitrogênio para produzir colônias de azevém simples e cumulativo em dois solos australianos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p.1-14, 2016.

CORRÊA, C. V.; SILVERO, N. E. Q.; ANTUNES, W. L. P.; CIMÓ, L.; REDIGOLO, M. V.; CARDOSO, A. I. I. Acúmulo de nutrientes em abóbora em função do número de plantas e aplicação de nitrogênio em cobertura. **Revista Cultivando o Saber**, v. 9, n. 2, p. 180-191, 2016.

COSTA, D. F.; MACHADO, V. J.; SOARES, L. H.; FAGAN, E. B.; REIS, M. R. dos; CABRAL, E. M. A. Utilização níquel na cultura da soja. **Cerrado Agrociências**, n. 6, 31-44, 2015.

FERRAZ, A. de V.; POGGIANI, F. Biomassa, nutrientes e metais pesados em raízes de eucaliptos adubados com diferentes lodos de esgoto. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 311-320, 2014.

FIORINI, I. V. A.; PINHO, R. G. V.; PEREIRA, H. D.; PIRES, L. P. M.; FIORINI, F. V. A.; RESENDE, E. L. Acúmulo de matéria seca, clorofila e enxofre foliar em milho adubado com diferentes fontes de enxofre. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v.4, n.1, p.1-11, 2017.

GODOY, L. C. de. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica On-line**, v. 2, n. 1, p. 79-30, 2013.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.8, n. 8, p. 1713-1721, 2012.

LU, Q.; HE, Z. L.; STOFFELLA, P. J. Land application of biosolids in the USA: A review. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 12, 2012.

LUENGO, R. de F. A.; BUTRUILLE, N. M. dos S.; MELO, R. A. de C.; SILVA, J. da; MALDONADE, I. R.; COSTA JÚNIOR, A. D. Determinação de minerais no solo e análise de folhas de couve produzida em Brasília. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 1-9, 2018.

MAGELA, M. L. M; CAMARGO, R. de; SOUZA, M. F. de; ALVES FILHO, A.; PAULA, C. O. de. Bio sólido na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora* Hook). **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n. 14; p. 166-178, 2012.

MAIA, F. C.; LIMA, S. O.; BENÍCIO, L. P. F.; FREITAS, G. A. de; FURLNA, J. C. Qualidade física do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Nativa**, v. 6, n. 4, p. 345-351, 2018.

MILHOME, M. A. L.; HOLANDA, J. W. B.; de Araújo Neto, J. R.; Nascimento, R. F. do. Diagnóstico da contaminação do solo por metais tóxicos provenientes de resíduos sólidos urbanos e a influência da matéria orgânica. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n.1, p. 59-72, 2018.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU JÚNIOR, C. H. Decomposição de lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto em Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p. 1796-1805, 2015.

NUNES, A. R. A.; FERNANDES, A. M.; LEONEL, M.; GARCIA, E. L.; MAGOLBO, L. A.; CARMO, E. L. do. Nitrogênio no crescimento da planta e na qualidade de raízes da mandiocinha-salsa. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 242-247, 2016.

OLIVEIRA, R. A. de; DUDA, R. M.; FERNANDES, G. F. R. Reator anaeróbio compartimentado para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 323-391, 2014.

PEREIRA, A. C. A.; GARCIA, M. L. Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 531-538, 2017.

PÉREZ, C. D. P.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; FREITAS, A. S.; SILVA, M. G. da. Nitrogênio e potássio na intensidade da mancha aureolada do cafeeiro em solução nutritiva. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 60-68, 2017.

RIGO, M. M.; RAMOS, R. R.; CERQUEIRA, A. A.; SOUZA, P. S. A.; MARQUES, M. R. C. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014.

SCHMITT, D. E.; VENDRUSCULO, R. B.; GATIBONI, L. C.; SANTIN, D.; WENDLING, I.; DALL'ORSOLETTA, D. J.; COLDEBELLA, F. D. Teor crítico de enxofre no solo para o estabelecimento de clones de erva-mate no Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 1, p. 70-76, 2018.

SILVA, B. S. da; MIKI, M. K. Práticas operacionais e de empreendimentos – Análise crítica dos instrumentos legais do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA) para uso agrícola do lodo de esgoto. **Revista DAE**, v. 25, p- 54-70, 2017.

SILVA, J. J. M.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, J. A. M.; DINIZ, B. L. M. T.; SOUTO, A. G. L. Esterco bovino e potássio na composição mineral de plantas de noni. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 1021-1030, 2014.

SOARES, M. M.; BARDIVIESSO, D. M.; BARBOSA, W. F. S.; BARCELOS, M. N. Adubação de cobertura com enxofre na cultura da rúcula. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, p. 49-52, 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **A guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule**. Washington: Office of Wastewater Management, EPA/832-B-93-005, 1995. 195p. 2004.

USMAN, K.; KHAN, S.; GHUKAM, S.; KHAN, M. U.; KHAN, M. A.; KHALIL, S. K. Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications. **American Journal of Plant Sciences**, v.3, p. 1708-1721, 2012.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S. da; HOEPERS, A.; SOUZA JÚNIOR, I. G. de. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1059-1068, 2010.

5. ARTIGO 2: Biossólido no condicionamento físico do solo e na condução de mudas de goiabeira

Biosolids in the soil physical conditioning and the production of guava seedlings

RESUMO: A produção de mudas de goiabeira no Vale do Submédio São Francisco é realizada com o uso de substratos compostos por esterco de bode e maravalha ou esterco e vermiculita. Com a finalidade de ampliar as opções, devem ser consideradas outras alternativas, a exemplo do biossólido proveniente das estações de tratamento de esgoto. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência do biossólido em características morfológicas de mudas de goiabeira e em características físicas do substrato de condução das mudas. Foi montado experimento constituído por cinco tratamentos com uma testemunha e quatro proporções de biossólido com maravalha ou com solo. Foram avaliadas características morfológicas das plantas e físicas dos substratos, além de ser realizada análise de agrupamento dos dados a fim de detectar similaridade entre os tratamentos. Os resultados indicaram que as características físicas do substrato como a densidade do solo e de partículas foram significativamente reduzidas ao se adicionar biossólido ao solo, enquanto que a porosidade total foi incrementada e a microporosidade apresentou valores dentro da faixa considerada ideal e, que o tratamento composto por biossólido e solo na proporção 2:1 foi o que mais favoreceu o desenvolvimento vegetativo das mudas de goiabeira.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto. *Psidium guajava* L. Agrupamento. Resíduos urbanos. Resíduos rurais.

ABSTRACT: The production of guava seedlings in Valley of the San Francisco Submedia is carried out using substrates composed of goat dung and wood sawdust or dung and vermiculite. To expand the options, other alternatives should be considered, such as biosolids from sewage treatment plants. Thus, the objective of this study was to evaluate the influence of biosolids on the morphological characteristics of guava seedlings and the physical characteristics of the seedling conduction substrate. An experiment consisting of five treatments with one control and four proportions of biosolids with wood sawdust or soil was mounted. The morphological characteristics of the plants and the physical characteristics of the substrates were evaluated, as well as the clustering analysis of the data to detect similarities between the treatments. The results indicated that the physical characteristics of the substrate such as soil density and particles were significantly reduced by adding biosolids to the soil, while the total porosity was increased and the microporosity presented values within the range considered ideal, and that the treatment composed of biosolids and soil in the 2:1 ratio was the one that most favored the vegetative development of guava seedlings.

KEYWORDS: Sewage sludge. *Psidium guajava* L. Grouping. Urban waste.

5.1 INTRODUÇÃO

A goiabeira (*Psidium guajava* L.), espécie frutífera originária da região tropical americana e cultivada em mais de 50 nações, tem grande importância econômica para países como o Brasil, sendo o maior produtor mundial de goiaba vermelha, com o nordeste representando cerca de 46,6% da produção nacional (BOTI et al., 2016; FARIAS et al., 2017; IBGE, 2017; PALHARINI et al., 2016; SILVA et al., 2015; UESU et al., 2018).

Para que o país se destacasse no cenário mundial, a implantação de pomares com mudas sadias, vigorosas, com qualidade nutricional e genética foi fator determinante, uma vez que essas características potencializam a sobrevivência, desenvolvimento e produtividade da espécie (NÓBREGA et al., 2017).

Dentre as variedades de goiabeira, a mais cultivada no Brasil é a 'Paluma', por apresentar boa capacidade de enraizamento de estacas, dupla aptidão (industrialização e consumo *in natura*) e elevada capacidade produtiva (ALTOÉ et al., 2011; FARIAS et al., 2017). Entretanto, para que a muda se desenvolva adequadamente é imprescindível o uso de substratos com boa qualidade química, física e microbiológica, sendo que estes variam em sua composição entre as diversas regiões do País.

Na região do Vale do Submédio São Francisco os produtores de mudas de goiabeira afirmam que os principais substratos utilizados são compostos por esterco de bode e maravalha (2:1) ou esterco e vermiculita (2:1). Porém, a aquisição desses componentes pelos produtores de mudas, principalmente na produção em larga escala para atendimento aos agricultores da região, pode tornar a atividade onerosa, devendo então ser considerada a avaliação de alternativas de substratos. Dentre estas, está o reúso agrícola do biossólido como composto orgânico que, embora se constitua num dos grandes problemas das estações de tratamento de esgoto, por seu processamento e destinação representarem 60% do custo operacional, para os produtores de mudas pode ser uma solução para minimizar as despesas com a compra de substratos e fertilizantes químicos (PEDROZA et al., 2010).

Sampaio et al. (2012) e Souza et al. (2012) afirmaram que o biossólido atua como o condicionador de solo e sua aplicação promove melhorias em propriedades físicas do solo, reduzindo a densidade, incrementando a macroporosidade e a porosidade total e, Maio et al. (2011) acrescentam a essas modificações, a melhoria

na retenção de água no solo. Ainda, Martins et al. (2015) destacam que esse material residual eleva o teor de matéria orgânica, o pH, a capacidade de troca de cátions e a fertilidade e, reduz o conteúdo de alumínio trocável; favorecendo o desenvolvimento vegetal e a ciclagem de nutrientes.

O biossólido, ainda que proporcione todos esses benefícios, é constante preocupação como fonte de contaminação do meio ambiente por apresentar substâncias inorgânicas, orgânicas e agentes patogênicos com potencial poluidor de corpos hídricos, plantas e solo, exigindo-se assim, a adoção de medidas que possibilitem sua reutilização ambientalmente correta (BITTENCOURT et al., 2017; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2015). Dentre as medidas, propostas por Brasil (2006), para redução da quantidade de patógenos e aumento do pH está o processo de estabilização com cal e a secagem em leito de areia ou pátio pavimentados ou não por um período mínimo de 90 dias.

Nesta perspectiva seu reuso se amplia para o contexto ambiental, na medida em que se enquadra nos moldes que tem sido proposto pelo modelo econômico denominado Economia Circular. Segundo CNI (2018) e May et al. (2010) a economia circular favorece o desenvolvimento sustentável, por considerar os fluxos de materiais, nos sistemas produtivos, como ciclos biológicos capazes de formar um metabolismo cíclico ao reutilizar componentes residuais, visando recuperar e agregar valor aos serviços e produtos. Essa nova economia pode ser aplicada às estações de tratamento de esgoto, incentivando a utilização dos resíduos produzidos, a exemplo do biossólido.

Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência do biossólido em características morfológicas de mudas de goiabeira e em características físicas do substrato de condução das mudas.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de campo foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Vale do São Francisco, localizada nas coordenadas geográficas: latitude 09° 24' S, longitude 40° 31' W e altitude de 371 m.

O delineamento experimental foi constituído por cinco tratamentos em blocos inteiramente casualizados, com cinco repetições. Cada repetição foi composta por quatro mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) 'Paluma'. Os tratamentos foram

compostos de uma testemunha, segundo metodologia adotada pelos produtores de muda de goiabeira do Vale do Submédio Francisco (BARBOSA; LIMA, 2010), e de quatro proporções (v:v) de bio-sólido com maravalha ou com solo: testemunha - esterco de bode e maravalha de pinus na proporção 2:1 (EM), respectivamente; BM - bio-sólido e maravalha de pinus na proporção 2:1; BS1 - bio-sólido e solo na proporção 1:1; BS2 - bio-sólido e solo na proporção 2:1 e, BS3 - bio-sólido e solo na proporção 3:1.

Cada parcela foi composta por um saco de polietileno de 0,18 m x 0,21 m, perfurado na base e na lateral para possibilitar a drenagem de possível excesso de água.

Para fins de caracterização foram realizadas análises físicas e químicas do solo utilizado, conforme Teixeira et al. (2017) (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Caracterização física do solo.

Areia (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Ds (Mg m ⁻³)	Dp (Mg m ⁻³)	Pt (m ⁻³ m ⁻³)	Ma (m ⁻³ m ⁻³)	Mi (m ⁻³ m ⁻³)
698,80	257,30	44,00	1,46	2,63	0,45	0,16	0,31

*Ds – densidade do solo; Dp- densidade de partículas; Pt – Porosidade total; Ma – macroporosidade; Mi – microporosidade.

Tabela 2. Caracterização química do solo.

CE dSm ⁻¹	pH	MO gkg ⁻¹	P mg dm ⁻³	C gkg ⁻¹	Kcmol _c dm ⁻³	Ca	Mg	Na	S	CTC	V
											%
0,3	6,4	6,9	33,0	4,0	0,47	3,5	1,4	0,06	5,4	7,35	74,0

*CE – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; P – fósforo; C – carbono; K – potássio; Mg – magnésio; Na – sódio; S – enxofre; CTC – capacidade de troca de cátions; V – saturação por bases.

O bio-sólido foi proveniente da descarga regular de reatores UASB da estação de tratamento de esgoto (ETE Centro) da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) em Petrolina, após desidratação em decanter centrífugo, higienização com cal virgem e exposição ao sol para secagem.

As mudas de goiaba foram adquiridas em viveiro de produtor de mudas, localizado em Petrolina – PE, aos 90 dias após a estaquia de ramo herbáceos e transplantadas para sacos com seus devidos tratamentos. Após o transplante, as mudas foram mantidas em casa de vegetação sob nebulização intermitente até que atingissem 15 cm a 20 cm de altura (60 dias), para então se realizar a avaliação dos aspectos biométricos e fisiológicos da cultura e as análises do substrato.

Para avaliação das características físicas do substrato após incorporação do bio sólido foi determinada a umidade, a densidade do solo (D_s), a densidade de partículas (D_p), a porosidade total (P_t), a macroporosidade (M_a), a microporosidade (M_i) e a curva de retenção de água nas tensões de 10; 30; 50; 100, 300; 500 1500 kPa, pelo método da câmara de Richards, conforme Teixeira et al. (2017). Sendo que os valores de retenção de água foram ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980) para elaboração da curva característica de água.

Quanto às características morfológicas da cultura, foram avaliadas: diâmetro do colo (DC) e comprimento da parte aérea (CPA), utilizando paquímetro e régua milimetrada, respectivamente, conforme Bezerra et al. (2014), para determinação da relação CPA/DC; ainda, comprimento radicular (CR), número de folhas (NF), largura (L) e comprimento de folhas (CF). Após as avaliações, as partes aérea e radicular foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas, para determinação das massas secas da raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA). A massa seca total (MST) foi obtida por meio do somatório da MSR e da MSPA.

O peso da biomassa seca por centímetro de raiz, ou seja, a densidade de biomassa (DB) do sistema radicular (mg cm^{-1}), foi resultante da razão entre a massa seca radicular (MSR) e o comprimento da raiz (Eq. 1), de acordo com Bezerra et al. (2014).

$$DB = \frac{MSR}{CR} \quad \text{Eq. (1)}$$

O índice de qualidade de Dickson (IQD), que indica o vigor e o equilíbrio na distribuição da fitomassa, foi determinado através da Eq. 2 proposta por Dickson et al. (1960).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{CPA}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Seguindo o modelo matemático proposto por Silva et al. (2015) foi estimada a área foliar ($AF = 0,5207CF * L1,1081$). A clorofila total foi obtida com clorofilometro ClorofiLOG, modelo CFL 1030 - Falker.

Os resultados analíticos foram submetidos à análise descritiva, considerando-se os parâmetros de média, mediana, coeficiente de variação, desvio padrão, valores máximos e mínimos dos dados. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$) e as análises foram realizadas objetivando avaliar se os dados apresentavam normalidade, e linearidade, verificando a presença de outliers. As médias obtidas sendo comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) com auxílio do software estatístico ASSISTAT beta 7.7; como também foi realizada a análise de agrupamento (AA), utilizando-se o método de Ward's e a distância euclidiana, a fim de detectar similaridade entre os tratamentos.

5.3 RESULTADOS

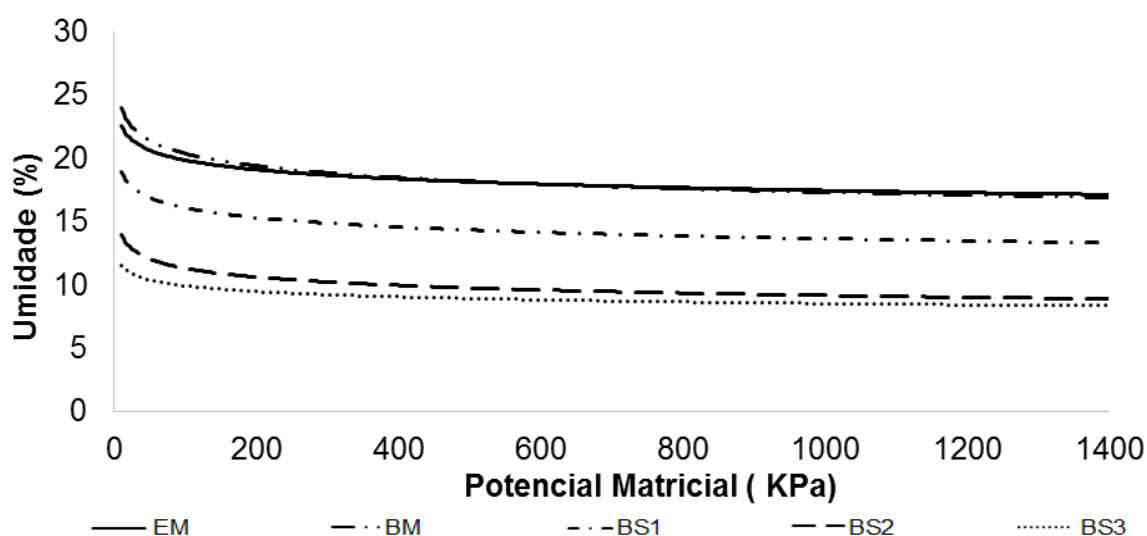
Na Tabela 3 estão descritas as características físicas analisadas no substrato.

Tabela 3. Valores médios das características físicas do substrato em função das diferentes proporções de biossólido.

Tratamento	Umidade (kg kg ⁻¹)	Ds (Mg m ⁻³)	Dp (Mg m ⁻³)	Pt (m ³ m ⁻³)	Ma (m ³ m ⁻³)	Mi (m ³ m ⁻³)
EM	0,14 bc	0,64 e	1,27 d	0,95 a	0,56 a	0,39 a
BM	0,24 a	0,73 d	1,70 c	0,88 ab	0,53 a	0,35 ab
BS1	0,17 b	1,09 a	2,17 a	0,65 c	0,36 b	0,29 c
BS2	0,10 d	0,93 c	2,04 b	0,82 b	0,51 a	0,31 bc
BS3	0,11 cd	0,97 b	2,07 b	0,85 ab	0,56 a	0,29 bc
CV %	10,76	0,82	1,42	4,67	8,98	6,51

EM - esterco de bode e maravalha de pinus na proporção 2:1, respectivamente; BM - biossólido e maravalha de pinus na proporção 2:1; BS1 - biossólido e solo na proporção 1:1; BS2 - biossólido e solo na proporção 2:1 e, BS3 - biossólido e solo na proporção 3:1; Ds – densidade do solo; Dp – densidade de partícula; Pt – porosidade total; Ma – macroporosidade; Mi – microporosidade. *Médias da coluna seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV - coeficiente de variação.

A Figura 1 apresenta as curvas de retenção de água de cada substrato utilizado.



EM - esterco de bode e maravalha de pinus na proporção 2:1, respectivamente; BM - bioestabilizado e maravalha de pinus na proporção 2:1; BS1 - bioestabilizado e solo na proporção 1:1; BS2 - bioestabilizado e solo na proporção 2:1 e, BS3 - bioestabilizado e solo na proporção 3:1.

Figura 1. Teor de água no substrato em função das diferentes proporções de bioestabilizado.

Na Tabela 4 estão expressos os valores médios do comprimento da parte aérea, do diâmetro do colo, da relação CPA/DC, da massa seca da parte aérea e radicular das mudas de goiabeira.

Tabela 4. Valores médios das características morfológicas das mudas de goiabeira em função das diferentes proporções de bioestabilizado.

Tratamento	CPA (cm)	DC (cm)	CPA/DC	MSPA (g)	MSR (g)
EM	20,46 bc	2,50 b	8,18 ab	10,59 a	9,34 a
BM	17,70 c	2,55 b	6,94 b	10,41 a	9,33 a
BS1	24,06 ab	2,86 a	8,41 ab	11,17 a	9,34 a
BS2	26,58 a	2,87 a	9,26 a	11,19 a	9,57 a
BS3	20,00 bc	2,81 a	7,15 b	11,00 a	9,43 a
CV %	13,66	8,31	12,61	4,99	1,42

EM (testemunha) - esterco de bode e maravalha de pinus na proporção 2:1, respectivamente; BM - bioestabilizado e maravalha de pinus na proporção 2:1; BS1 - bioestabilizado e solo na proporção 1:1; BS2 - bioestabilizado e solo na proporção 2:1 e, BS3 - bioestabilizado e solo na proporção 3:1; CPA - comprimento da parte aérea; DC - diâmetro do colo; CPA/DC - relação comprimento da parte aérea/diâmetro de colo; MSPA - massa seca da parte aérea; MSR - massa seca da raiz. *Médias da coluna seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV - coeficiente de variação.

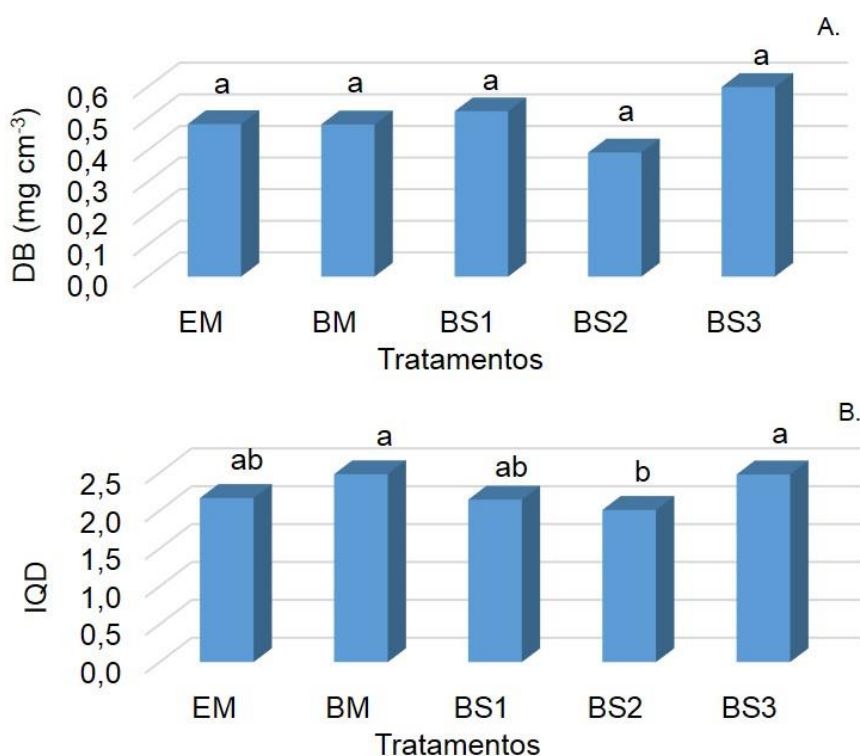
A Tabela 5 apresenta os valores médios das características morfológicas e índices das mudas de goiabeira.

Tabela 5. Valores médios das características morfológicas e índices das mudas de goiabeira em função das diferentes proporções de biossólido.

Tratamento	MST (g)	NF	AF (cm ²)	CR (cm)	CT
EM	19,92 a	13,60 a	306,16 a	20,06 a	38,96 a
BM	19,74 a	15,40 a	180,37 ab	20,06 a	37,32 a
BS1	20,51 a	12,40 a	226,54 ab	18,90 a	38,04 a
BS2	20,76 a	15,40 a	175,78 b	24,60 a	39,16 a
BS3	20,42 a	15,80 a	264,99 ab	16,80 a	41,32 a
CV %	3,12	22,61	20,78	22,37	17,14

EM - esterco de bode e maravalha de pinus na proporção 2:1, respectivamente; BM - biossólido e maravalha de pinus na proporção 2:1; BS1 - biossólido e solo na proporção 1:1; BS2 - biossólido e solo na proporção 2:1 e, BS3 - biossólido e solo na proporção 3:1; MST – massa seca total; NF – número de folhas; AF – área foliar; CR – comprimento radicular; CT – clorofila total. *Médias da coluna seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV - coeficiente de variação.

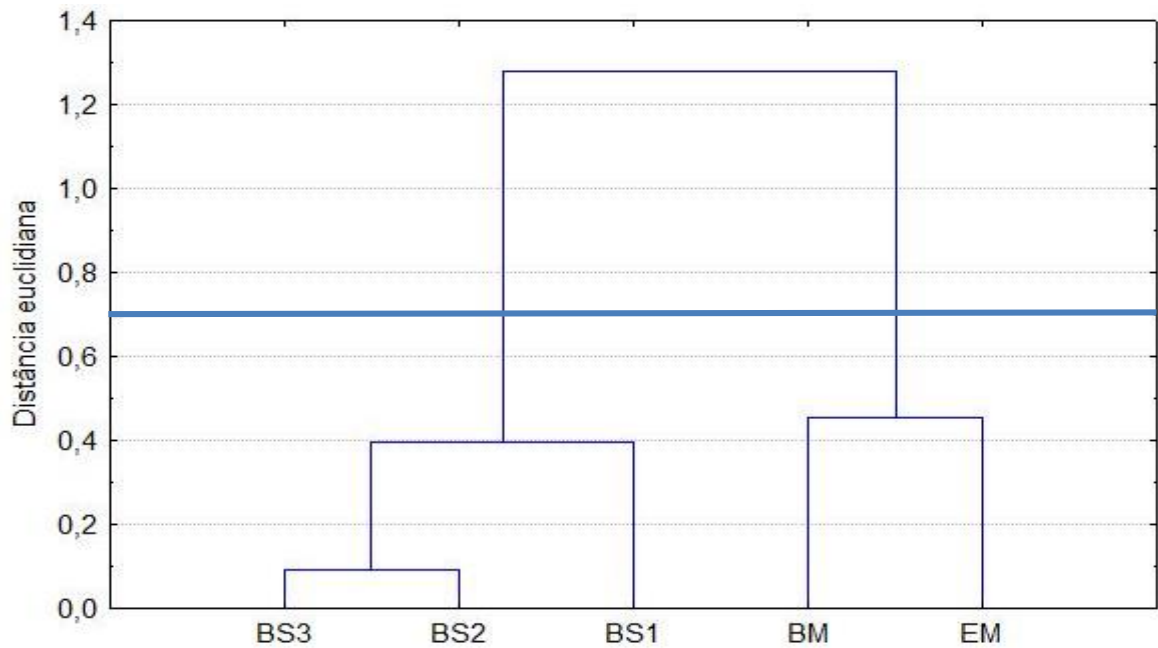
A Figura 2 apresenta os resultados médios do diâmetro de biomassa e do índice de qualidade de Dickson das mudas de goiabeira.



EM - esterco de bode e maravalha de pinus (2:1); BM - biossólido e maravalha de pinus (2:1); BS1 - biossólido e solo (1:1); BS2 - biossólido e solo (2:1) e, BS3 - biossólido e solo (3:1). *Médias da coluna seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

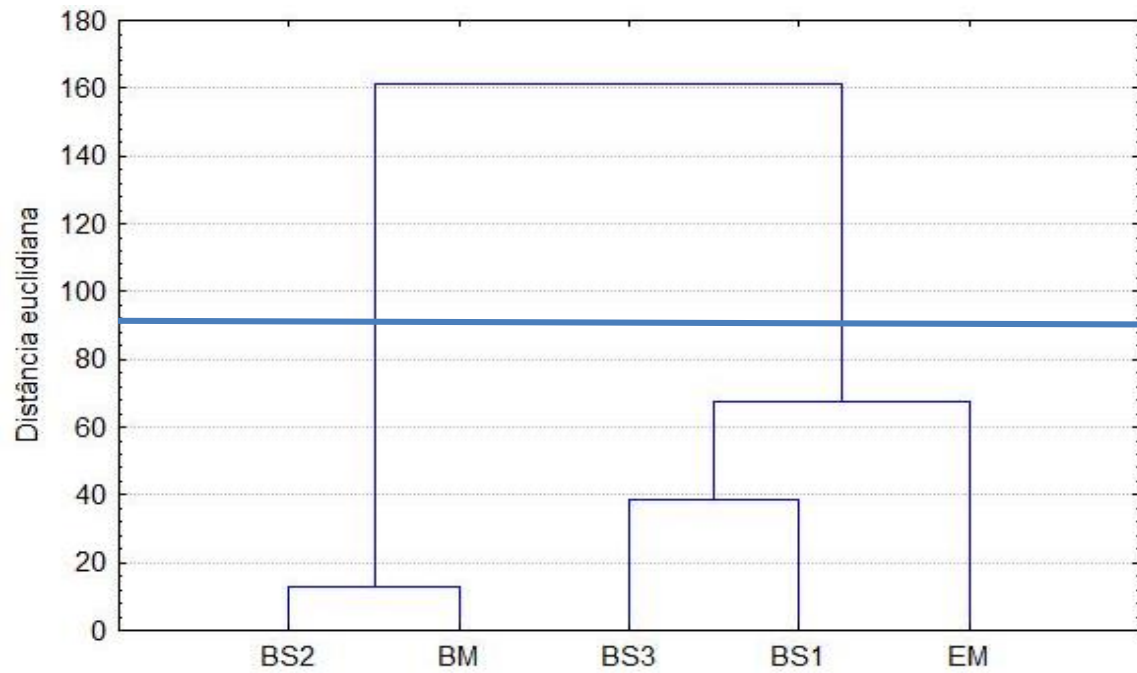
Figura 2. Densidade de biomassa (A) e Índice de qualidade de Dickson (B) na condução de mudas de goiaba em função das diferentes proporções de biossólido.

Com a finalidade de verificar a existência ou inexistência de similaridade entre os tratamentos, foi realizada a análise de agrupamento por meio das características físicas do substrato (Figura 3) e das características morfológicas das mudas de goiabeira (Figura 4), após avaliação da dependência, da linearidade, normalidade e significância dos dados (Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7), seguindo os pressupostos estabelecidos por Hair Jr. et al. (2005).



EM - esterco de bode e maravalha de pinus na proporção 2:1, respectivamente; BM - biossólido e maravalha de pinus na proporção 2:1; BS1 - biossólido e solo na proporção 1:1; BS2 - biossólido e solo na proporção 2:1 e, BS3 - biossólido e solo na proporção 3:1.

Figura 3. Dendrograma da análise de agrupamento dos atributos físicos do substrato em função das diferentes.



EM - esterco de bode e maravalha de pinus na proporção 2:1, respectivamente; BM - biossólido e maravalha de pinus na proporção 2:1; BS1 - biossólido e solo na proporção 1:1; BS2 - biossólido e solo na proporção 2:1 e, BS3 - biossólido e solo na proporção 3:1.

Figura 4. Dendrograma da análise de agrupamento das características morfológicas das mudas de goiabeira em função das diferentes proporções de biossólido.

Tabela 6. Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão das variáveis utilizadas para elaboração do agrupamento com os dados das características físicas do substrato.

Característica	Média	Mínimo	Máximo	Erro padrão
Subgrupo 1 (BS2 e BS3)				
Umidade (kg kg ⁻¹)	0,11	0,09	0,14	0,01
Dp (Mg m ⁻³)	2,06	2,00	2,08	0,01
Pt (m ³ m ⁻³)	0,84	0,81	0,90	0,01
Ma (m ³ m ⁻³)	0,54	0,50	0,59	0,01
Mi (m ³ m ⁻³)	0,30	0,28	0,31	0,00
Subgrupo 2 (BS1)				
Umidade (kg kg ⁻¹)	0,10	0,09	0,10	0,00
Dp (Mg m ⁻³)	2,04	2,00	2,08	0,01
Pt (m ³ m ⁻³)	0,82	0,81	0,82	0,00
Ma (m ³ m ⁻³)	0,36	0,31	0,42	0,02
Mi (m ³ m ⁻³)	0,31	0,30	0,31	0,00
Grupo 2 (EM e BM)				
Umidade (kg kg ⁻¹)	0,11	0,09	0,14	0,01
Dp (Mg m ⁻³)	2,06	2,00	2,08	0,01
Pt (m ³ m ⁻³)	0,84	0,81	0,90	0,01
Ma (m ³ m ⁻³)	0,55	0,48	0,62	0,02
Mi (m ³ m ⁻³)	0,30	0,28	0,31	0,00

* Dp – densidade de partículas; Pt – porosidade total; Mi – microporosidade; Ma – macroporosidade.

Tabela 7. Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão das variáveis utilizadas para elaboração do agrupamento com os dados das características morfológicas das mudas de goiabeira.

Característica	Média	Mínimo	Máximo	Erro padrão
Grupo 1 (BM e BS2)				
CPA (cm)	22,48	16,50	32,00	2,45
DC (cm)	2,72	2,35	3,11	0,12
CPA/DC	8,24	5,83	10,41	0,73
AF (cm ²)	178,08	146,51	216,92	9,00
IQD	2,23	1,76	2,83	0,15
Subgrupo 1 (BS1 e BS3)				
CPA (cm)	21,47	18,00	26,00	1,10
DC (cm)	2,76	2,59	3,10	0,07
CPA/DC	7,76	6,45	8,69	0,33
AF (cm ²)	245,77	170,15	311,37	21,52
IQD	2,29	2,08	2,60	0,08
Subgrupo 2 (EM)				
CPA (cm)	20,27	19,00	21,50	0,59
DC (cm)	2,50	2,38	2,70	0,08
CPA/DC	2,50	2,38	2,70	0,08
AF (cm ²)	306,15	244,79	339,25	25,08
IQD	2,16	2,03	2,24	0,05

* AF – área foliar; CPA – comprimento da parte aérea; DC – diâmetro do colo; CPA/DC – relação comprimento da parte aérea/diâmetro de colo; IQD – índice de qualidade de Dickson.

5.4 DISCUSSÃO

A aplicação de biossólido em conjunto com a maravalha foi o tratamento que favoreceu a maior disponibilidade de água no substrato, corroborando com o melhor desenvolvimento da altura e do diâmetro do caule das mudas (Tabela 3), provavelmente em função da maior absorção de nutrientes. Essa elevada capacidade em manter a umidade pode ser explicada não apenas pelo material orgânico presente no resíduo, mas também pela capacidade do resíduo da madeira (maravalha de pinus) em absorver água (MACEDO et al., 2015).

Dentre os tratamentos com proporções distintas de solo e biossólido, a aplicação de maiores quantidades do resíduo não elevou a disponibilidade de água no substrato, enquanto que a proporção 1:1 se mostrou como a segunda melhor

composição para auxiliar na manutenção da umidade. Esses resultados corroboram com estudo realizado por Maia et al. (2018) e por Sampaio et al. (2012) que não encontraram interação positiva entre aumento da dosagem do resíduo e a maior teor de umidade. Entretanto, diferem dos encontrados por Barone et al. (2018) que ao utilizarem o mesmo resíduo em proporção semelhante à do solo obtiveram menores valores de umidade.

A densidade do solo apresentou valores variando de 0,64 a 1,09 Mg m⁻³, os quais, segundo Bunt (1974), encontram-se acima dos considerados ideais para formação de substratos (0,35 a 0,50 Mg m⁻³), podendo interferir no desenvolvimento radicular das mudas, por limitar a drenagem e a aeração.

Também, foi observado que, a densidade foi significativamente superior no tratamento composto por biossólido e solo na proporção 1:1, podendo este resultado ser explicado pela maior presença de material mineral (Ds de 1,46 Mg m⁻³) na composição do substrato.

Entre os tratamentos com biossólido, foi observado que a densidade foi reduzida ao aumentar a proporção do resíduo na composição do substrato, evidenciando o potencial deste resíduo em melhorar a agregação das partículas, reduzindo, assim, os valores dessa propriedade, conforme afirmaram Maia et al. (2018).

Também, a densidade de partículas, foi inferior à Dp do solo utilizado (2,63 Mg m⁻³) e, o tratamento biossólido e solo 1:1 foi o que apresentou a maior média dessa variável, indicando que a maior presença de solo, condicionou o resultado obtido. Para Silva et al. (2010) os compostos orgânicos são menos densos que os minerais, o que pode explicar essa redução da Dp nos substratos.

A porosidade total, sendo uma característica dependente e inversamente proporcional à densidade, apresentou menor valor no tratamento que possuía menor proporção de biossólido (BS1). Este resultado corrobora com o encontrado por Barone et al. (2018) que obtiveram a mínima porosidade (0,52 m³ m⁻³) no tratamento em que a quantidade de solo e biossólido eram semelhantes (1:1).

Ainda, foi verificado que entre os substratos compostos pelo resíduo, o tratamento BS3 (biossólido e solo na proporção 3:1) se mostrou o mais favorável ao aumento da Pt (0,57 m³ m⁻³). No entanto, segundo Nogueira et al. (2016), a porosidade ideal encontra-se a 0,50 m³ m⁻³ e, valores acima deste podem dificultar o desenvolvimento da planta por potencializar a lixiviação, interferindo na absorção de

nutrientes pelas raízes. Nesta perspectiva, nenhum dos tratamentos seria o ideal para uso.

Avaliando a macroporosidade, foi observado que todos os tratamentos apresentaram valores distantes do intervalo ideal ($0,17$ a $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), segundo Nogueira et al. (2016) e Lima et al. (2007); diferindo dos encontrados por Maia et al. (2018) que, conquanto tenham percebido incremento significativo na macroporosidade (de $0,21$ a $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) ao adicionar o biossólido, o valor desse parâmetro não ultrapassou o recomendado por literatura.

Os resultados evidenciam que, embora o uso de biossólido auxilie na melhor distribuição dos poros no longo prazo, incrementando do volume dos macroporos, responsáveis pela aeração; inicialmente, sua aplicação pode favorecer à drenagem excessiva, exigindo maiores cuidados com o tempo de rega utilizado (LU et al., 2012).

Outro benefício advindo da aplicação do, consiste no aumento da retenção de água, devido à elevação da microporosidade (AFÁZ et al., 2016), como observado em estudo realizado por Maia et al. (2018). Entretanto este comportamento não foi encontrado neste estudo, pois foi observado que o volume de poros de menores dimensões, nos tratamentos com proporções de biossólido, mantiveram-se semelhantes ao do solo utilizado ($0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). E a M_i , dessas composições, também se mostrou inferior ao da composição com esterco de bode e maravalha (EM), podendo este resultado advir da presença de partículas finas no biossólido seco, as quais ocupam os espaços porosos do solo.

Este resultado corrobora com os encontrados na curva de retenção de água (Figura 1), em que se observa redução na capacidade de retenção de água pelo substrato, na medida em que se aumenta a proporção aplicada de biossólido, como consequência da diminuição do volume de poros responsáveis pelo armazenamento de água.

A quantidade de microporos nos tratamentos compostos de biossólido e solo, se enquadrou dentro dos limites estabelecidos por Lima et al. (2007) e Nogueira et al. (2016), que recomendam que a microporosidade situe-se entre $0,25$ e $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para fomentar a disponibilidade de nutrientes e água para as plantas.

Em relação às mudas, a aplicação de diferentes proporções de biossólido interferiu no comprimento da parte aérea e no diâmetro de colo das mudas, com destaque para o tratamento composto por biossólido e solo na proporção 2:1 (BS2),

que se diferenciou da testemunha e apresentou as maiores médias dessas variáveis (Tabela 4).

Os resultados corroboram com os obtidos por Salvador et al. (2013), que detectaram desenvolvimento significativamente maior da parte aérea de mudas de goiabeira cultivadas com biofóssido e solo em comparação às produzidas com esterco. Freitas et al. (2013) e Cabreira et al. (2017) observaram maior desenvolvimento do diâmetro do colo em mudas de tomateiro e de espécies florestais, respectivamente, ao aplicar esse composto em relação ao tratamento com resíduos de dejetos de animais. Os autores inferiram que os maiores teores de matéria orgânica no biofóssido tenha sido o fator determinante ao arranque inicial dessas plantas. Essas constatações confirmam a declaração de Bonini, Alves e Montanari (2015) sobre a otimização do desenvolvimento das plantas devido à aplicação de biofóssido ao solo.

Ao avaliar a relação entre comprimento da parte aérea e diâmetro do colo (CPA/DC), foi observado valor significativamente maior no tratamento com biofóssido e solo na proporção 2:1 (BS2) e menor no tratamento com biofóssido e maravalha na proporção 2:1 (BM). Os valores encontrados assemelham-se aos obtidos por França et al. (2017) para mudas de goiabeira adubadas com nitrogênio, podendo evidenciar a riqueza nutricional do biofóssido utilizado, principalmente para o elemento N, que segundo Cabreira et al. (2017) é um nutriente essencial ao arranque inicial da planta. E esses resultados também se assemelham aos detectados por Delarmelina et al. (2014) que observaram a menor relação CPA/DC de mudas de *Sesbania virgata* no substrato composto pela menor proporção de biofóssido.

Entre os valores encontrados para essa relação, apenas os tratamentos compostos por biofóssido com maravalha e biofóssido com solo na proporção 3:1 apresentaram valores inclusos nos limites de referência (5,80 a 8,10) citados por Ataíde et al. (2010) para o desenvolvimento de mudas em viveiro. Resultados fora desses limites podem indicar a presença de estiolamento das plantas, devido ao crescimento exagerado da parte aérea ou do colo, podendo provocar o tombamento da planta pelo vento, pelo peso da biomassa foliar ou pela força da gravidade.

As massas secas da parte aérea, da raiz e total não foram significativamente diferentes em função das distintas proporções do resíduo utilizado, ainda que se observe as maiores valores numéricos de massas no tratamento composto por biofóssido e solo na proporção 2:1 (Tabelas 4 e 5).

Esses resultados diferem dos detectados por Barone et al. (2018) que, semelhante a esse estudo, não observaram diferenças significativas na MSPA, MSR e MST de mudas de *Lantana camara* em relação às proporções de biossólido e, as detectaram ao compará-las com o tratamento com esterco.

Quanto ao número de folhas, foi constatada que não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 5), distinguindo-se dos resultados obtidos por Freitas et al. (2013) que observam, em mudas de tomate, o dobro do número de folhas no tratamento com biossólido e solo na proporção 3:1, comparando-o com o substrato com esterco. Esse resultado pode ser explicado pela imprecisão nos dados obtidos, o qual se reflete no valor do CV obtido (22,61%) e, segundo a classificação proposta por Pimentel-Gomes (2009) é considerado alto quando compreendido entre 20 e 30%.

Ainda que, o número de folhas não tenha se diferenciado entre os tratamentos, suas dimensões interferiram nos resultados de área foliar (AF). O tratamento composto por esterco de bode e maravalha apresentou significativa maior AF, enquanto que o tratamento composto por biossólido e solo na proporção 2:1 apresentou a menor AF. Esses resultados corroboram com estudo realizado por Salvador et al. (2013) em mudas de goiabeira em substratos semelhantes.

Para Silva et al. (2015), a medição da área foliar é imprescindível para avaliar o estado fisiológico da planta, dado que as folhas são os principais elementos responsáveis pela realização da fotossíntese e de trocas gasosas. Destarte, ao incrementar a área foliar poderiam haver taxas fotossintéticas mais elevadas.

Em relação ao comprimento radicular das mudas não houve diferença entre os tratamentos e este resultado diverge do encontrado por Salvador et al. (2013) que detectaram significativa diferença entre os tratamentos com biossólido e com esterco. Esse resultado também se explica pela obtenção de elevado coeficiente de variação (22,37%), segundo a classificação proposta por Pimentel-Gomes (2009). Entretanto, foi observado que o tratamento biossólido e solo na proporção 2:1 apresentou maior desenvolvimento radicular, enquanto que o menor ocorreu no biossólido e solo na proporção 3:1. Para Cabreira et al. (2017) essas características podem proporcionar melhor e pior aproveitamento, respectivamente, dos nutrientes disponibilizados pelo resíduo.

Semelhante ao CR, a clorofila total não se distinguiu significativamente entre tratamentos, mas foi observada tendência de que as maiores proporções de biossólido

e solo (2:1 e 3:1) protagonizaram os melhores resultados dessa variável. Siqueira et al. (2018) supõem que esta característica advenha da riqueza nutricional do bio sólido, principalmente em N, elemento utilizado na síntese de clorofila (NOVAIS et al., 2007).

Ao considerar a densidade de biomassa (Figura 2A), observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, o que pode ser explicado pela ausência de variação significativa nas variáveis utilizadas para seu cálculo (MSR e CR). Diferentemente do índice de qualidade de Dickson que apresentou resultados significativamente distintos, com maiores valores nos tratamentos bio sólido e maravalha e bio sólido e solo (3:1) e, menor média no bio sólido e solo (2:1) (Figura 2B).

Oliveira et al. (2013) e Souza et al. (2017) destacam que o IQD funciona com indicador da qualidade da muda, uma vez que relaciona o equilíbrio da distribuição de biomassa com a robustez; e destacam que quanto maior esse valor, melhor condição de sobrevivência, após transplante, a planta apresentará. Nesse entendimento, dentre os tratamentos aplicados, as plantas que tiveram como substrato bio sólido e maravalha (2:1) e bio sólido e solo (3:1) teriam maiores chances de sobrevivência após transplante.

Analisando o dendrograma das características físicas do substrato (Figura 3) foi possível verificar a formação de dois grupos na distância euclidiana de 0,7. O primeiro grupo foi formado por dois subgrupos, sendo o primeiro composto pelos substratos bio sólido com solo nas proporções 2:1 (BS2) e 3:1 (BS3), e o segundo subgrupo constituiu-se pelo tratamento bio sólido com solo nas proporções 1:1 (BS1). Essas semelhanças do primeiro subgrupo podem ser resultado das médias análogas nas variáveis porosidade total, macroporosidade e microporosidade, enquanto que no outro subgrupo as características que mais se assemelharam foram a macro e a microporosidade (Tabela 6).

O segundo grupo, constituído pelos substratos esterco e maravalha (EM) e bio sólido e maravalha (BM) formou-se devido à similaridade de médias entre porosidade total, macroporosidade e microporosidade (Tabela 6).

Considerando o dendrograma das características morfológicas das mudas de goiabeira (Figura 4) observa-se a formação de dois grupos na distância euclidiana de 90, oriundos da união dos atributos morfológicos das mudas de goiabeira. O primeiro grupo foi formado pelas composições de bio sólido com maravalha e bio sólido (BM)

com solo na proporção 2:1 (BS2), enquanto que o segundo se dividiu em dois subgrupos, sendo um deles composto pelos tratamentos de biossólido com solo na proporção 1:1 (BS1) e na proporção 3:1 (BS3); e o outro formado apenas por esterco e maravalha.

Os tratamentos compostos de biossólido com maravalha e biossólido (BM) com solo na proporção 2:1 (BS2) compuseram o primeiro grupo formado no dendrograma, uma vez que apresentou menor distância euclidiana, evidenciando a maior similaridade. Essa semelhança pode ser resultado das análogas médias dos valores obtidos nas variáveis diâmetro de colo e índice da qualidade de Dickson.

O segundo grupo, por sua vez, teve o subgrupo composto de biossólido com solo na proporção 1:1 e na proporção 3:1 sendo formado após o primeiro grupo, com características similares também resultando dos valores do diâmetro do colo e do índice de qualidade de Dickson; enquanto que o último subgrupo a ser constituído foi o composto por esterco e maravalha, por apresentar menor quantidade de significâncias análogas com os outros tratamentos que compuseram o grupo, como expresso nas Tabelas 4, 5 e Figura 2.

5.5 CONCLUSÕES

As características físicas do substrato como a densidade do solo e de partículas foram significativamente reduzidas ao se adicionar biossólido ao solo, enquanto que a porosidade total foi incrementada e a microporosidade apresentou valores dentro da faixa considerada ideal.

O tratamento composto por biossólido e solo na proporção 2:1 foi o que mais favoreceu o desenvolvimento vegetativo das mudas de goiabeira, ainda que não tenha otimizado a área foliar e o índice de qualidade de Dickson.

5.6 REFERÊNCIAS

AFÁZ, D. C. de S.; BERTOLAZ, K. B.; VIANI, R. A. G., SOUZA, C. F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 1, 2017.

ALTOÉ, J. A.; MARINHO, C. S.; TERRA, M. I. da; CARVALHO, A. J. C. de.

Multiplicação de cultivares de goiabeira por miniestaquia. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p.801-809, 2011.

ATAÍDE, G. da M.; CASTRO, R. V. O.; SANTANA, R. C.; DIAS, B. A. S.; CORREIA, A. C. G.; MENDES, A. F. N. Efeito da densidade na bandeja sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Trópica**, v. 4, n. 2, p. 21, 2010.

BARONE, E. P.; SILVA, F. A. M.; FERRAZ, M. V. Aproveitamento do lodo de esgoto e da casca de palmito na produção de mudas de *Lantana câmara*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n. 2, p. 132-143, 2018.

BEZERRA, M.A.F.; OLIVEIRA, F.A. de; BEZERRA, F.T.C., PEREIRA, W.E.; SILVA, S.A. da. Cultivo de feijão-caupi em Latossolos sob o efeito residual da adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.1, p.109-115, 2014.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1129-1139, 2017.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.388–393, 2015.

BOTI, J. B.; MADALON, F. Z.; OLIVEIRA, B. R. de; HADDADE, I. R. Insetos provocadores de danos em folhas, flores e frutos da goiabeira (*Psidium guajava* L., Myrtaceae) nos pomares conduzidos em sistema de cultivo convencional e orgânico, no município de Santa Teresa-ES. **Natureza Online**, v. 14, n.1, p. 40-44, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. “Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2006.

BUNT, A. C. Algumas características físicas e químicas de substratos de plantas potáveis e sua relação com o crescimento de plantas. **Acta Horticulturae**, v.37, n.6, p.1954-1965, 1974.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. dos S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. de; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. dos. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira**. Brasília: CNI, 2018. 64p.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FAIRA, J. C. T.; GONÇALVES, E. de O. ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. *Floresta e Ambiente*, v. 21, n. 2, p. 224-233, 2014.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forest Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

FARIAS, W. C.; CÂMARA, F. M. M.; SILVA, F. S. O.; MENDONÇA, V.; PERERIA, G. A.; LEITE, G. A. Qualidade de frutos da goiabeira cv. Paluma submetida a podas de frutificação em diferentes épocas no município de Mossoró – RN. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 5-8, 2017.

FRANÇA, S. C.; OLIVEIRA, A. C. de; FARIAS, G. A.; CABRAL JÚNIOR, L. F.; SILVA, V. L. da. Doses de nitrogênio no crescimento de porta-enxerto de goiabeira Paluma amarela. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 54-65, 2017.

FREITAS, R. X.; MELO, G. A. Avaliação do uso de biocomposto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas, 2010. **Revista Monografias Ambientais**, v. 12 n. 12, p. 2665 – 2673, 2013.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; NACKE, H.; SCHWANTES, D.; COELHO, G. F.; SOUSA, R. F. B. de; PARIZOTTO, A. A. Fitodisponibilidade de metais em milho (*Zea mays*) cultivado com aplicação de biossólido. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 71-78, 2015.

HAIR JÚNIOR, J. F., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L., BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5ª.ed. Porto Alegre: Bookman; 2005. 600 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017 - IBGE. **IBGE Estados – Lavoura permanente**. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 06 de junho de 2017.

LIMA, C. G. da R.; CARVALHO, M. de P.; MELLO, L. M. M. de; LIMA, R. C. 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**, v. 31, p. 1233-1244, 2007.

LU, Q.; HE, Z. L.; STOFFELLA, P. J. Land application of biosolids in the USA: A review. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 12, 2012.

MACEDO, L. B. de; FERRO, F. S.; VARANDA, L. D.; CAVALHEIRO, R. S.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Propriedades físicas de painéis aglomerados de madeira produzidos com adição de película de polipropileno biorientado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.7, p.674–679, 2015.

MAIA, F. C.; LIMA, S. O.; BENÍCIO, L. P. F.; FREITAS, G. A. de; FURLNA, J. C. Qualidade física do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Nativa**, v. 6, n. 4, p. 345-351, 2018.

MAIO, M. M.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; PRATES, F. B. de S.; RODRIGUES, M. N.; SILVA, H. P. da; DIAS, A. N.; FREITAS, C. E. S. Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Ceres**, v. 58, n. 6, p. 823-830, 2011.

MARTINS, B. H. da S.; MARTINEZ, D. G.; PUIG, P.; BANDAR, H. A.; SCHMITZ, W. C. Uso de biossólido na agricultura. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p. 64-72, 2015.

MAY, P.; LUSTOSA, M. A.; VINHA, V. **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 347p.

NÓBREGA, E. P. da; SARMENTO, M. I. de A.; RODRIGUES, M. L. de M.; OLIVEIRA, P. R. R. de; FERREIRA NETO, J.; MARACAJÁ, P. B. Desenvolvimento inicial de mudas de goiabeira irrigadas com diferentes tipos de água. **Revista de Agroecologia no Semiárido**, v. 1, n.2, p.01-09, 2017.

NOGUEIRA, K. B.; ROQUE, C. G.; BORGES, M. C. R. Z.; TROLEIS, M. J. B.; BARRETO, R. F.; OLIVEIRA, M. P. Atributos físicos do solo e matéria orgânica sob dois manejos e efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 115, p. 45-54, 2016.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.

OLIVEIRA, F. T.; MENDONÇA, V.; HAFLE, O. M.; MOREIRA, J. N.; PEREIRA JÚNIOR, E. B.; LOPES, J. D. de A. Fontes orgânicas e volumes de recipiente no

crescimento inicial de porta-enxertos de goiabeira. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 97-103, 2013.

PALHARINI, M. C. de A.; FISCHER, I. H.; ALVES, A. R. de O. F.; FILETI, M. de S.; NOGUEIRA JÚNIOR, A. F. Qualidade de goiabas 'Pedro Sato' em função de tratamentos alternativos em pós-colheita. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 129-140, 2016.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F. de; PICKLER, A. de C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEN, C. da C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, p. 89-188, 2010.

PIMENTEL-GOMES, F. G. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MARCANTE, N. C. Waste use as substrate to yield guava seedlings. **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2793-2802, 2013.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, J. C. A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; CARVALHO, N. C. de; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 1637-1645, 2012.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; DIAS JUNIOR, M.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Caracterização física do solo. In: Jong van Lier Q, editor. Física do solo. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.1-27. 298 p.

SILVA, E. M. da S.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. de P.; PINHEIRO, F. W. A.; ANDRADE, B. A. de. Efeito da adubação nitrogenada na formação de mudas de goiabeira irrigadas com águas salinizadas. **Revista Verde**, v.10, n. 4, p.42-48, 2015.

SIQUEIRA, D. P.; CARVALHO, G. C. M. W. de; BARROSO, D. G.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 277-284, 2018.

SOUZA, M. F. P.; BEM, E. A. D.; DALCHIAVON, F. C.; YOSHITOME, M. Y.; ALVES, M. C. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho tratado com lodo de esgoto. **Engenharia Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 27-40, 2012.

SOUZA, L. de P.; NOBRE, R. G.; SILVA, E. M.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. dos A. Produção de porta-enxerto de goiabeira cultivado com águas de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 596-604, 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

UESU, L. S. K.; CECCHIN, D.; UESU, M. Y. K.; OGINO, M. K.; PEREIRA, C. R. Análise da viabilidade econômica da produção de goiaba em Cachoeiras de Macacu – RJ. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 48-57, 2018.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.892-897, 1980.