

## **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**Geraldo Ribeiro Zuba Junio**

**Produtividade e nutrição do abacaxizeiro adubado com lodo de esgoto**

**Montes Claros**

**2019**

**Geraldo Ribeiro Zuba Junio**

**Produtividade e nutrição do abacaxizeiro adubado com lodo de esgoto**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

**Orientador:** Regynaldo Arruda Sampaio

Montes Claros  
25 de fevereiro de 2019

Z93p  
2019

Zuba Junio, Geraldo Ribeiro.

Produtividade e nutrição do abacaxizeiro adubado com lodo de esgoto /  
Geraldo Ribeiro Zuba Junio. Montes Claros - MG, 2019.  
93 f.: il.

Tese (doutorado) – Área de concentração em Produção Vegetal,  
Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Regynaldo Arruda Sampaio.

Banca examinadora: José Tadeu Alves da Silva, Luiz Arnaldo Fernandes,  
Rodinei Facco Pegoraro, Victor Martins Maia, Regynaldo Arruda Sampaio.

Inclui referências.

1. Adubação orgânica. 2. Abacaxi -- Cultivo. 3. Lodo de esgoto. I.  
Sampaio, Regynaldo arruda. II. Universidade Federal de Minas Gerais.  
Instituto de Ciências Agrárias. III. Produtividade e nutrição do abacaxizeiro  
adubado com lodo de esgoto.

CDU: 635.1/.8

**Geraldo Ribeiro Zuba Junio**

**Produtividade e nutrição do abacaxizeiro adubado com lodo de esgoto**

Aprovado pela banca examinadora constituída pelos professores:

Dr. José Tadeu Alves da Silva  
EPAMIG

Dr. Luiz Arnaldo Fernandes  
UFMG

Dr. Rodinei Facco Pegoraro  
UFMG

Dr. Victor Martins Maia  
UNIMONTES

---

Dr. Regynaldo Arruda Sampaio  
Orientador – UFMG

Montes Claros 25 de fevereiro de 2019.

*Dedico à minha Mãe, aos  
meus irmãos ao meu querido Pai,  
exemplo de dignidade.....*

*Saudades eternas!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por iluminar a minha vida em mais esta conquista, permitindo a realização deste trabalho;

Aos professores e aos funcionários do ICA / UFMG, em especial, ao meu orientador, Prof. Regynaldo Arruda Sampaio, que, com suas orientações, tornou possível a realização deste trabalho, demonstrando-me sempre muita dedicação, compreensão e amizade!

Aos meus colegas e amigos, e a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram ou mesmo torceram por mim.

Agradeço à FAPEMIG, ao CNPq e a CAPES, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concluído, muito obrigado!

# PRODUTIVIDADE E NUTRIÇÃO DO ABACAXIZEIRO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO

## Resumo

A ampliação dos serviços básicos de saneamento dos municípios brasileiros tem gerado uma grande quantidade de lodo de esgoto, cujo descarte é feito principalmente em aterros sanitários. Apesar de necessitar de alguns cuidados especiais no seu manuseio, o lodo de esgoto apresenta enorme potencial para uso como fertilizante agrícola. No entanto, a utilização do lodo de esgoto na agricultura pode aumentar os teores de metais pesados no solo, comprometendo a sua utilização sustentável. O abacaxi, pelas suas características, é uma cultura adequada para adubação com lodo de esgoto, conforme Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Considerando a enorme importância dessa cultura para o Brasil, o aproveitamento de lodo de esgoto no cultivo dessa espécie pode se constituir em importante economia de fertilizantes, além da destinação adequada desse resíduo. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar as características agrônômicas do abacaxizeiro e a análise do risco de contaminação da planta e três ordens de solo com metais pesados após a aplicação de lodo de esgoto estabilizado, em casa de vegetação. O estudo foi delineado em blocos casualizados com três repetições, com arranjo em esquema fatorial 7 x 3, correspondendo a sete manejos de adubação: solo sem adubação, adubação química, adubação com lodo de esgoto compostado, com lodo de esgoto vermicompostado, com lodo de esgoto solarizado, com lodo de esgoto secado em secadora e com lodo de esgoto caleado, combinados com três ordens de solos: Cambissolo Háplico, Nitossolo Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo. A adubação com lodo de esgoto promoveu pouca variação na fertilidade do solo, na nutrição da planta e na produção de abacaxi entre o Argissolo, o Cambissolo e o Nitossolo. Além disso, essas variáveis foram, de modo geral, semelhantes entre os diferentes tipos de lodo de esgoto utilizados na adubação e a fertilização química, indicando o potencial de uso desses adubos orgânicos

no cultivo de abacaxi. A adubação com lodo de esgoto compostado, vermicompostado e solarizado proporcionaram maiores teores de Pb, As, Zn na folha D e no fruto do abacaxizeiro.

**Palavras-chave:** *Ananas comosus var. comosus*. Adubação orgânica.  
Biossólido. Compostos de lodo.

## **YIELD AND NUTRITION OF THE PINEAPPLE FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE**

### **Abstract**

The expansion of basic services of sanitation of Brazilian municipalities has generated a large amount of sewage sludge, which discard is made mainly in landfills. Although of it needs some special care in its handling, the sewage sludge presents enormous potential for use as agricultural fertilizer. However, the use of sewage sludge in agriculture can increase the levels of heavy metals in the soil, compromising their sustainable use. The pineapple, due to its characteristics, is a crop suitable for fertilization with sewage sludge, according to CONAMA Resolution nº 375, of August 29, 2006. Considering the enormous importance of this crop for Brazil, the use of sewage sludge in the cultivation of this species can constitute itself in important fertilizer economy, besides the adequate destination of this residue. In view of the above, the main objective of this work was to evaluate the agronomic characteristics of the pineapple and the analysis of the risk of contamination of the plant and three orders of soil with heavy metals after the application of stabilized sewage sludge in greenhouse. The study was delineated in a randomized complete block with three replications, with a 7 x 3 factorial arrangement, corresponding to seven fertilization treatments: soil without fertilization, chemical fertilization, fertilization with composted sludge sewage, fertilization with vermicompost sewage sludge, fertilization with solarized sewage sludge, fertilization as sewage sludge dried in a Bruthus-Albrecht rotary sludge dryer and fertilization with limed sludge sewage, combined with three orders of soils: Cambisol, Nitisol and Acrisol. Fertilization with sewage sludge promoted little variation in soil fertility, plant nutrition and pineapple production between the Acrisol, Cambisol and Nitisol. In addition, these variables were, in general, similar between the different types of sewage sludge used in fertilization and the chemical fertilization, indicating the potential use of these organic fertilizers in pineapple cultivation. The fertilization

with composted, vermicompost and solarized sewage sludge provided higher levels of Pb, As, Zn in leaf D and in pineapple fruit.

**Keywords:** *Ananas comosus* var. *comosus*. Organic fertilization. Biosolids. Sludge compounds.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Valores médios mensais de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa e precipitação durante o período de cultivo do abacaxi ..... 71

Figura 2 – Posição das folhas de abacaxi de acordo com a idade. A - Folha de planta mais velha, F - Folha de planta mais jovem ..... 76

## LISTA DE TABELAS

### **5.1 Artigo 1- Produção e nutrição de abacaxizeiro adubado com NPK e diferentes tipos de lodos de esgotos..... 34**

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do Cambissolo Háplico (CX), Nitossolo Háplico (NX) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) utilizados no experimento 39

Tabela 2 – Concentração de nutrientes nos adubos químicos e lodos de esgoto (LE) utilizados no experimento ..... 41

Tabela 3 – Aporte de nutrientes a partir dos adubos químicos e dos tipos de lodo de esgoto (LE) utilizados no experimento ..... 42

Tabela 4 – Atributos químicos das amostras de solos submetidas aos tipos de adubos e ordens de solos no início do florescimento ..... 45

Tabela 5 – Teores de nutrientes na folha D do abacaxizeiro em resposta à aplicação dos tipos de adubos e ordens de solos ..... 52

Tabela 6 – Conteúdo de nutrientes na folha D do abacaxizeiro em resposta à aplicação dos tipos de adubos e ordens de solos ..... 53

Tabela 7 – Características biométricas da planta e folha D do abacaxizeiro no início do florescimento em resposta à aplicação dos tipos de adubos e ordens de solos ..... 58

Tabela 8 – Variáveis de crescimento da planta e do fruto do abacaxizeiro na colheita em resposta a aplicação dos tipos de adubos e ordens de solos ..... 59

### **5.2 Artigo 2 - Conteúdo de Metais Pesados no Solo e no Abacaxi Adubados com Lodo de Esgoto ..... 66**

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do Cambissolo Háplico (CX), Nitossolo Háplico (NX) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) utilizados no estudo..... 71

Tabela 2 – Características dos adubos químicos e dos tipos de lodo de esgoto (LE) utilizados no estudo<sup>1</sup>..... 74

Tabela 3 – Aporte de metais pesados a partir dos adubos químicos e dos tipos de lodo de esgoto (LE) aplicados no estudo ..... 75

Tabela 4 – Teores de metais pesados totais no solo adubado com fertilizante químico e lodo de esgoto estabilizado de diferentes formas ..... 79

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1	Objetivo Geral .....	15
2.2	Objetivos Específicos .....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
3.1	Cultura do Abacaxizeiro.....	16
3.2	Nutrição mineral do abacaxizeiro .....	17
3.3	Lodo de Esgoto.....	18
3.3.1	Geração e Destinação do Lodo de Esgoto.....	18
3.3.2	Alternativas para a estabilização do lodo de esgoto .....	20
3.3.2.1	Compostagem.....	20
3.3.2.2	Vermicompostagem .....	22
3.3.2.3	Estabilização química (Caleação).....	23
3.3.2.4	Tratamento térmico .....	24
3.3.2.5	Leito de secagem (Solarização) .....	24
3.4	Presença de Metais Pesados no Lodo.....	25
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>ARTIGOS</b> .....	<b>34</b>
5.1	Artigo 1- Produção e nutrição de abacaxizeiro adubado com NPK e diferentes tipos de lodos de esgotos.....	34
	Introdução.....	37
	Material e métodos .....	38
	Resultados e discussão.....	43
	Conclusão.....	61
	Referências .....	62
5.2	Artigo 2 - Conteúdo de Metais Pesados no Solo e no Abacaxi Adubados com Lodo de Esgoto.....	66
	Introdução.....	69
	Material e métodos .....	70

Resultados e discussão.....	77
Conclusões.....	87
Literatura citada.....	87
<b>6 CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por melhores condições de saneamento básico e redução com gastos hospitalares no serviço público de saúde têm elevado os investimentos públicos na construção de estações de tratamento de esgoto no Brasil. O aumento no número de estações de tratamento de esgoto promove ao longo dos anos aumento na produção de lodo, resíduo urbano que pode ser utilizado na agricultura.

A utilização do lodo de esgoto apresenta-se como uma alternativa viável e consiste na incorporação do lodo ao solo, de modo a promover a melhoria das condições químicas e físicas e de desenvolvimento das plantas. O lodo de esgoto é uma importante fonte de matéria orgânica ao solo e de nutrientes para as plantas, podendo complementar os fertilizantes minerais no fornecimento de nutrientes para as plantas e reduzir os custos de produção. No entanto, o uso do lodo na agricultura apresenta riscos potenciais de contaminação do solo e das plantas com patógenos, parasitas, metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas. A contaminação acima dos níveis permitidos pela legislação depende da forma e da frequência da aplicação do lodo de esgoto no solo.

Alguns estudos sugerem que a utilização segura do lodo de esgoto na fertilização de algumas culturas depende da utilização de processos de estabilização deste resíduo, os quais podem promover a redução de contaminantes biológicos e da solubilidade de metais pesados. Dentre os diversos processos de estabilização do lodo de esgoto, destacam-se a compostagem, a vermicompostagem, a solarização, o tratamento térmico e a caleação, sendo que este último pode promover uma intensa redução da disponibilidade de metais pesados presentes no solo, em função da elevação do pH do mesmo minimizando os impactos ambientais negativos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o impacto agronômico e ambiental da utilização agrícola do lodo de esgoto no cultivo do abacaxizeiro.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar a produtividade do abacaxizeiro adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes formas;
- Comparar o efeito da adubação mineral com a adubação com lodo de esgoto no cultivo de abacaxizeiro;
- Avaliar o potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes e a magnitude dos teores de nutrientes no solo e no tecido foliar do abacaxizeiro;
- Avaliar os teores de metais pesados no solo e na planta, comparando-os com os valores de referências estabelecido pelas normas ambientais.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Cultura do Abacaxizeiro

O abacaxizeiro (*Ananas comosus var. comosus L. Merrill.*) é uma monocotiledônea, herbácea e perene de clima tropical, pertencente à família *Bromeliaceae* e ao gênero *Ananas*, originária da América do Sul, sendo que no Brasil é encontrado um dos maiores números de diversidade genética. As folhas do abacaxizeiro desenvolvem-se ao redor do caule, de onde desenvolve um pedúnculo que sustenta a infrutescência, A presença ou não de espinhos nas folhas é uma característica genética.

A constatação dessa frutífera em terras brasileiras coincide com a época do descobrimento do Brasil. É cultivada na maioria das regiões brasileiras, com destaque para as regiões Norte, Nordeste e Sudeste. Dentre os estados, destaca-se como os maiores produtores a Paraíba (19,8%), Minas Gerais (13,9%) e Pará (13,3%), sendo a produção em sua grande maioria destinada ao mercado interno, gerando emprego e renda para os produtores rurais (SANTA-CECÍLIA, *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2011; IBGE, 2017).

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores mundiais de abacaxi, com área plantada estimada em 68.699 hectares e uma produção de 1,78 milhões de toneladas em 2016. Em 2017 a área plantada aumentou cerca de 2,2% (70.259 ha), no entanto contatou-se uma queda de produtividade de 0,6% (1,7 milhões de toneladas) (IBGE, 2017). A produtividade brasileira (25 t/ha a 35 t/ha) é considerada baixa em relação aos principais produtores mundiais (45 t/ha a 55 t/ha), tendo como principais fatores limitantes os problemas fitossanitários e nutricionais da planta (SOUZA *et al.*, 2000).

Segundo Ferreira *et al.* (2011), fatores climáticos como temperatura e luminosidade interferem diretamente no desenvolvimento da cultura. As temperaturas de 22 a 32°C, com amplitude térmica variando de 8 a 14°C são consideradas ideais para o desenvolvimento da planta, enquanto que a luminosidade ideal está na faixa de 2.500 a 3.000 horas. Para uma produtividade satisfatória, a cultura do abacaxizeiro necessita de 1.200 a 1.500

mm anuais (REINHARDT *et al.*, 2000). A deficiência nutricional compromete o desenvolvimento vegetativo da planta, influenciando diretamente na produtividade da cultura.

### 3.2 Nutrição mineral do abacaxizeiro

Para alcançar todo o potencial produtivo do abacaxizeiro é necessária uma aplicação significativa de macro e micronutrientes (FERREIRA *et al.*, 2011). A adubação da cultura do abacaxi deve ser realizada na fase vegetativa do ciclo da planta, antes da indução floral, por meio da aplicação de adubos sólidos ou líquidos. Fase em que ocorre um melhor aproveitamento dos nutrientes aplicados. No entanto, em condições especiais, pode ser feita uma adubação foliar, após a indução floral, quando for constatado casos graves de deficiência nutricional, com intuito de fornecer um aporte adicional de nutriente para o fruto (SOUZA, 2000; MATOS, 2012).

O abacaxizeiro não se desenvolve bem em solos com o pH elevado, sendo a faixa de pH compreendida entre 5 e 6 a mais favorável para o desenvolvimento da maioria das cultivares plantadas no país (SANTA-CECÍLIA *et al.*, 2007).

A exigência nutricional do abacaxizeiro para uma produtividade esperada de 50 t ha<sup>-1</sup>, em solos de baixa fertilidade, é de 9 g de N por planta, 1 a 3 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por planta e 5 a 15 g de K<sub>2</sub>O por planta (SOUZA *et al.*, 1999). Segundo Ferreira *et al.* (2011) a recomendação da adubação com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O para a cultura do abacaxizeiro é realizada conforme disponibilidade de elementos presentes no solo, sendo recomendados de 2 a 4 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por planta, 6 a 18 g de K<sub>2</sub>O por planta e, no caso de N, recomenda-se aplicar de 7 a 12 g de N por planta, dividida em quatro aplicações. De acordo com Souza (2000), antes de definir a adubação do abacaxizeiro, deve-se levar em conta, além da exigência nutricional da cultura e a capacidade de suprimento de nutrientes pelo solo, fatores como pacote tecnológico empregado, finalidade e destino da produção e retorno financeiro, sendo que a mesma varia de 6 a 10 g de N por planta, 1 a 4 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por planta e 4 a 15 g de K<sub>2</sub>O por planta.

A relação potássio/nitrogênio na adubação da cultura do abacaxizeiro influencia a relação SST/acidez e dá maior consistência a polpa, modificando a qualidade do fruto e sendo utilizada para alterar as características do fruto em função de sua finalidade e destino da produção. Quando a produção é destinada à exportação ou a mercados distantes das áreas de produção, recomenda-se a adubação com a relação  $K_2O/N$  de 1,5 a 2,5, no entanto, se a produção for destinada a mercados menos exigentes ou a mercados consumidores próximos da produção, pode-se utilizar a relação  $K_2O/N$  igual ou menor do que 1,0 (SOUZA, 2000).

O lodo de esgoto é um material rico em macro e micronutrientes, com destaque para os teores elevados de N, sendo este elemento utilizado para determinar a dose de lodo a ser aplicada na adubação das culturas (BRASIL, 2006). A aplicação elevada de N na cultura do abacaxizeiro é necessária para se alcançar uma alta produtividade (CAETANO *et al.*, 2013; CARDOSO *et al.*, 2013). De acordo com Mota *et al.* (2018) pode-se utilizar a adubação com lodo de esgoto como alternativa eficiente para redução do custo monetário com a adubação mineral nitrogenada na cultura do abacaxizeiro.

### **3.3 Lodo de Esgoto**

#### **3.3.1 Geração e Destinação do Lodo de Esgoto**

O lodo de esgoto é um resíduo gerado pelo tratamento do esgoto doméstico, agroindustrial e industrial nas estações de tratamento de esgotos (ETEs). A crescente implantação das estações de tratamento de esgotos tem ampliado muito o volume de lodo gerado, causando grande preocupação com relação a sua disposição final (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; LEMAINSKI; SILVA, 2006).

Dentre as formas de destinação final do lodo, destacam-se o aterro sanitário, a incineração e a aplicação no solo. O aterro sanitário é um método onde os resíduos são depositados conforme os princípios de engenharia, para que ocupem a menor área e volume permissível (ABNT, 1985). Segundo Lobo

*et al.* (2013), apesar de ter um elevado custo operacional, o aterro sanitário é o método mais utilizado no Brasil para disposição final do lodo de esgoto.

O processo de incineração utiliza a decomposição térmica via oxidação, com o objetivo de reduzir o volume e a sua toxicidade ou mesmo eliminá-la completamente em alguns casos (ROCCA, 1993). De acordo com Fernandes *et al.* (2001), os métodos de incineração e disposição em aterros sanitários só deveriam ser utilizados quando não tiver áreas com solos apropriados próximo da estação de tratamento ou quando o material apresentar contaminantes. Borges *et al.* (2009) destacam que a utilização do lodo de esgoto na agricultura tem sido incentivada pelas agências ambientais, desde que este material passe por processo de higienização, por meio de processos químicos, físicos ou biológicos.

A utilização agrícola do lodo de esgoto apresenta-se como a alternativa viável do ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que contribui para a melhoria física e química do solo (GOMES *et al.*, 2006; MARQUES *et al.*, 2007; BARBOSA *et al.*, 2007; TRANNIN *et al.*, 2008; CHIARADIA *et al.*, 2009), possibilitando a sua utilização como fertilizante na recuperação de áreas degradadas, na silvicultura e na agricultura.

De acordo com Lobo *et al.* (2013) a adubação de culturas de interesse agrônomo com lodo de esgoto pode promover aumento na produção de grãos e de matéria seca das plantas. No Brasil, o lodo de esgoto tem proporcionado aumento de produtividade em experimentos com cana-de-açúcar (MARQUES *et al.*, 2007; CHIBA *et al.*, 2008), eucalipto (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000), feijão (NASCIMENTO *et al.*, 2004; NOGUEIRA *et al.*, 2006), milho (LEMAINSKI; SILVA 2006; NASCIMENTO *et al.*, 2004; NOGUEIRA *et al.*, 2006), soja (VIEIRA *et al.*, 2005; LEMANSKI; SILVA, 2006b), mamona (NASCIMENTO *et al.*, 2011; CAVALCANTE *et al.*, 2015) e girassol (LOBO *et al.*, 2013). Apresenta, porém, riscos potenciais de contaminação do solo e das plantas com patógenos e metais pesados o que pode limitar a sua utilização como adubo (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; GOMES *et al.*, 2006; NOGUEIRA *et al.*, 2007, OLIVEIRA *et al.*, 2009; NASCIMENTO *et al.*, 2014a; b).

Os metais pesados estão presentes no lodo de esgoto, porém, não há resultados conclusivos sobre a efetiva contaminação do solo decorrente do uso agrícola desse resíduo. No entanto, em longo prazo, após aplicações sucessivas de lodo de esgoto, o aumento nos teores de metais no solo pode tornar-se uma preocupação justificada, pois, se não houver seu controle efetivo, pode acarretar problemas ao meio ambiente (GOMES *et al.*, 2006; NASCIMENTO *et al.*, 2004). Isto ocorre em razão das concentrações de metais no lodo serem mais elevadas do que as naturalmente encontradas em solos (SILVA *et al.*, 2006).

Dessa forma, visando o uso seguro na agricultura brasileira, foram definidos critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, por meio da Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006.

De acordo com Nascimento *et al.* (2014a) a utilização de processos de estabilização no lodo de esgoto pode promover a redução dos contaminantes biológicos, além da redução da solubilidade dos metais pesados, sendo que, dentre os diversos métodos de estabilização, destacam-se a solarização, a compostagem, a vermicompostagem e a caleação.

### **3.3.2 Alternativas para a estabilização do lodo de esgoto**

#### **3.3.2.1 Compostagem**

A compostagem é um processo onde os resíduos de origem vegetal e, ou, animal com alta relação C/N são transformados em produtos com menor relação C/N, pela ação de microrganismos. Nesse processo, os resíduos orgânicos são degradados por meio de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras (LIMA, 1995). Os parâmetros envolvidos no processo são aeração, temperatura, umidade, relação C/N e tamanho das partículas (PEREIRA NETO, 1996). De acordo com Fernandes (2000), a temperatura é um dos processos mais importantes na compostagem, uma vez que está

diretamente envolvida na biodegradação dos resíduos e na eliminação de patógenos.

O processo de compostagem pode ser dividido em duas fases distintas, sendo que, na primeira, ocorre a degradação ativa do material utilizado, enquanto que, na segunda etapa do processo, ocorre a maturação (humificação) do material orgânico (MATOS *et al.*, 1998).

Costa *et al.* (2000) relatam que a compostagem de lodo primário e resíduos de capim meloso, capim napier verde, capim napier seco, palha de café e esterco de galinha, na proporção de 50 kg de lodo para cada m<sup>3</sup> da mistura de resíduos vegetais, produziu um excelente adubo orgânico. A redução da pilha de compostagem em função da perda de carbono pelo processo de respiração microbiana promove o aumento na concentração de nutrientes no composto, à medida que o volume da leira diminui (COSTA *et al.*, 2009).

Nogueira *et al.* (2006) estudando a aplicação de composto produzido com a mistura de lodo de esgoto e de biomassa de *Ipomoea carnea* spp., constataram não haver diferença de produção de milho e feijão consorciados quando comparada à adubação mineral. Aisse *et al.* (1999) relatam que a compostagem do lodo de esgoto abre perspectivas para o processamento integrado de outros resíduos urbanos, tais como, podas de árvore, serragem, madeira e restos de hortaliças, pois participam do processo como fonte de carbono e material estruturante e o lodo como fonte de nitrogênio, fósforo e outros nutrientes. Os autores relatam um experimento, realizado em Londrina/PR, em que foram utilizados resíduos de podas de árvores triturados e lodo de esgoto proveniente de um reator anaeróbio, na proporção de 43,5% e 56,5%, respectivamente. Segundo os autores, com a compostagem, a inativação de patógenos foi elevada, tornando o lodo apropriado para a reciclagem agrícola.

### 3.3.2.2 Vermicompostagem

O vermicomposto é obtido por meio do processo de estabilização e decomposição do composto orgânico pela ação de minhocas, que excretam o material orgânico ingerido na forma de coprólitos, favorecendo a absorção dos nutrientes pelas plantas. As minhocas promovem um processo mecânico e biológico, onde a matéria orgânica é triturada ao passar pelo seu trato digestivo, além de revolver e aerar o composto (DORES-SILVA *et al.*, 2011). Segundo Correa *et al.* (2007) a vermicompostagem promove a umidificação da matéria orgânica e o controle dos patógenos, por meio da ação detritívora das minhocas e da microflora que vive em seu trato digestivo.

De acordo com Godoy *et al.* (2009), no Brasil, apenas a gigante africana (*Eudrilus eugeniae*) e a vermelha da califórnia (*Eisenia foetida*), são as duas espécies de minhocas criadas em cativeiro para a produção de vermicomposto. Segundo Cunha *et al.* (2017) a *E. foetida* produz um vermicomposto com teores de nutrientes, matéria orgânica e pH com adequadas condições para uso como fertilizante agrícola.

A vermicompostagem pode ser utilizada como biotecnologia para a destinação final do lodo de curtume, uma vez que o seu produto, no geral, tem relação C/N, cromo, nitrogênio e pH adequados às exigências técnicas da Instrução Normativa do MAPA e Resolução do CONAMA, possibilitando a sua utilização como fertilizante na agricultura (CUNHA *et al.*, 2015). Segundo Malafaia *et al.* (2015) a vermicompostagem de lodo de curtume, gera um produto estável, com relação C/N baixa, que pode ser utilizado com composto orgânico na agricultura.

Garg *et al.* (2006) verificaram aumentos nos teores de N, P, K e condutividade elétrica do substrato e redução no pH, carbono orgânico total e relação C/N, ao avaliarem as alterações físicas e químicas em diversos resíduos submetidos ao processo de vermicompostagem.

A eficácia da utilização do processo de vermicompostagem como forma de estabilização de resíduos, vem sendo demonstrada por diversos trabalhos

científicos, resultando em menores riscos de contaminação por patógenos (NAIR *et al.*, 2006; RODRÍGUEZ-CANCHÉ *et al.*, 2010).

Promovendo a redução dos teores de Mn, Zn, Pb e Cu (KHWAIRAKPAM; BHARGAVA, 2009). No entanto Gupta; Garg (2008) relatam que a vermicompostagem pode aumentar os teores de metais pesados neste resíduo. O aumento ou a redução dos teores de metais pesados no lodo de esgoto, por meio da utilização do processo de vermicompostagem, é influenciado pelo tempo de estabilização deste resíduo, uma vez que, a partir da décima quinta semana, as minhocas começam a excretar os metais pesado, o que contribui para o aumento nos teores destes elementos no vermicomposto (AZIZI *et al.*, 2013).

### **3.3.2.3 Estabilização química (Caleação)**

O processo de estabilização química ou caleação consiste em adicionar a cal virgem ao lodo de esgoto com o intuito de eliminar os patógenos presentes neste resíduo por meio da elevação da temperatura e do pH. A elevação do pH, além de eliminar os microrganismos patogênicos, diminui a solubilidade de metais pesados (FERNANDES, 2000; FIA *et al.*, 2005; NOGUEIRA *et al.*, 2007).

Segundo Pegorini *et al.* (2003) o processo de higienização do lodo de esgoto por meio da caleação promove a redução na concentração de coliformes fecais abaixo dos limites de detecção. Martins *et al.* (2003) constataram que a caleação tem mostrado ser muito eficiente no controle de patógenos, além de promover a redução da absorção de metais pesados pelas plantas.

Por outro lado, Chueiri *et al.* (2007) verificaram que os parâmetros morfológicos e a matéria seca das plantas de trigo foram negativamente afetados pela aplicação de lodo de esgoto alcalinizado, uma vez que elevou o pH do solo acima da neutralidade e reduziu a disponibilidade de manganês. Segundo Fernandes e Souza (2001) a adubação com lodo de esgoto caleado pode favorecer as perdas de nitrogênio, pela volatilização da amônia, e a

insolubilização do fósforo (FERNANDES; SOUZA, 2001; CARNEIRO *et al.*, 2005; FIA *et al.*, 2005). Dores-Silva *et al.* (2011) também afirmam que a adubação do solo com biofósforo alcalinizado, pode ocasionar mudanças nas características químicas, elevando o pH a níveis superiores a 7,5, prejudicando absorção de nutrientes, o desenvolvimento e a produtividades das culturas.

#### **3.3.2.4 Tratamento térmico**

Consiste no tratamento onde o lodo de esgoto no estado pastoso é submetido a elevadas temperaturas, visando a perda de umidade e eliminação de patógenos, com conseqüente redução do volume e do custo de transporte.

De acordo com Pedrosa *et al.* (2010) a utilização do tratamento térmico no lodo de esgoto promove a redução de patógenos, bactérias, vírus e ovos de helmintos a níveis aceitáveis, sendo que a exposição do lodo a temperaturas de 58 °C durante aproximados 32 minutos promove a inativação térmica de 99,9 % de ovos viáveis de patógenos nos biofósforos.

#### **3.3.2.5 Leito de secagem (Solarização)**

O leito de secagem é uma das alternativas mais utilizadas para desidratação do lodo de esgoto, onde a evaporação é um dos mecanismos mais importantes para a remoção de umidade, sendo influenciado principalmente pela temperatura ambiente, material utilizado e pela umidade relativa do ar (BORGES *et al.*, 2009).

O processo de desidratação do lodo promove o aumento na concentração de sólidos totais por meio da redução da umidade, com conseqüente redução do volume do lodo e do custo de transporte (BORGES *et al.*, 2009). De acordo com Pedrosa *et al.* (2010), no período de 10 a 60 dias após a disposição do lodo de esgoto no leito de secagem, verifica-se um aumento na concentração de sólidos no lodo de esgoto de aproximadamente 40%.

De acordo com Borges *et al.* (2009) o lodo tratado termicamente perde mais água por evaporação do que por drenagem, sendo o processo onde o tempo de exposição à radiação solar e a variação da temperatura contribui para a eliminação ou inativação de microrganismos patogênicos.

Alcântara *et al.* (2003) constataram uma maior produtividade na cultura do algodoeiro, quando adubado com lodo de esgoto solarizado em comparação a adubação com lodo de esgoto caleado. De acordo com estes autores, o processo de estabilização do lodo de esgoto por meio da solarização preserva os teores de matéria orgânica e de nutrientes presentes neste resíduo, ao contrário do processo de caleação, onde ocorrem perdas de nitrogênio pela volatilização da amônia e precipitação de alguns micronutrientes em função da elevação do pH do solo com a aplicação do lodo caleado.

### **3.4 Presença de Metais Pesados no Lodo**

Os metais fazem parte de um grupo heterogêneo de elementos químicos, que apresentam características como alta condutividade térmica, elétrica, brilho característico, massa específica maior que 5 g cm<sup>-3</sup>, podendo ser encontrar sob diferentes formas no solo, ou seja: dissolvido, trocável, ligados a estruturas do solo (adsorção específica) e insolúvel (formando precipitados) (CARDOSO *et al.*, 2018)

A utilização do lodo de esgoto na fertilização de solos agrícolas destaca-se pela melhoria das propriedades físicas e químicas do solo e pela viabilização da reciclagem de nutrientes (MARQUES *et al.*, 2002; MELFI; MONTES, 2002; MELO *et al.*, 2002; TSUTIYA *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2005), promovendo aumento nos teores de matéria orgânica e de elementos essenciais às plantas e contribuindo para a redução da demanda por fertilizantes minerais e conseqüentemente do custo de produção (SILVA *et al.*, 2002; LEMAINSKI; SILVA, 2006a). No entanto, pode apresentar riscos potenciais de contaminação do solo e das plantas com metais pesados, o que pode comprometer a sua utilização (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; GOMES *et al.*, 2006; NOGUEIRA *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009).

A presença de metais pesados no lodo de esgoto pode contribuir para uma elevação nos teores destes elementos no solo após sucessivas aplicações deste resíduo (NASCIMENTO *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2006). Isto ocorre em função dos teores de metais presentes no lodo de esgoto serem mais elevados do que os naturalmente encontrados no solo (SILVA *et al.*, 2006). As concentrações desses metais são influenciadas por diversos fatores, como a origem do lodo de esgoto e o processo de tratamento do esgoto.

A adubação com lodo de esgoto pode contribuir para o aumento nos teores de chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu) e zinco (Zn) no solo, além de organismos patogênicos e compostos orgânicos sintéticos (NASCIMENTO *et al.*, 2014). De acordo com Galdos *et al.* (2004) e Silva *et al.* (2006) a adubação com lodo de esgoto na cultura do milho favoreceu o aumento nos teores de Cu, Ni, Pb e Zn no solo em função da aplicação deste resíduo. Resultados semelhantes foram encontrados por Marques *et al.* (2007), que constataram uma elevação nos teores de metais pesados no solo em cultivo de cana-de-açúcar adubado com lodo de esgoto.

Diversos trabalhos têm demonstrado que a fertilização do solo com lodo de esgoto, aumenta os teores de metais pesados, no entanto, os valores ainda permanecem dentro dos níveis estabelecidos pela legislação (MARTINS *et al.*, 2003; RANGEL *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2006; NOGUEIRA *et al.*, 2007).

Segundo Nascimento *et al.* (2014) para uma utilização segura do lodo de esgoto é necessário submeter este resíduo a processos de estabilização, o qual podem ser feitos utilizando diversos métodos, como compostagem, vermicompostagem, solarização e caleação. Estes autores relatam que nos processos de vermicompostagem e compostagem ocorrem a quebra das moléculas orgânicas, tornando os elementos químicos que constituem estas moléculas mais fitodisponíveis.

#### 4 REFERÊNCIAS

AISSE, M.M.; FERNADES, F.; SILVA, S.M.C.P. Aspectos tecnológicos e de processos. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A.I.; FERNADES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar, Finep, p.51–119, 1999.

ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Nitratos e metais pesados no solo após a aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, v.58, p.59-72, 2000.

AZIZI, A. B.; LIM, M. P. M.; NOOR, Z. M.; ABDULLAH, N. Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising *Lumbricus rubellus*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.90, p.13-20, 2013.

BARBOSA, G.M.de C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.B.; FONSECA, I.C.B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.31, p.601-605, 2007.

BIONDI, C.M.; NASCIMENTO, C.W.A. Acúmulo de nitrogênio e produção de matéria seca de plantas em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, v.18, p.123-128, 2005.

BORGES, E.S.M.; GODINHO, V.M.; BEJAR, D.O.; CHERNICHARO, C.A.de L. Tratamento térmico de lodo anaeróbio com utilização do biogás gerado em reatores UASB: avaliação da auto-sustentabilidade do sistema e do efeito sobre a higienização e a desidratação do lodo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.14, n.3, p.337-346, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Brasília, 2006.

CAETANO, L. C. S.; VENTURA, J. A.; COSTA, A. de F. S. da; GUARÇONI, R. C. Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi 'vitória'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 3, p. 883-890, 2013.

CARDOSO, M. M.; PEGORARO, R. F.; MAIA, V. M.; KONDO, M. K.; FERNANDES, L. A. Crescimento do abacaxizeiro 'vitória' irrigado sob diferentes densidades populacionais, fontes e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n.3, p.769-781, 2013

Cardoso, P. H. S.; Sousa, I. de P.; Zuba Junio, G. R.; Gonçalves, P. W. B.; Sampaio, R. A. As, Cu and Zn concentration in sanitary sewage sludge

fertilized soil and in crambe and corn grains. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.38, n.3, p.426-433, 2018.

CARNEIRO, C.; SOTTOMAIOR, A.P.; ANDREOLI, C.V. Dinâmica de nitrogênio em lodo de esgoto sob condições de estocagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n. 6, p.987-994, 2005.

CHIARADIA, J.J. *et al.* Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 701-709, 2009.

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E.; OLIVEIRA, F.C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. I – Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.643-652, 2008.

CHUEIRI, W.A.; SERRAT, B.M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p.502–508, 2007.

CORRÊA, R.S.; FONSECA, Y.M.F.; CORRÊA, A.S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.420–426, 2007.

COSTA, A.N.; RODRIGUES, C.; TELES, C.R.; KROHLING, B. Reciclagem Agrícola do Lodo de Lagoas de estabilização. *In*: GONÇALVES, R.F. (Coord.). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Rio de Janeiro: ABES, p. 69-76, 2000.

COSTA, M.S.S.M.; COSTA, L.A.M.; DECARLI, L.D.; PELÁ, A.; SILVA, C.J.; MATTER, U.F.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n. 1, p.100–107, 2009.

CUNHA, A.H.N.; ARAÚJO, C.S.T.; SILVA, S. M. da C.; VIEIRA, J.A.; BRASIL, E.P.F.; FERREIRA, R.B.; MATOS, T.N.de. Vermicompostagem de diferentes tipos de lodo de curtume associado a cinzas. **Revista ESPACIOS**. v. 38, n. 16, p. 28, 2017.

CUNHA, A.H.N.; FERNANDES, E.P.; ARAÚJO, F. G. MALAFAIA, G.; CORREIO, J.A.V. Vermicompostagem de lodo de curtume associado a diferentes substratos. **Multi-Science Journal**. v.1, n.3, p.31-39, 2015.

DORES-SILVA, P.R.; LANDGRAF, M.D.; REZENDE, M.O.O. Acompanhamento químico da vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico. **Química Nova**, v. 34, n. 6, p. 956-961, 2011.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. eds. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 3. p.45-68.

FERNANDES, F.; LOPES, D.D.; ANDREOLI, C.V., SILVA, S.M.C.P. da. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: ANDREOLI, C.V.; CLEVERSON, V.A.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos**: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p. 299-318.

FERNANDES, F.; SOUZA, S.G. Estabilização de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V. **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001. cap. 2. p. 29-55.

FERREIRA, E. A. *et al.* Abacaxi. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 264, p. 7-16, out. 2011.

FIA, R.; MATOS, A.T.; AGUIRRE, C.I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caledado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.13, n. 4, p.287-299, 2005.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 569-577, maio/jun. 2004.

GARG, P.; GUPTA, A.; SATYA, S. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: a comparative study. **Bioresource Technology**, v.97, n3, p. 391-395, 2006.

GODOY, J.R.R.; MEDEIROS, C.M.; SANTANA, G.P. Vermicompostagem de biossólido obtido de fossas sanitárias, grama e pó de serragem utilizando *Eisenia foetida* (Savigny, 1826). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n.5, p. 648-653, 2009.

GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M.; ACCIOLY, A.M.de A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. **Revista Ciência Rural**, v.36, p.1689-1695, 2006.

GUPTA, R.; GARG, V. K. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 3, p. 1023–1030, maio 2008.

KHWAIRAKPAM, M.; BHARGAVA, R. Vermitechnology for sewage sludge recycling. **Journal of Hazardous Materials**, v.161, n 2/3, p. 948–954, jan. 2009.

LEMANSKI, J.; SILVA, J.E. da. Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.10, p.1477-1484, 2006b.

LEMANSKI, J.; SILVA, J.E. da. Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.30 n.4, p. 741-750, 2006a.

LIMA, L.M. Q. **LIXO: tratamento e biorremediação**. 3. ed. São Paulo: Hemus, 1995. 265p.

LOBO, T.F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L.T.; KUMMER, A.C.B. Efeito do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.504-509, 2013.

MALAFAIA, G.; JORDÃO, C. R.; ARAÚJO, F. G. de; LEANDRO, W. M.; RODRIGUES, A. S. de L. Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando Eisenia fétida. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v.20, n.4, p. 709-716, 2015.

MARQUES, M.O.; NOGUEIRA, T.A.R.; FONSECA, I.M.; MARQUES, T.A. Teores de Cr, Ni, Pb e Zn em Argissolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.1, p.133-143, 2007.

MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.27, p.563-574, 2003.

MATOS, A.P. **Produção Integrada de Fruteiras Tropicais**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2012.

MATOS, A.T.; VIDIGAL, S.M.; SEDIYAMA, M.A.; GARCIA, N.C.P.C.; RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 199-203, 1998.

MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Impacto dos biossólidos sobre o solo. *In*: **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. p.243-272.

MELO, W. J. de; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. de. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. *In: Biossólidos na agricultura*. 2. ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. p.289-363.

MOTA, M. F. C.; PEGORARO, R. F.; SILVÂNIO R. DOS S.; MAIA, V. M.; SAMPAIO, R. A.; KONDO, M. K. Contamination of soil and pineapple fruits under fertilization with sewage sludge. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.5, p.320-325, 2018.

NAIR, J.; SEKIOZOIC V.; ANDA M. Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. **Bioresource Technology**, v.97, n. 16, p.2091–2095, 2006.

NASCIMENTO, A.L.; SAMPAIO, R.A.; BRANDÃO, D.S.; ZUBA JUNIO, G.R.; FERNANDES, L.A. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, v.24, p.145-151, 2011.

NASCIMENTO, A.L.; SAMPAIO, R.A.; ZUBA JUNIO, G.R.; FERNANDES, L.A.; CRUZ, S.F.; CARNEIRO, J.P.; BARBOSA, C.F.; LIMA, N.N. de. Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol. **Bioscience Journal**, v.30, p.146-153, 2014b.

NASCIMENTO, A.L.; SAMPAIO, RS.; ZUBA JUNIO, G.R.; CARNEIRO, J.P.; FERNANDES, L.A.; RODRIGUES, M.N. Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.294–300, 2014a.

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.385-392, 2004.

NOGUEIRA, T.A.R.; SAMPAIO, R.A., FERREIRA, C.S.; FONSECA, I.M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.6, n.1, p.122-131, 2006.

NOGUEIRA, T.A.R.; SAMPAIO, R.A.; FONSECA, I.; FERREIRA, C. S.; SANTOS, S.E.; FERREIRA, L.C.; GOMES, E.; FERNANDES, LA. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.331-338, 2007.

OLIVEIRA, J.P.B. de; LOPES, J. C.; ALEXANDRE, R.S.; JASPER, A.P. dos S.; SANTOS, L.N.S.; OLIVEIRA, L.B. de. Concentração de metais pesados em plantas de maracujá doce cultivadas em dois solos tratados com lodo de

esgoto. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.6, p. 217-223, 2009.

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. 2010.

PEGORINI, E.S.; ANDREOLI, C.V.; SOUZA, M.L. de P.; FERREIRA, A. Qualidade do Lodo de esgoto utilizado na Reciclagem Agrícola na Região Metropolitana de Curitiba – PR. *In*: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIODISSÓLIDOS, 1., 2003, São Paulo. **Anais** [...] São Paulo, jun. 2003.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. R. G.; DYNIA, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 15-23, jan./fev. 2004.

REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. S. Exigências edafoclimáticas. *In*: REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. S. (Org.). **Abacaxi Produção**: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência Tecnológica, 2000. (Frutas do Brasil, 7). p. 9.

ROCCA, A.C.C. **Resíduos sólidos industriais**. 2. ed. São Paulo: Cetesb, 1993. 234p.

RODRÍGUEZ-CANCHÉ, L.G.; VIGUEROS L. C.; MALDONADO-MONTIEL, T.; MARTÍNEZ-SANMIGUEL, M. Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting using *Eisenia fetida*. **Bioresource Technology**, v.101, n.10, p. 3548–3553, 2010.

SANTA-CECILIA, L. V. C.; CHALFOUN, S. M.; SILVA, J. R. da; SANTOS, W. V. dos; CARVALHO, A. M. de; GUIMARÃES, J. C.; ALCÂNTARA, E. N. de; ABREU, C. M. P. de. Abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill). *In*: PAULA JÚNIOR, T. J. de; VENZON, M. (Coord.). **101 Culturas**: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. p. 29-36.

SILVA, C.A.; RANGEL, O.J.P.; DYNIA, J.F.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C.V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.30, p.353-364, 2006.

SILVA, J. E.; RESCK D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biofósforo produzido no Distrito Federal: I. Efeito na produção de milho e na

adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 487-495, 2002.

SOUZA, L. F. da S. Adubação. In: REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. S. (Org.). **Abacaxi Produção**: Aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência Tecnológica, 2000. (Frutas do Brasil, 7). p. 30-34.

SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. S.; REINHARDT, D. H. Introdução. In: REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. S. (Org.). **Abacaxi Produção**: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência Tecnológica, 2000. (Frutas do Brasil, 7). p. 9.

SOUZA, M. de; GUIMARÃES, P. T. G.; CARVALHO, J. G. de; FRAGOAS, J. C. ABACAXIZEIRO. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª Aproximação. Viçosa: UFV; Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 216.

TRANNIN, I.C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 223–230. 2008.

VIEIRA, R.F.; TANAKA, R.T.; TSAI, S.M.; PÉREZ, D.V.; SILVA, C.M.M. de S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.9, p.919-926, 2005.

## **5 ARTIGOS**

### **5.1 Artigo 1- Produção e nutrição de abacaxizeiro adubado com NPK e diferentes tipos de lodos de esgotos**

Este artigo foi elaborado conforme normas da Chemosphere.

## **Produção e nutrição de abacaxizeiro adubado com NPK e diferentes tipos de lodos de esgotos**

**Resumo:** O lodo de esgoto apresenta enorme potencial para uso como fertilizante agrícola, por conter nitrogênio e outros elementos essenciais para o cultivo de espécies vegetais, como o abacaxizeiro. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto agrônômico do uso do lodo de esgoto como fertilizante no cultivo do abacaxizeiro. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 7 x 3, sendo: solo sem adubação, adubação química, adubação com lodo de esgoto compostado, com lodo de esgoto vermicompostado, com lodo de esgoto solarizado, com lodo de esgoto secado em secadora e com lodo de esgoto caleado, combinados com três ordens de solos: Cambissolo Háplico, Nitossolo Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo. A adubação com lodo de esgoto promoveu pouca variação na fertilidade do solo, na nutrição da planta e na produção de abacaxi entre o Argissolo, o Cambissolo e o Nitossolo. Além disso, a fertilidade do solo, a nutrição e a produção do abacaxizeiro foram, de modo geral, semelhantes entre os diferentes tipos de lodo de esgoto utilizados na adubação e a fertilização química, indicando o potencial de uso desses adubos orgânicos na fertilização dessa cultura.

**Palavras-chave:** *Ananas comosus var. comosus*, adubação orgânica, biossólido, resíduos sólidos.

## **Production and nutrition of pineapple fertilized with NPK and different types of sewage sludge**

**Abstract:** Sewage sludge presents enormous potential for use as an agricultural fertilizer because it contains nitrogen and other essential elements for the cultivation of plant species, such as pineapple. In view of the above, the present study had as objective to evaluate the agronomic impact of the use of sewage sludge as fertilizer in the cultivation of the pineapple. The experimental design used was in a randomized block design with three replicates. The treatments were distributed in a 7 x 3 factorial scheme, being: soil without fertilization, chemical fertilization, fertilization with composted sludge sewage, fertilization with vermicompost sewage sludge, fertilization with solarized sewage sludge, fertilization as sewage sludge dried in a Bruthus-Albrecht rotary sludge dryer and fertilization with limed sludge sewage, combined with three orders of soils: Cambisol, Nitisol and Acrisol. Fertilization with sewage sludge promoted little variation in soil fertility, in plant nutrition and pineapple production among the Acrisol, Cambisol and Nitisol. In addition, the soil fertility, nutrition and pineapple production were in a general way similar between the different types of sewage sludge used in fertilization and the chemical fertilization, indicating the potential use of these organic fertilizers in the fertilization of this crop.

**Keywords:** *Ananas comosus var. comosus*, organic fertilization, biosolids, solid waste.

## Introdução

A utilização do lodo de esgoto na agricultura pode ser considerada uma alternativa economicamente viável e ambientalmente adequada, uma vez que pode substituir a adubação química ou mesmo complementá-la, reduzindo os custos com fertilizantes minerais, bem como, reciclando de forma segura os resíduos sólidos urbanos (Barbosa *et al.*, 2007).

No Brasil, estudos sobre a utilização do lodo de esgoto como fonte de adubação para diversas culturas têm apresentado bons resultados em experimentos com cana-de-açúcar (Chiba *et al.*, 2008), feijão (Nascimento *et al.*, 2004), milho (Nascimento *et al.*, 2004; Zuba Junio *et al.*, 2013), mamona (Nascimento *et al.*, 2011; Zuba Junio *et al.*, 2011; Cavalcante *et al.*, 2015); girassol (Nascimento *et al.*, 2014a; 2014b; Albuquerque *et al.*, 2015), pinhão manso (Prates *et al.*, 2011), dentre outros.

Além do efeito imediato de sua aplicação, o lodo de esgoto pode apresentar efeito residual da adubação em cultivos sucessivos e promover a redução do custo de produção para os agricultores (Costa *et al.*, 2009). Contudo, a presença de metais pesados, substâncias orgânicas persistentes e de patógenos podem comprometer a utilização do lodo de esgoto e de seus derivados como fonte de adubação para as culturas agrícolas (Nascimento *et al.*, 2014a; Nascimento *et al.*, 2015). No entanto, a utilização de processos de estabilização do lodo pode diminuir a predisponibilidade de metais e patógenos.

A compostagem é um processo onde os resíduos de origem vegetal e, ou, animal com alta relação C/N são transformados em produtos com menor relação C/N, pela ação de microrganismos, por meio de processos físicos, químicos e biológicos (Lima, 1995). Por outro lado, a vermicompostagem é um processo mecânico e biológico, onde a matéria orgânica é triturada ao passar pelo trato digestivo das minhocas, que excretam o material orgânico ingerido na forma de coprólitos, favorecendo a absorção dos nutrientes pelas plantas, além de promover o controle dos patógenos, por meio da ação detritívora e da microflora que vive em seu trato digestivo (Dores-Silva *et al.*, 2011).

O processo de estabilização química ou caleação consiste em adicionar a cal virgem ao lodo de esgoto com o intuito de eliminar os patógenos presentes neste resíduo por meio da elevação da temperatura e do pH, além de diminuir a solubilidade de metais pesados (Nogueira *et al.*, 2007).

No tratamento térmico o lodo de esgoto no estado pastoso é submetido a elevadas temperaturas, visando a perda de umidade, com consequente redução do volume e a redução de patógenos, bactérias, vírus e ovos de helmintos a níveis aceitáveis (Pedroza *et al.*, 2010), enquanto, na solarização, ocorre um processo de desidratação, onde o lodo de esgoto com elevados teores de umidade é submetido a exposição direta da radiação solar, com intuito de promover o aumento na concentração de sólidos totais por meio da redução da umidade, com consequente redução do volume e redução de patógenos pela ação de raios ultravioletas, sendo influenciado principalmente pela temperatura ambiente e pela umidade relativa do ar (Borges *et al.*, 2009).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto estabilizado de diferentes formas sobre o crescimento, a produtividade e os teores de nutrientes no solo e na folha de abacaxizeiro.

## **Material e métodos**

O experimento foi realizado em casa de vegetação do ICA/UFMG em Montes Claros – MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, no período novembro de 2014 a setembro de 2016, cultivando-se o abacaxi variedade Pérola, em três ordens de solos, cujos atributos químicos e físicos das camadas de 0-20 cm de profundidade são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do Cambissolo Háplico (CX), Nitossolo Háplico (NX) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) utilizados no experimento

Solo	pH-H <sub>2</sub> O	MO	CO	P-rem	N	P-res	K		
		-- dag kg <sup>-1</sup> ---		-- mg L <sup>-1</sup> --	g dm <sup>-3</sup>	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
CX	6,8	4,06	2,36	39,00	6,02	19,65	396,50		
NX	5,8	5,19	3,81	39,80	6,46	11,43	324,00		
PVA	6,4	6,56	3,81	43,32	6,04	11,27	154,00		
	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu	
	--- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
CX	5,60	1,55	16,50	0,60	4,30	42,5	45,9	1,00	
NX	4,65	1,15	7,90	0,40	0,80	94,8	13,8	0,90	
PVA	8,30	2,25	3,80	0,40	1,30	22,0	41,5	0,40	
	Al	H+Al	SB	t	T	V %	Areia	Silte	Argila
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						----- dag kg <sup>-1</sup> -----		
CX	0,0	1,35	8,17	8,78	9,52	86	25,03	37,63	37,34
NX	0,0	2,09	6,63	6,63	8,72	76	30,35	27,13	42,52
PVA	0,0	1,87	10,94	10,94	12,81	86	36,42	24,23	39,35

Notas: As amostras de solos foram coletadas a 0-20 cm de profundidade; Os atributos químicos e físicos foram determinados conforme metodologias da EMBRAPA (1997).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 7 x 3, sendo: solo sem adubação, adubação química (NPK), adubação com lodo de esgoto compostado, adubação com lodo de esgoto vermicompostado, adubação com lodo de esgoto solarizado, adubação com lodo de esgoto secado em estufa desidratadora (Secador rotativo de lodos da marca Bruthus/Albrecht) e adubação com lodo de esgoto caledado, combinados com três ordens de solos: Cambissolo Háplico (CX), Nitossolo Háplico (NX) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

A adubação correspondente ao tratamento com NPK foi baseada na exigência da cultura e na análise química das três ordens de solos (Souza *et al.*, 1999), utilizando-se 20,0 g/planta de ureia (9,0 g/planta de N), 16,7 g/planta de superfosfato simples (3,0 g/planta de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 8,6 g/planta de KCl (5,0 g/planta K<sub>2</sub>O) no Cambissolo Háplico e no Nitossolo Háplico, enquanto que no Argissolo Vermelho-Amarelo foram aplicados 20,0 g/planta de ureia (9,0

g/planta de N), 16,7 g/planta de superfosfato simples (3,0 g/planta de  $P_2O_5$ ) e 17,2 g/planta de KCl (10,0 g/planta de  $K_2O$ ), respectivamente.

O lodo de esgoto foi coletado na Estação de Tratamento de Esgotos - ETE de Montes Claros - MG, operada pela COPASA - MG. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB, sendo o lodo gerado centrifugado e secado em estufa a 350 °C durante 30 minutos, e classificado como um lodo tipo A, conforme Resolução CONAMA nº 375 (Brasil, 2006).

O lodo de esgoto caleado foi obtido pela adição de cal virgem, em quantidade correspondente a 50% da massa seca de lodo de esgoto. A dose do resíduo foi baseada no ensaio de elevação de pH dos solos, sendo a quantidade aplicada aquela em que o pH final da mistura solo-lodo caleado não ultrapassou o limite de 7,0, sendo: 31,28 g/planta para o Cambissolo, 39,85 g/planta para o Nitossolo e 63,79 g/planta para o Argissolo.

Para a compostagem foi misturado lodo de esgoto centrifugado a poda de grama, cuja espécie predominante foi a *Paspalum notatum* (grama-batatais), de forma a se obter uma relação C:N de 30:1. Periodicamente, foram monitoradas a temperatura e a umidade, e realizados revolvimentos sistemáticos das pilhas de compostagem para homogeneização dos materiais e controle da umidade e aeração.

Para obtenção do vermicomposto, foi feito um pré-composto de lodo de esgoto misturado à poda de grama, conforme descrito para a compostagem. Após um mês, o pré-composto foi utilizado como substrato para a vermicompostagem com minhocas vermelhas da Califórnia (*Eisenia foetida*).

Para os tratamentos com lodo de esgoto, exceto o lodo de esgoto caleado, as quantidades aplicadas foram baseadas nos teores de nitrogênio disponível nos resíduos para aplicação subsuperficial (Brasil, 2006) e no requerimento desse elemento pelo abacaxizeiro (Souza *et al.*, 1999), sendo aplicado: 2,43 kg/planta de lodo de esgoto compostado, 2,37 kg/planta de lodo de esgoto vermicompostado, 1,58 kg/planta de lodo de esgoto solarizado e 1,33 kg/planta de lodo de esgoto seco em estufa desidratadora.

As concentrações e os aportes dos nutrientes ao solo em função dos adubos aplicados são apresentados nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Concentração de nutrientes nos adubos químicos e lodos de esgoto (LE) utilizados no experimento

Trat	N	C	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
				g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>		
LC	6,28	190,30	6,20	3,00	11,00	1,40	7,00	80,08	185,20	536,20	95,60	5,35
LV	15,42	168,90	8,20	3,80	10,40	1,60	8,60	56,77	186,80	519,20	223,00	6,62
LS	26,85	264,30	10,40	4,80	13,20	0,80	11,40	42,80	271,00	1005,00	10,20	2,92
LSE	32,56	326,00	8,00	5,80	18,80	1,20	21,60	33,23	213,00	819,00	38,40	3,83
LCA	15,42	299,60	5,20	6,20	195,60	1,20	17,60	20,96	144,00	551,20	46,40	5,62
Ureia	440,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SS	-	-	180,00	-	200,00	-	120,00	-	-	-	-	-
KCl	-	-	-	580,00	-	-	-	-	-	-	-	-

Notas: Metodologias de Tedesco *et al.* (1995); LC – lodo de esgoto compostado; LV - lodo de esgoto vermicompostado; LS - lodo de esgoto solarizado; LSE - lodo de esgoto secado em secadora; SS – superfosfato simples; LCA - lodo de esgoto caleado; CX – Cambissolo Háplico; NX – Nitossolo Háplico; PVA – Latossolo Vermelho Amarelo.

Tabela 3 – Aporte de nutrientes a partir dos adubos químicos e dos tipos de lodo de esgoto (LE) utilizados no experimento

Tratamentos	N total	N disp.	g/planta						mg/planta				
			C	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
<b>LC</b> (2,43 kg/planta)	15,26	9,00	462,40	15,07	7,29	26,73	3,40	17,01	194,58	450,04	1302,97	232,31	13,00
<b>LV</b> (2,37 kg/planta)	36,55	9,00	400,30	19,43	9,01	24,65	3,79	20,38	134,55	442,72	1230,50	528,51	15,69
<b>LS</b> (1,58 kg/planta)	42,42	9,00	417,60	16,43	7,58	20,86	1,26	18,01	67,63	428,18	1587,90	16,12	4,61
<b>LSE</b> (1,33 kg/planta)	43,30	9,00	433,60	10,64	7,71	25,00	1,60	28,73	44,19	283,29	1089,27	51,07	5,09
<b>LCA-CX</b> (31,28 g/planta)	0,48	0,09	9,40	0,16	0,19	6,12	0,04	0,55	0,66	4,50	17,24	1,45	0,18
<b>LCA-NX</b> (39,85 g/planta)	0,61	0,12	11,90	0,21	0,25	7,79	0,05	0,70	0,84	5,74	21,97	1,85	0,22
<b>LCA-PVA</b> (63,79 g/planta)	0,98	0,19	19,10	0,33	0,40	12,48	0,08	1,12	1,34	9,19	35,16	2,96	0,36
<b>CX e NX:</b>													
<b>Ureia</b> (20,0 g/planta)	8,80	9,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>SS</b> (16,7 g/planta)	-	-	-	3,01	-	3,34	-	2,00	-	-	-	-	-
<b>KCl</b> (8,6 g/planta)	-	-	-	-	4,99	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PVA:</b>													
<b>Ureia</b> (20,0 g/planta)	8,80	9,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>SS</b> (16,7 g/planta)	-	-	-	3,01	-	3,34	-	2,00	-	-	-	-	-
<b>KCl</b> (17,2 g/planta)	-	-	-	-	9,97	-	-	-	-	-	-	-	-

Notas: Metodologias de Tedesco *et al.* (1995); Ndisp. – nitrogênio disponível, calculado conforme Brasil (2006); LC – lodo de esgoto compostado; LV - lodo de esgoto vermicompostado; LS - lodo de esgoto solarizado; LSE - lodo de esgoto secado em secadora; LCA - lodo de esgoto caaleado; CX – Cambissolo Háplico; NX – Nitossolo Háplico; PVA – Latossolo Vermelho Amarelo; SS – Superfosfato simples.

Os solos utilizados no experimento foram coletados na profundidade de 0-20 cm, secados ao ar e passados em peneira de 4 mm, sendo misturados aos diferentes tratamentos e acondicionados em vasos de 10 dm<sup>3</sup>, preenchendo-se volume equivalente a 8 dm<sup>3</sup>. Em seguida foi realizado o plantio das mudas do tipo filhote da cultivar Pérola, previamente selecionadas pelo tamanho e tratadas quimicamente com inseticida sistêmico do grupo químico neonicotinoide (Evidence 700WG). As mudas utilizadas foram materiais oriundos de cultura de tecidos, com aproximadamente 15 cm de comprimento.

A irrigação foi feita de forma a manter a umidade do solo próxima a capacidade de campo. O controle de plantas daninhas e cochinilhas foram

efetuados constantemente após o plantio das mudas nos vasos, quando necessário. Ocorreu indução natural ao florescimento de 80% das mudas aos 10 meses, sendo que nos outros 20% foi feita a indução floral aos 12 meses após o plantio das mudas mediante aplicação de solução de etrel a 1%, aplicada no centro da roseta foliar, utilizando-se cerca de 50 mL/planta (Oliveira *et al.*, 2002).

No início do florescimento das plantas, o qual variou de 10 a 13 meses após o plantio das mudas, foi coletada a folha 'D' do abacaxizeiro para determinação dos teores e conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn e B (Tedesco *et al.*, 1995; Malavolta *et al.*, 1997) e avaliação das características de crescimento da planta (altura da planta, número de folhas e diâmetro do caule) e da folha D (comprimento, largura, área foliar e matéria fresca e seca da folha D). Também coletaram-se amostras de solo para determinação do pH e dos teores totais de matéria orgânica, C, N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn e B (Embrapa, 1997). No momento da colheita do fruto, recolheu-se todo o material vegetal da planta para avaliação do peso do fruto com coroa, peso do fruto sem coroa, diâmetro do fruto, comprimento do fruto, comprimento da coroa, peso fresco e seco da coroa, peso fresco e seco das folhas, peso fresco e seco das mudas, peso fresco e seco do sistema radicular, e peso fresco e seco do caule.

As determinações dos nutrientes do solo foram realizadas por espectrofotômetro de absorção atômica Varian, modelo AA 240, enquanto as leituras dos nutrientes na folha "D" foram feitas por espectrômetro de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS/MS).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas à 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

## **Resultados e discussão**

Os atributos químicos pH, teor de matéria orgânica (MO), C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn e B apresentaram interação entre as diferentes ordens de

solos e os tipos de adubação realizados, enquanto, para o elemento S, os efeitos foram simples.

Os valores de pH do solo verificados antes do experimento (Tabela 1), que inicialmente eram classificados como acidez fraca (6,1-6,9) no Cambissolo e no Argissolo, e acidez média (5,1-6,0) no Nitossolo, diminuíram com a aplicação dos diferentes tipos de lodo de esgoto e adubação química, exceto para o tratamento com lodo de esgoto calcado no Nitossolo (Tabela 4).

Tabela 4 – Atributos químicos das amostras de solos submetidas aos tipos de adubos e ordens de solos no início do florescimento

Variável	Solo	Tratamentos							Média	CV %
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
pH-H <sub>2</sub> O	CX	6,45Aa	5,13Ac	5,23Bc	5,10Ac	5,00Bc	5,73Ab	5,77Ab	-	3,22
	NX	5,67Bb	4,73Bd	5,20Bc	5,23Ac	4,90Bd	5,53Ab	5,97Aa	-	
	PVA	6,50Aa	5,10Ad	5,67Ac	5,30Ad	5,43Ac	5,90Ab	6,03Ab	-	
MO dag kg <sup>-1</sup>	CX	3,64Bb	4,15Ab	9,15Ba	8,12Ba	8,64Aa	9,43Aa	4,00Bb	-	8,88
	NX	4,23Bd	4,30Ad	10,38Aa	9,82Aa	7,21Bc	8,88Ab	4,86Ad	-	
	PVA	4,99Ab	4,92Ab	8,20Ba	8,75Ba	8,36Aa	8,97Aa	5,45Ab	-	
C dag kg <sup>-1</sup>	CX	2,10Bb	2,47Ab	5,30Aa	4,71Ba	5,01Aa	5,47Aa	2,32Bb	-	8,99
	NX	2,46Bc	2,49Ac	5,12Aa	5,70Aa	4,18Bb	5,15Aa	2,82Ac	-	
	PVA	2,90Ab	2,85Ab	4,75Aa	5,07Ba	4,81Aa	5,21Aa	3,16Ab	-	
N g dm <sup>-3</sup>	CX	1,02Ad	1,30Ad	4,09Ab	3,38Bc	5,45Aa	2,91Bc	0,98Ad	-	15,68
	NX	1,21Ac	1,11Ac	2,37Bb	3,71Ba	3,90Ba	3,90Aa	1,29Ac	-	
	PVA	1,34Ac	1,24Ac	4,55Aa	4,37Aa	3,25Bb	4,18Aa	1,26Ac	-	
P mg dm <sup>-3</sup>	CX	7,33Bb	8,86Ab	32,87Aa	35,24Aa	38,08Aa	36,00Ba	10,95Ab	-	27,57
	NX	17,58Ab	35,78Ba	43,35Aa	33,59Aa	46,00Aa	44,54Ba	0,73Ac	-	
	PVA	1,40Bc	10,58Bc	34,54Ab	47,12Aa	45,62Aa	55,34Aa	2,92Ac	-	
K mg dm <sup>-3</sup>	CX	117,00Ab	135,33Aa	121,33Ab	91,00Ac	91,00Ac	111,33Ab	85,67Ac	-	11,19
	NX	84,33Bb	91,00Bb	107,67Aa	70,67Bc	71,00Bc	74,33Bc	47,67Bd	-	
	PVA	61,00Cc	131,50Aa	107,67Ab	93,50Ab	57,67Bc	61,00Bc	61,00Bc	-	
Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CX	5,95Bd	6,18Bd	13,50Aa	10,20Ab	14,30Aa	11,33Bb	7,93Ac	-	8,16
	NX	4,69Bd	4,23Cd	13,03Aa	8,50Bc	10,84Bb	10,31Bb	8,35Ac	-	
	PVA	8,12Ab	7,97Ab	11,53Ba	11,00Aa	11,57Ba	12,47Aa	8,05Ab	-	
Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CX	2,66Ab	4,00Aa	4,20Ba	2,53Bb	4,03Aa	4,22Aa	1,70Bc	-	12,01
	NX	2,99Ab	1,45Cd	5,61Aa	2,60Bb	2,26Bc	2,99Bc	1,16Bd	-	
	PVA	3,31Aa	2,45Bb	3,40Ca	3,86Aa	4,06Aa	3,64Aa	3,24Aa	-	
S mg dm <sup>-3</sup>	CX	-	-	-	-	-	-	-	191,50A	26,82
	NX	-	-	-	-	-	-	-	124,76B	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	120,29B	
	Média	118,90a	129,75a	164,59a	151,07a	153,85a	139,74a	160,72a		
Fe mg dm <sup>-3</sup>	CX	4,46Ac	4,08Ac	11,07Ab	9,70Ab	15,62Aa	6,53Ac	4,77Ac	-	17,12
	NX	4,97Ad	4,12Ad	10,83Ab	8,68Ac	13,62Aa	8,09Ac	5,01Ad	-	
	PVA	4,81Ac	3,91Ac	10,13Aa	10,82Aa	10,18Ba	7,70Ab	5,07Ac	-	
Cu mg dm <sup>-3</sup>	CX	1,41Ad	1,66Ad	5,46Bb	5,29Ab	7,74Aa	2,47Ac	1,55Ad	-	10,49
	NX	1,50Ae	1,46Ae	2,78Cb	5,51Ac	8,15Aa	2,85Ad	1,60Ae	-	
	PVA	0,94Ad	0,99Ad	6,29Ab	3,23Ba	3,49Ba	1,76Bc	1,44Ac	-	
Zn mg dm <sup>-3</sup>	CX	2,89Ae	34,67Ad	63,77Ac	69,43Ac	110,67Aa	95,90Ab	6,85Ae	-	16,65
	NX	2,55Ac	1,36Bc	71,87Ab	62,70Ab	86,43Ba	77,70Ba	5,29Ac	-	
	PVA	3,78Ab	10,97Bb	37,79Ba	54,55Aa	48,63Ca	46,03Ca	4,28Ab	-	
Mn mg dm <sup>-3</sup>	CX	33,61Bc	35,28Ac	36,32Bc	50,44Aa	43,20Ab	36,85Bb	30,41Bd	-	7,35
	NX	18,50Cc	11,35Bd	31,98Ba	34,43Ba	24,88Bb	26,61Cb	13,10Cd	-	
	PVA	54,69Aa	34,86Ad	50,15Ab	48,98Ab	44,73Ac	43,27Ac	48,58Ab	-	
B mg dm <sup>-3</sup>	CX	0,60Ad	0,61Ad	1,50Aa	1,10Ab	1,50Aa	0,93Ac	0,33Ae	-	18,07
	NX	0,37Bb	0,30Bb	1,13Ba	1,20Aa	1,00Ba	1,20Aa	0,33Ab	-	
	PVA	0,23Bc	0,50Aa	0,90Bb	1,33Aa	0,90Bb	0,97Ab	0,43Ac	-	

Notas: T1- testemunha; T2 – adubação química; T3 – lodo de esgoto compostado; T4 - lodo de esgoto vermicompostado; T5 - lodo de esgoto solarizado; T6 - lodo de esgoto seco em secadora; T7 - lodo de esgoto caleado; CX – Cambissolo; NX – Nitossolo; PVA – Argissolo; Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

Os menores valores de pH do solo foram verificados nos tratamentos que receberam adubação química e adubação com lodo de esgoto compostado, vermicompostado, solarizado e secado em secadora, enquanto os maiores valores ocorreram nos tratamentos sem adubação e adubação com lodo de esgoto caleado (Tabela 4). O Nitossolo, com valor de pH originalmente

mais baixo, foi o solo que apresentou, de modo geral, menor valor dessa variável no início da floração do abacaxizeiro.

Os valores de pH dos tratamentos com lodo de esgoto foram em geral classificados como acidez média (5,1-6,0), exceto para o tratamento com lodo de esgoto caleado no Nitossolo, provavelmente em função da adição de cal virgem presente neste tratamento, tendo sido classificado como acidez fraca (6,1-6,9) (Alvarez V. *et al.*, 1999).

A adubação do solo com lodo de esgoto promove a redução do pH em consequência do processo de formação de ácidos orgânicos e reações de nitrificação de nitrogênio amoniacal presentes no lodo (Nascimento *et al.*, 2004; Boeira, 2006; Zuba Junio *et al.*, 2015). Por outro lado, Oliveira *et al.* (2002) e Nascimento *et al.* (2014b) relatam aumento do pH do solo com a aplicação de lodo caleado, uma vez que no processo de estabilização desse lodo é adicionado a cal virgem, com reação alcalina. Contudo, esses autores não constataram variação do pH do solo com a aplicação de lodo de esgoto solarizado, compostado e vermicompostado na adubação de girassol.

Os teores de MO e de C orgânicos no solo aumentaram com a aplicação do lodo de esgoto compostado, vermicompostado, solarizado e secado em secadora, quando comparados a testemunha e a adubação química, nas três ordens de solos estudadas (Tabela 4), sendo classificados respectivamente como muito bom ( $> 7,00 \text{ dag kg}^{-1}$  e  $> 4,06 \text{ dag kg}^{-1}$ ), segundo Alvarez V. *et al.* (1999). Os maiores teores obtidos no Argissolo podem ser atribuídos a presença de maiores teores nativos de MO e C (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento *et al.* (2004), Chiba *et al.* (2008) e Zuba Junio *et al.* (2015), os quais constataram que a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto no solo promoveu aumentos nos teores de matéria orgânica e de C no solo nos cultivos de milho, feijão, cana-de-açúcar e mamona.

Os maiores teores de N nas ordens de solos foram observados com a aplicação dos tratamentos com lodo de esgoto compostado, vermicompostado, solarizado e seco em secadora (Tabela 4). O Argissolo foi à ordem de solo que apresentou os maiores teores de N, esse resultado também foi atribuído ao

maior teor de matéria orgânica já existente neste solo antes do cultivo (Tabela 1). Contudo, apesar do aporte de N com as adubações (Tabelas 2 e 3), houve redução dos teores inorgânicos deste elemento no solo em comparação aos teores obtidos antes do plantio, possivelmente em razão da absorção pela planta e perdas de N mineral do solo por lixiviação e volatilização. De todas as formas, ficou evidente o efeito positivo da adição de lodo de esgoto sobre o aumento deste nutriente no solo. Fato também confirmado por Nascimento *et al.* (2004), que constataram que a aplicação de doses crescentes de composto de lodo de esgoto no cultivo de milho e feijão elevaram os teores de N do solo.

Os teores de P foram mais elevados nos tratamentos com lodo de esgoto compostado, vermicompostado, solarizado e secado em secadora, em comparação à testemunha, adubação química e lodo caleado (Tabela 4), sendo classificados como muito bom ( $> 30,00 \text{ mg dm}^{-3}$ ) segundo Alvarez V. *et al.* (1999), indicando a elevada capacidade de disponibilização de P após a adubação. Nascimento *et al.* (2004) também constataram aumento nos teores de P disponível no solo com a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto no cultivo de milho e feijão, enquanto Galdos *et al.* (2004) e Chiba *et al.* (2008) não observaram influência da adubação com lodo de esgoto nos teores desse elemento no solo no cultivo de milho e de cana-de-açúcar. No caso do lodo caleado, os menores teores de P disponível podem ser atribuídos a formação de precipitados de fosfato de cálcio ( $\text{CaH}_2\text{PO}_4$ ) no solo e no lodo de esgoto, em decorrência da aplicação de cal virgem.

Os teores de K no solo foram em geral mais baixos nos tratamentos adubados com lodo de esgoto do que na adubação química (Tabela 4), sendo nos tratamentos com lodo de esgoto classificados como no mínimo médio ( $> 41 \text{ mg dm}^{-3}$ ), segundo Alvarez V. *et al.* (1999). Além disso, houve redução em todos os tratamentos dos teores de K em comparação aos teores existentes antes do experimento (Tabela 1), possivelmente em razão da elevada absorção pelas plantas, bem como, pelo fato do lodo de esgoto não ser uma boa fonte de K, uma vez que este elemento fica em grande parte dissolvido na água residuária (Prates *et al.*, 2011). O Cambissolo, por ser um solo mais novo e

mais rico nesse nutriente, foi o que apresentou maior teor após o cultivo do abacaxizeiro.

Os teores de Ca no solo aumentaram com a aplicação de lodo de esgoto compostado, vermicompostado, solarizado e secado em secadora, em comparação a adubação química e testemunha, sendo tal fato mais evidente no Argissolo (Tabela 4). Nas adubações com lodo de esgoto mencionadas também houve também aumento dos teores desse elemento em comparação ao período anterior ao cultivo. Os teores de Ca de todos os tratamentos foram classificados como muito bom ( $> 4,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), segundo Alvarez V. *et al.* (1999). Segundo Albuquerque *et al.* (2015) não foi encontrada influência da adubação com dose de lodo de esgoto de até  $30 \text{ t ha}^{-1}$  sobre os teores de Ca em Nitossolo, na cultura do girassol.

Os teores de Mg nos solos foram em geral mais elevados com as adubações com lodo de esgoto do que com a adubação química ou sem adubação (Tabela 4). Também, os teores desse elemento foram mais elevados nos tratamentos mencionados acima, em comparação aos teores dos solos antes do cultivo (Tabela 1). Os teores de Mg encontrados neste trabalho foram classificados como no mínimo bom ( $> 0,91 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), segundo Alvarez V. *et al.* (1999). Por outro lado, Prates *et al.* (2011), em estudo sobre adubação de pinhão-manso com lodo de esgoto, constataram redução dos teores de Mg no solo, atribuindo tal fato ao maior crescimento e absorção deste elemento pela planta.

Em relação aos teores de S no solo, não houve interação entre as diferentes classes de solos e os tipos de adubação realizados, e não se obteve diferença significativa ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos com adubação e testemunha. O Cambissolo apresentou os maiores teores deste elemento antes (Tabela 1) e depois do cultivo (Tabela 4). Todavia, mesmo para a testemunha, houve elevados incrementos dos teores desse elemento após o cultivo, possivelmente associado a veiculação pela água de irrigação e, ou, produtos sanitários e fitormônios aplicados na cultura, conferindo a classificação como muito bom ( $> 19,6 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para esse elemento (Alvarez V. *et al.*, 1999).

Por outro lado, o lodo de esgoto sempre se destacou como uma importante fonte de S na adubação, conforme apontado por Zuba Junio *et al.* (2013), os quais constataram aumento dos teores de S no solo com a aplicação de doses de composto de lodo de esgoto de até 75 t ha<sup>-1</sup> em Cambissolo Háplico cultivado com milho. Cavalcante *et al.* (2015), também verificaram aumento nos teores de S em Nitossolo Háplico, adubado com doses lodo de esgoto de até 10,4 t ha<sup>-1</sup>, cultivado com mamona.

Os teores de Fe disponível no solo foram em geral incrementados pelas adubações com lodo de esgoto compostado, vermicompostado e solarizado, em comparação à testemunha e demais adubações, nas três ordens de solos estudadas (Tabela 4). Todavia, houve uma grande redução dos teores com o cultivo do abacaxizeiro em relação aos existentes antes do cultivo (Tabela 1), possivelmente em razão da grande demanda deste elemento pelas plantas, uma vez que o Fe é o micronutriente mais absorvido em condições ideais de cultivo, além de possíveis perdas por lixiviação. Os teores de Fe encontrados nas adubações com lodo de esgoto mencionadas foram classificados como baixo (9 a 18 mg dm<sup>-3</sup>), sendo que para os demais tratamentos, os teores foram classificados como muito baixos ( $\leq 8$  mg dm<sup>-3</sup>), segundo Alvarez V. *et al.* (1999). Cavalcante *et al.* (2015) afirmam que a aplicação de doses lodo de esgoto de até 10,4 t ha<sup>-1</sup>, em Nitossolo Háplico, cultivado com mamona, aumentou os teores de Fe disponível no solo. Contudo, Nascimento *et al.* (2014) e Albuquerque *et al.* (2015) observaram que a aplicação de doses de lodo de esgoto de aproximadamente 30 t ha<sup>-1</sup>, em Cambissolo Háplico e Nitossolo Háplico, no cultivo de girassol, não influenciou os teores de Fe disponível no solo.

Os teores de Cu disponível no solo aumentaram, em geral, com a aplicação dos tratamentos com lodo de esgoto compostado, vermicompostado e solarizado, em comparação aos demais tratamentos, nas três ordens de solos avaliadas (Tabela 4). Houve um aumento razoável dos teores deste elemento com a adubação com os lodos de esgotos mencionados, quando comparados aos teores iniciais (Tabela 1), sendo classificados como alto (> 1,8 mg dm<sup>-3</sup>) por Alvarez V. *et al.* (1999). Resultados semelhantes foram

encontrados por Chiba *et al.* (2008) e Cavalcanti *et al.* (2015), os quais constataram que a adubação com lodo de esgoto em cana-de-açúcar e em mamoneira em Argissolo Vermelho e Nitossolo, respectivamente, aumentou os teores de Cu disponível no solo.

Em relação aos teores de Zn disponível no solo (Tabela 4), a aplicação dos tratamentos com lodo de esgoto compostado, vermicompostado, solarizado e secado em secadora promoveu incrementos nos teores deste elemento, em comparação aos demais tratamentos, nas três ordens de solos estudadas. Além disso, foi constatado um grande aumento dos teores deste elemento com as adubações com lodo de esgoto mencionadas em relação aos teores nos solos antes do cultivo do abacaxizeiro (Tabela 1). Os teores de Zn disponível verificados em todos os tratamentos foram classificados como de médio a alto ( $> 1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ), segundo Alvarez V. *et al.* (1999). Segundo Chiba *et al.* (2008) e Cavalcanti *et al.* (2015) a adubação com lodo de esgoto em cana-de-açúcar em Argissolo e de mamoneira em Nitossolo, aumentou os teores de Zn disponível no solo.

Os teores de Mn disponível no solo foram, de modo geral, mais elevados com as adubações com lodo de esgoto, em comparação a adubação química e testemunha, nas três ordens de solos (Tabela 4), sendo que os teores deste elemento ficaram próximos dos teores existentes antes do cultivo do abacaxizeiro (Tabela 1). Os teores de Mn verificados em todos os tratamentos com lodo de esgoto foram classificados como alto ( $> 12 \text{ mg dm}^{-3}$ ), segundo Alvarez V. *et al.* (1999). Contudo, Albuquerque *et al.* (2015) não constataram influência da aplicação de doses de lodo de esgoto de até  $30 \text{ t ha}^{-1}$  sobre os teores de Mn disponível no solo na cultura do girassol.

Os teores de B no solo aumentaram com a aplicação dos tratamentos com lodo de esgoto compostado, vermicompostado, solarizado e secado em secadora, em comparação a testemunha, a adubação química e ao lodo caleado, nas três ordens de solos (Tabela 4). Também foi constatado aumento dos teores deste elemento com as adubações com lodo de esgoto mencionadas em relação aos teores existentes antes do cultivo do abacaxizeiro (Tabela 1). Os teores de B verificados nos tratamentos com lodo de esgoto

compostado, vermicompostado, solarizado e seco em secadora nas três ordens de solos estudadas foram em geral classificados como alto ( $> 0,90 \text{ mg dm}^{-3}$ ), enquanto que nos demais tratamentos foram classificados como de baixo a médio ( $0,16$  a  $0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ ), segundo Alvarez V. *et al.* (1999). Segundo Cavalcanti *et al.* (2015) a aplicação de lodo de esgoto no cultivo de mamoneira em Nitossolo aumentou os teores de B disponível.

Na folha D do abacaxizeiro, observou-se interação entre as diferentes ordens de solos e os tipos de adubação realizados para os teores (Tabela 5) e conteúdos de Cu (Tabela 6), enquanto, para os elementos N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn e B obteve-se apenas efeito simples entre as ordens de solos e os tipos de adubação utilizados.

Tabela 5 – Teores de nutrientes na folha D do abacaxizeiro em resposta à aplicação dos tipos de adubos e ordens de solos

Variável	Solo	Tratamentos							Média	CV %
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
N (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	6,83B	19,37
	NX	-	-	-	-	-	-	-	8,01A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	7,67A	
	Média	4,30b	7,63a	8,20a	8,42a	8,44a	7,32a	8,21a	-	
P (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,06B	62,70
	NX	-	-	-	-	-	-	-	0,11B	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	0,29A	
	Média	0,15a	0,13a	0,11a	0,13a	0,16a	0,20a	0,20a	-	
K (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	14,75A	19,18
	NX	-	-	-	-	-	-	-	14,80A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	13,22A	
	Média	13,41c	19,85a	16,06b	14,95c	12,13c	11,35c	12,03c	-	
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	14,43A	26,52
	NX	-	-	-	-	-	-	-	16,49A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	16,32A	
	Média	11,10b	14,69b	12,57b	14,24b	18,84a	17,65a	21,11a	-	
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	3,25A	32,92
	NX	-	-	-	-	-	-	-	3,66A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	3,31A	
	Média	3,06b	3,06b	2,49b	2,99b	3,52b	4,14a	4,58a	-	
S (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	3,09A	36,91
	NX	-	-	-	-	-	-	-	3,92A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	4,03A	
	Média	3,66a	4,41a	3,13a	3,58a	4,64a	2,97a	3,38a	-	
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	64,23B	48,32
	NX	-	-	-	-	-	-	-	72,53B	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	110,61A	
	Média	71,38a	113,71a	86,62a	97,70a	70,33a	68,42a	69,02a	-	
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	CX	3,10Aa	3,60Aa	2,94Ba	2,52Ba	2,77Aa	4,39Aa	4,48Aa	-	54,27
	NX	2,43Ab	4,66Ab	3,05Bb	10,54Aa	2,98Ab	3,73Ab	3,35Ab	-	
	PVA	2,15Aa	2,90Aa	6,84Aa	2,54Ba	3,71Aa	4,47Aa	3,33Aa	-	
	Média	9,41b	12,05b	17,95a	18,89a	12,89b	9,10b	10,91b	-	
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	14,59A	48,23
	NX	-	-	-	-	-	-	-	13,58A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	10,91A	
	Média	74,08b	249,93a	20,99b	48,85b	45,68b	45,83b	88,46b	-	
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	61,29A	113,36
	NX	-	-	-	-	-	-	-	96,53A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	88,11A	
	Média	74,08b	249,93a	20,99b	48,85b	45,68b	45,83b	88,46b	-	
B (mg kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	39,73B	44,08
	NX	-	-	-	-	-	-	-	45,58B	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	74,99A	
	Média	49,57a	49,32a	66,95a	52,25a	48,23a	54,37a	53,36a	-	

Notas: T1- testemunha; T2 – adubação química; T3 – lodo de esgoto compostado; T4 - lodo de esgoto vermicompostado; T5 - lodo de esgoto solarizado; T6 - lodo de esgoto seco; T7 - lodo de esgoto caledo, CX – Cambissolo; NX – Nitossolo; PVA – Argissolo; Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

Tabela 6 – Conteúdo de nutrientes na folha D do abacaxizeiro em resposta à aplicação dos tipos de adubos e ordens de solos

Variável	Solo	Tratamentos							Média	CV %
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
N (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	70,20A	25,82
	NX	-	-	-	-	-	-	-	77,58A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	72,69A	
	Média	37,94b	72,55a	87,15a	89,25a	77,23a	74,96a	75,35a	-	
P (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,58B	65,43
	NX	-	-	-	-	-	-	-	1,09B	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	2,66A	
	Média	1,23a	1,15a	1,34a	1,34a	1,48a	1,81a	1,75a	-	
K (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	151,41A	27,57
	NX	-	-	-	-	-	-	-	144,06A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	122,78A	
	Média	119,10b	192,60a	168,90a	158,67a	108,90b	119,77b	107,95b	-	
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	146,08A	33,47
	NX	-	-	-	-	-	-	-	159,29A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	151,41A	
	Média	98,38b	137,52b	133,67b	149,74b	170,61a	184,56a	191,33a	-	
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	32,46A	31,55
	NX	-	-	-	-	-	-	-	34,91A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	30,17A	
	Média	27,65b	28,78b	26,17b	30,69b	31,71b	41,48a	41,00a	-	
S (g kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	31,46A	39,90
	NX	-	-	-	-	-	-	-	38,33A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	37,39A	
	Média	32,74a	41,43a	33,27a	37,16a	43,78a	30,19a	31,53a	-	
Fe (µg kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	662,24B	56,50
	NX	-	-	-	-	-	-	-	710,63B	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	1.068,34A	
	Média	627,10a	1.033,59a	995,94a	1041,17a	646,83a	711,04a	640,50a	-	
Cu (µg kg <sup>-1</sup> )	CX	28,78Aa	42,11Aa	28,87Ba	29,13Ba	22,10Aa	50,26Aa	41,31Aa	-	72,81
	NX	23,99Ab	41,07Ab	26,61Bb	116,43Aa	28,15Ab	40,45Ab	34,61Ab	-	
	PVA	16,67Ab	23,96Ab	90,80Aa	25,21Bb	32,55Ab	48,68Ab	29,64Ab	-	
	Média	84,57b	115,23b	191,68a	206,55a	118,46b	99,77b	101,56b	-	
Zn (µg kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	151,94A	60,09
	NX	-	-	-	-	-	-	-	133,11A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	108,30A	
	Média	84,57b	115,23b	191,68a	206,55a	118,46b	99,77b	101,56b	-	
Mn (µg kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	662,49A	105,69
	NX	-	-	-	-	-	-	-	934,22A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	778,57A	
	Média	652,42b	2.346,58a	230,71b	521,92b	413,35b	497,95b	879,38b	-	
B (µg kg <sup>-1</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	398,34B	47,85
	NX	-	-	-	-	-	-	-	444,14B	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	740,76A	
	Média	436,58a	453,57a	756,12a	552,49a	437,10a	556,19a	502,18a	-	

Notas: T1- testemunha; T2 – adubação química; T3 – lodo de esgoto compostado; T4 - lodo de esgoto vermicompostado; T5 - lodo de esgoto solarizado; T6 - lodo de esgoto seco; T7 - lodo de esgoto caledado, CX – Cambissolo; NX – Nitossolo; PVA – Argissolo; Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

Os teores e os conteúdos de Cu na folha D do abacaxizeiro (Tabelas 5 e 6) foram, em geral, coerentes com os teores observados nos solos no início do florescimento do abacaxizeiro (Tabela 4). Assim, onde os teores nos solos

foram mais baixos, os teores e conteúdos na folha D também o foram, indicando menor disponibilidade do nutriente e absorção pela planta. Além disso, os tratamentos com lodo compostado e vermicompostado se destacaram como a melhor fonte deste elemento, principalmente nos solos mais intemperizados. Todavia, os teores de Cu encontrados na folha D do abacaxizeiro ficaram, no geral, abaixo dos valores considerados adequados para a cultura do abacaxizeiro (9-12 mg kg<sup>-1</sup>), conforme Martinez *et al.* (1999).

Os teores e os conteúdos de N na Folha D do abacaxizeiro foram mais elevados nos tratamentos com adubação química e lodo de esgoto, e nas ordens de solos mais intemperizadas (Tabelas 5 e 6), com maiores teores de matéria orgânica nativa (Tabela 1). Neste caso, ficou evidente que as adubações com lodo de esgoto apresentaram a mesma eficiência da adubação química no suprimento desse elemento. Apesar ter sido aplicada nas adubações a dose de N recomendada para atender ao requerimento do abacaxizeiro (Souza *et al.*, 1999), os teores de N verificados na folha D em todos os tratamentos ficaram muito aquém dos níveis adequados para a planta (20-22 g kg<sup>-1</sup>), segundo Martinez *et al.* (1999). Tal fato nos leva a inferir que a planta demande adubações nitrogenadas maiores do que as atualmente recomendadas para a cultura.

Os teores e os conteúdos de P, Fe e B na folha D do abacaxizeiro foram mais elevados no Argissolo, porém, sem nenhuma influência das adubações realizadas (Tabelas 5 e 6). No caso do P, os teores encontrados na folha D do abacaxizeiro ficaram abaixo dos níveis considerados adequados (2,1-2,3 g kg<sup>-1</sup>) para a cultura. Todavia, com relação aos teores de Fe, somente as plantas cultivadas no Argissolo estão na faixa considerada adequada para a cultura do abacaxizeiro (100-200 mg kg<sup>-1</sup>), enquanto, para o B, os teores encontram-se dentro da faixa considerada adequada para o abacaxizeiro (30-40 mg kg<sup>-1</sup>) no Cambissolo e alta (> 40 mg kg<sup>-1</sup>) no Nitossolo e Argissolo, segundo Martinez *et al.* (1999). Prates *et al.* (2011) e Cavalcanti *et al.* (2015) observaram aumento nos teores de P e de B no tecido foliar do pinhão manso e de mamoneira, respectivamente, com a adubação com lodo de esgoto. Por outro lado,

Nascimento *et al.* (2014a) não constataram influência da aplicação de doses de lodo de esgoto sobre os teores de B na folha do girassol.

Os maiores teores de K na folha D ocorreram nos tratamentos com adubação química (Tabela 5), enquanto, os maiores conteúdos ocorreram nos tratamentos com adubação química, lodo de esgoto compostado e lodo de esgoto vermicompostado (Tabela 6). Mesmo os maiores teores de K encontrados na folha D do abacaxizeiro ficaram abaixo dos níveis considerados adequados (25-27 g kg<sup>-1</sup>) para o abacaxizeiro (Martinez *et al.*, 1999), o que reflete que, mesmo com teores no solo variando de médio a alto e com a adubação química, o requerimento deste nutriente pela cultura não foi atingido. No caso do lodo de esgoto, pelo fato de grande parte deste elemento ficar dissolvido na água residuária, há sempre uma tendência de menor aporte desse elemento nas adubações (Tabela 3). Tanto que, Albuquerque *et al.* (2015) destacam que a aplicação de doses de lodo de esgoto de até 30 t ha<sup>-1</sup> em Nitossolo não influenciou os teores de K na folha do girassol.

Os maiores teores e conteúdos de Ca na folha D ocorreram nas adubações com lodo de esgoto solarizado, secado em secadora e caleado, não havendo diferenças entre os demais tipos de adubação (Tabelas 5 e 6). Os teores de Ca encontrados na folha D do abacaxizeiro foram considerados altos em relação aos níveis considerados adequados para a cultura (3-4 g kg<sup>-1</sup>), conforme relatado por Martinez *et al.* (1999). Os altos teores de Ca verificados no lodo de esgoto da ETE Montes Claros derivam da água calcária existente no município, situado em região cárstica. Todavia, Albuquerque *et al.* (2015) observaram que a aplicação de doses de lodo de esgoto da ETE Montes Claros de até 30 t ha<sup>-1</sup> em Nitossolo Háplico não influenciou os teores de Ca no solo.

Os maiores teores e conteúdos de Mg na folha D ocorreram nos tratamentos com lodo de esgoto secado em secadora e caleado, não sendo constatadas diferenças entre os demais tratamentos (Tabelas 5 e 6). Neste caso, somente os teores de Mg da folha D das plantas adubadas com lodo de esgoto secado em secadora e caleado ficaram dentro dos níveis considerados adequados para o abacaxizeiro (4-5 g kg<sup>-1</sup>), conforme descrito por Martinez *et*

*al.* (1999). Apesar do menor aporte de Mg nos tratamentos mencionados (Tabela 3), a possível mineralização deste nutriente com a carbonização de parte do lodo de esgoto no processo de secagem a 350 °C e a presença de Mg solúvel na cal podem explicar os valores mais elevados verificados nesses dois tratamentos. Por outro lado, os menores teores de Mg observados nos demais tratamentos com lodos de esgotos estão de acordo com as observações de Albuquerque *et al.* (2015), os quais relataram que a aplicação de doses de lodo de esgoto de até 30 t ha<sup>-1</sup> em Nitossolo Háplico não influenciou os teores de Mg na folha de girassol.

Os teores e os conteúdos de S na folha D do abacaxizeiro não foram influenciados pela aplicação dos tratamentos com lodo de esgoto estabilizado por diferentes formas e adubação química nas três ordens de solos estudadas neste trabalho (Tabelas 5 e 6). Os teores de S na folha D do abacaxizeiro ficaram, no geral, acima dos níveis considerados adequados para o abacaxizeiro (2-3 g kg<sup>-1</sup>), de acordo com Martinez *et al.* (1999). Conforme já mencionado, o aumento nos teores de S na folha D pode ter ocorrido em razão de alguma contribuição via água de irrigação e, ou, dos produtos sanitários e fitormônios aplicados na cultura. Os resultados obtidos assemelham-se aos encontrados por Albuquerque *et al.* (2015), os quais constataram que não houve influência da adubação com dose de lodo de esgoto até 30 t ha<sup>-1</sup> em Nitossolo Háplico em relação aos teores de S na folha do girassol.

Os maiores teores e conteúdos de Zn na folha D ocorreram nas adubações com composto e vermicomposto de lodo de esgoto, não havendo diferenças entre os demais tipos de adubação e solos (Tabelas 5 e 6). Para esses tratamentos pode ter havido uma maior complexação do Zn pelas substâncias húmicas formadas, tornando esses elementos menos susceptíveis a interações com o solo e mais disponíveis para absorção pelas plantas (García-Mina *et al.*, 2004). De qualquer forma, os teores de Zn encontrados na folha D do abacaxizeiro ficaram abaixo dos níveis considerados adequados para o abacaxizeiro (20-50 mg kg<sup>-1</sup>), conforme relatado por Martinez *et al.* (1999).

Com relação ao Mn, os maiores teores e conteúdos desse elemento foram observados no tratamento com adubação química (Tabelas 5 e 6). Os teores de Mn encontrados na folha D das plantas de abacaxizeiro adubadas com lodo de esgoto compostado, vermicompostado, solarizado e secado em secadora, ficaram abaixo dos níveis considerados adequados para o abacaxizeiro (50-200 mg kg<sup>-1</sup>), segundo Martinez *et al.* (1999). Já os teores de Mn na folha D referentes as adubações com lodo de esgoto caleado, adubação química e testemunha, ficaram dentro da faixa considerada adequada para a planta. A redução da absorção de Mn pelas plantas, nas adubações com lodo de esgoto, pode ter sido em razão do aumento da matéria orgânica do solo (Tabela 4), o qual promoveu o aumento das cargas elétricas e o consequente incremento da adsorção desse elemento, com menores teores na solução do solo.

Em relação às características biométricas da planta e da folha D do abacaxizeiro (Tabela 7), constatou-se que não houve interação entre as ordens de solos e os tipos de adubações realizadas. A adubação química e a aplicação dos tratamentos com lodo de esgoto compostado, vermicompostado e caleado proporcionaram as maiores alturas de plantas (AP), os maiores números de folhas (NF) e os maiores pesos de matéria fresca da folha D (MFD), em comparação a testemunha. Tais resultados indicam que as adubações com os lodos de esgotos mencionados propiciam condições de crescimento do abacaxi semelhantes aquelas do tratamento com adubação mineral. Albuquerque *et al.* (2015) também observaram efeito positivo da adubação com lodo de esgoto nas características biométricas do girassol cultivado em Nitossolo.

Tabela 7 – Características biométricas da planta e folha D do abacaxizeiro no início do florescimento em resposta à aplicação dos tipos de adubos e ordens de solos

Variável	Solo	Tratamentos							Média	CV %
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
AP (cm)	CX	-	-	-	-	-	-	-	49,46A	15,12
	NX	-	-	-	-	-	-	-	48,91A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	45,27A	
	Média	37,17c	58,30a	51,04b	47,93b	43,64c	43,89c	53,20b		
NF	CX	-	-	-	-	-	-	-	42,67A	14,82
	NX	-	-	-	-	-	-	-	41,57A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	42,90A	
	Média	36,33b	46,67a	43,89a	44,00a	39,67b	40,11b	46,00a		
DC (mm)	CX	-	-	-	-	-	-	-	49,20A	9,29
	NX	-	-	-	-	-	-	-	49,65A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	47,83A	
	Média	46,59a	50,57a	51,86a	50,01a	48,47a	45,51a	49,25a		
CFD (cm)	CX	-	-	-	-	-	-	-	58,81A	13,81
	NX	-	-	-	-	-	-	-	58,67A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	56,83A	
	Média	53,58a	62,49a	59,71a	59,64a	53,08a	57,98a	60,24a		
LFD (mm)	CX	-	-	-	-	-	-	-	44,38A	13,58
	NX	-	-	-	-	-	-	-	43,55A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	40,95A	
	Média	37,53a	45,34a	46,19a	43,57a	42,51a	42,61a	42,97a		
AFFD (cm <sup>2</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	3256,92A	14,07
	NX	-	-	-	-	-	-	-	3194,71A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	2995,83A	
	Média	2732,09a	3338,94a	3339,96a	3198,69a	3101,11a	3122,94a	3156,35a		
AFP (cm <sup>2</sup> )	CX	-	-	-	-	-	-	-	57130,23A	13,98
	NX	-	-	-	-	-	-	-	56046,02A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	52579,56A	
	Média	47982,58a	58559,89a	59518,85a	56115,38a	54414,48a	54794,96a	55377,42a		
MFD (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	33,46A	22,49
	NX	-	-	-	-	-	-	-	32,27A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	29,09A	
	Média	24,64b	36,98a	35,09a	33,73a	27,37b	31,31a	32,24a		
MSD (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	10,22A	18,12
	NX	-	-	-	-	-	-	-	9,70A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	9,52A	
	Média	8,90a	9,78a	10,71a	10,62a	9,06a	10,47a	9,15a		
PMSD (%)	CX	-	-	-	-	-	-	-	31,48B	9,23
	NX	-	-	-	-	-	-	-	30,69B	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	33,01A	
	Média	36,58a	26,82d	30,64c	32,13b	33,30b	33,89b	28,78c		

Notas: T1- testemunha; T2 – adubação química; T3 – lodo de esgoto compostado; T4 - lodo de esgoto vermicompostado; T5 - lodo de esgoto solarizado; T6 - lodo de esgoto seco; T7 - lodo de esgoto caaleado; CX – Cambissolo; NX – Nitossolo; PVA – Argissolo; AP – altura da planta; NF – número de folhas; DC – diâmetro do caule; CFD – comprimento da folha D; LFD – largura da folha D; AFFD – área foliar da folha D; AFP – área foliar da planta; MFD – massa fresca da folha D; MSD – massa seca da folha D; PMSD – porcentagem de matéria seca da folha D; Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

De modo geral, não foram constatados efeitos das adubações sobre o diâmetro do caule (DC), o comprimento da folha D (CFD), a largura da folha D (LFD), a área foliar da folha D (AFFD), a área foliar da planta (AFP), a massa

fresca da folha D (MFFD) e a massa seca da folha D (MSFD), enquanto a porcentagem de matéria seca da folha D (PMSD) foi reduzida pela aplicação dos diferentes tipos de adubação (Tabela 7).

Em relação às variáveis de crescimento da planta e do fruto do abacaxizeiro na colheita (Tabela 8), observou-se que, apenas para o peso do fruto sem coroa (PF), diâmetro do fruto (DF) e comprimento do fruto (CF), houve interação entre as ordens de solos e os tipos de adubação realizados. Neste caso, as adubações promoveram, em geral, os maiores incrementos dessas variáveis em relação a testemunha, principalmente no Argissolo.

Tabela 8 – Variáveis de crescimento da planta e do fruto do abacaxizeiro na colheita em resposta a aplicação dos tipos de adubos e ordens de solos

(Continua)

Variável	Solo	Tratamentos							Média	CV %
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
PFC (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	546,98A	23,59
	NX	-	-	-	-	-	-	-	554,17A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	495,14A	
	Média	354,17b	634,37a	568,98a	497,35a	547,77a	544,22a	578,12a		
PF (g)	CX	236,77Aa	520,27Aa	380,20Aa	432,17Aa	330,43Aa	396,60Aa	466,30Aa	-	28,82
	NX	256,57Aa	357,47Aa	409,80Aa	402,20Aa	443,73Aa	435,07Aa	312,70Aa	-	
	PVA	169,23Ab	435,94Aa	475,70Aa	124,80Bb	342,37Aa	244,57Ab	388,07Aa	-	
	Média	236,77Aa	404,58Aa	321,60Aa	322,79Aa	372,08Aa	358,79Aa	388,07Aa		
DF (mm)	CX	79,44Aa	98,29Aa	92,60Aa	92,82Aa	88,01Aa	88,59Aa	93,27Aa	-	7,59
	NX	81,05Ab	89,33Aa	95,07Aa	92,19Aa	94,63Aa	94,61Aa	82,03Ab	-	
	PVA	72,13Ab	95,13Aa	94,96Aa	66,54Bb	85,31Aa	79,73Bb	91,31Aa	-	
	Média	79,44Aa	93,58Aa	94,18Aa	91,70Aa	90,64Aa	91,14Aa	88,87Aa		
CF (mm)	CX	65,46Aa	85,33Aa	76,67Aa	83,45Aa	72,83Aa	80,67Aa	85,84Aa	-	13,30
	NX	69,62Aa	77,96Aa	76,15Aa	77,72Aa	81,90Aa	82,35Aa	67,64Aa	-	
	PVA	58,11Ab	81,35Aa	83,56Aa	47,52Bb	76,80Aa	67,87Aa	79,64Aa	-	
	Média	64,40Aa	81,41Aa	78,79Aa	76,06Aa	78,54Aa	77,61Aa	77,70Aa		
CCo (cm)	CX	-	-	-	-	-	-	-	20,78A	23,69
	NX	-	-	-	-	-	-	-	23,06A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	24,45A	
	Média	21,14a	23,18a	22,48a	22,45a	25,59a	23,83a	23,70a		
PCoU (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	167,94A	44,96
	NX	-	-	-	-	-	-	-	180,77A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	188,87A	
	Média	126,84a	204,17a	152,58a	183,11a	181,87a	191,00a	193,78a		
PCoS (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	28,62A	38,49
	NX	-	-	-	-	-	-	-	35,09A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	35,90A	
	Média	24,82a	38,70a	27,12a	37,46a	33,02a	33,68a	37,59a		

Tabela 8 – Variáveis de crescimento da planta e do fruto do abacaxizeiro na colheita em resposta a aplicação dos tipos de adubos e ordens de solos

(Conclusão)

Variável	Solo	Tratamentos							Média	CV %
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
PFU (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	553,24A	29,98
	NX	-	-	-	-	-	-	-	569,82A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	508,27A	
	Média	319,23b	742,54a	563,66a	630,12a	467,43b	439,02b	644,42a		
PFS (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	107,67A	29,3
	NX	-	-	-	-	-	-	-	112,40A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	103,82A	
	Média	59,40c	136,67a	112,80a	133,72a	93,20b	96,03b	124,51a	-	
PRU (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	72,65A	49,44
	NX	-	-	-	-	-	-	-	91,64A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	89,38A	
	Média	74,29a	96,64a	77,62a	85,87a	64,09a	67,76a	125,62a		
PRS (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	28,88A	35,57
	NX	-	-	-	-	-	-	-	34,02A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	27,84A	
	Média	29,42b	38,39a	26,16b	28,83b	24,81b	22,94b	41,16a		
PCaU (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	162,26A	30,22
	NX	-	-	-	-	-	-	-	168,47A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	142,27A	
	Média	78,20d	238,76a	167,21b	169,84b	130,02c	122,30c	197,31b		
PCaS (g)	CX	-	-	-	-	-	-	-	32,38A	40,11
	NX	-	-	-	-	-	-	-	32,84A	
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	32,25A	
	Média	16,54b	44,94a	32,88a	40,18a	26,26b	25,08b	41,57a		

Notas:

T1- testemunha; T2 – adubação química; T3 – lodo de esgoto compostado; T4 - lodo de esgoto vermicompostado; T5 - lodo de esgoto solarizado; T6 - lodo de esgoto seco; T7 - lodo de esgoto caleado; PFC – peso do fruto com coroa; PF– peso do fruto sem coroa; CF – comprimento do fruto; DF - diâmetro do fruto; CCo - comprimento da coroa; PCoU - peso da coroa úmida; PCoS - peso da coroa seca; PFU - peso da folha úmida; PFS - peso da folha seca; PRU - peso da raiz úmida; PRS - peso da raiz seca; PCaU - peso do caule úmido; PCaS – peso do caule seco; CX – Cambissolo; NX – Nitossolo; PVA – Argissolo.

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

Para as variáveis peso do fruto com coroa (PFC), peso da folha úmida (PFU), peso da folha seca (PFS), peso da raiz seca (PRS), peso do caule úmido (PCaU) e peso do caule seco (PCaS) não houve influência das ordens de solos (Tabela 8). Contudo, houve efeito positivo da fertilização do solo, principalmente com adubo químico e com lodos de esgotos compostado, vermicompostado e caleado.

Por outro lado, o comprimento da coroa (CCo), o peso da coroa úmida (PCoU), o peso da coroa seca (PCoS) e o peso da raiz úmida (PRU) não foram influenciados pelas adubações e ordens solos (Tabela 8).

Pelo exposto, ficou evidente que a adubação nitrogenada do abacaxizeiro, independente do tipo de adubo aplicado, proporcionou maior produção da planta em comparação a testemunha. Contudo, a dose de 9 g de N por planta parece ter sido insuficiente, conforme Cardoso *et al.* (2013), para atender a demanda da planta, o que pode ter contribuído para o baixo peso do fruto ( $\approx$  500 g). O baixo peso dos frutos pode ser também devido ao pequeno porte das mudas ( $\approx$  15 cm) e a origem de cultivo *in vitro*. Soma-se a isso o fato de ter ocorrido a indução natural do florescimento da maioria das plantas antes da época indicada, ou seja, com plantas ainda pequenas, que ocorreu aos dez meses após o plantio. Para conseguir uma produção de frutos com tamanho comercial, com mudas provenientes de cultivos *in vitro* deste tamanho, estima-se que seriam necessários pelo menos 24 meses de cultivo.

## **Conclusão**

As adubações químicas e com os diferentes tipos de lodos de esgotos, exceto o lodo de esgoto caleado, reduzem o pH do solo.

Os teores de matéria orgânica e de nutrientes dos solos adubados com os diferentes tipos de lodos de esgotos são mais elevados do que os fertilizados com adubação química.

Os teores de nutrientes na folha D e as características biométricas e de produtividade do abacaxizeiro são semelhantes entre a adubação química e a adubação com lodos de esgotos.

## **Agradecimentos**

Os autores expressam seus maiores agradecimentos à PRPq/UFMG, à FAPEMIG, à CAPES e ao CNPq, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

## Referências

- Albuquerque, H.C. de, Zuba Junio, G.R., Sampaio, R.S., Fernandes, L.A., Zonta, E., Barbosa, C.F., 2015. Yield and nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19 (6): 553–559.
- Alvarez V, V.H., Novais, R.F. de, Barros, N.F. de, Cantarutti, R.B., Lopes, A.S., 1999. Interpretação dos resultados de análises de solos. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação*. Viçosa: UFV, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais 25-36.
- Barbosa, G.M. de C., Tavares Filho, J., Brito, O.B., Fonseca, I.C.B., 2007. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 31: 601-605.
- Boeira, R.C., 2006. Lodo de esgoto como fertilizante em culturas anuais: acidez do solo. *Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente*, 3p.
- Borges, E.S.M., Godinho, V.M., Bejar, D.O., Chernicharo, C.A.de L., 2009. Tratamento térmico de lodo anaeróbio com utilização do biogás gerado em reatores UASB: avaliação da autosustentabilidade do sistema e do efeito sobre a higienização e a desidratação do lodo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. 14 (3): 337-346.
- Brasil, 2006. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Brasília.
- Cardoso, M.M., Pegoraro, R.F., Maia, V.M., Kondo, M.K., Fernandes, L.A., 2013. Crescimento do abacaxizeiro 'Vitória' irrigado sob diferentes densidades populacionais, fontes e doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(3): 769-781.
- Cavalcanti, T.F.M., Zuba Junio, G.R., Sampaio, R.S., Carneiro, J.P., Oliveira, E.S.A. de, Rodrigues, M.N., 2015. Yield of castor bean fertilized with sewage sludge and potassium and magnesium sulphate. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19 (8): 773–779.
- Chiba, M.K., Mattiazzo, M.E., Oliveira, F.C. 2008. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto: II., fertilidade do solo e

- nutrição da planta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 32: 653-662.
- Costa, F.X., Lima, V.L.A., Beltrão, N.E.M., Azevedo, C.A.V., Soares, F.A.L., Alva, L.D.M., 2009. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13: 687-693.
- Dores-Silva, P.R., Landgraf, M.D., Rezende, M.O.O., 2011. Acompanhamento químico da vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico. *Química Nova*, 34 (6): 956-961.
- EMBRAPA, 1997. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 212p.
- Galdos, M.V., Maria, I.C. de, Camargo, A.O., 2004. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 569-577.
- Lemanski, J., Silva, J.E. da, 2006. Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30: 741-750.
- Lima, L.M.Q., 1995. LIXO: tratamento e biorremediação. 3ª ed. São Paulo: Hemus. 265p.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, A.S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 319 p.
- Martinez, H.E.P., Carvalho, J.G. de, Souza, R.B. de, 1999. Diagnóstico foliar. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação*. Viçosa: UFV, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais 143-168.
- Nascimento, C.W.A., Barros, D.A.S., Melo, E.E.C., Oliveira, A.B., 2004. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 385-392.
- Nascimento, A.L., Sampaio, R.A, Brandão, D.S., Zuba Junio, G.R., Fernandes, L.A., 2011. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. *Revista Caatinga*, 24: 145-151.
- Nascimento, A.L., Sampaio, R.S., Zuba Junio, G.R., Carneiro, J.P., Fernandes, L.A., Rodrigues, M.N. 2014a. Teores de metais pesados no

- solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18 (3): 294-300.
- Nascimento, A.L., Sampaio, R.S., Zuba Junio, G.R., Fernandes, L.A., Cruz, S.F. da, Carneiro, J.P., Barbosa, C.F., Lima, N.N. de, 2014b. Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol. *Bioscience Journal*, 30: 146-153.
- Nascimento, A.L., Zuba Junio, G.R., Sampaio, R.A., Fernandes, L.A., Carneiro, J.P., Barbosa, C.F. 2015. Metais pesados no solo e mamoneira adubada com biossólido e silicato de cálcio e magnésio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19 (5): 505-511.
- Nogueira, T.A.R., Sampaio, R.A., Fonseca, I., Ferreira, C.S., Santos, S.E., Ferreira, L.C., Gomes, E., Fernandes, L.A., 2007. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11: 331-338.
- Oliveira, E.F., Carvalho, R.A., Lacerda, J.T., Choairy, A.S., Barreiro Neto, M., 2002. Abacaxi: sistema de cultivo para o tabuleiro paraibano. João Pessoa: EMEPA, 38p.
- Pedroza, M.M., Vieira, G.E. G., Sousa, J.F. de, Pickler, A.de C., Leal, E.R.M., Milhomen, C. da C., 2010. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. *Revista Liberato*, 11 (16): 89.
- Prates, F.B.S., Sampaio, R.A., Silva, W.J., Fernandes, L.A., Zuba Junio, G.R., Saturnino, H.M., 2011. Crescimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. *Revista Caatinga*, 24: 101-112.
- Souza, M.de, Guimarães, P.T.G., Carvalho, J.G. de, Fragoas, J.C., 1999. Abacaxizeiro. In: Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez V., V.H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação*. Viçosa: UFV, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. p. 221.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J. 1995, *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS. 174 p.
- Zuba Junio, G.R., Sampaio, R.S., Nascimento, A.L., Fernandes, L.A., Lima, N.N. de, Carneiro, J.P., 2015. Attributes of the soil fertilized with sewage sludge and calcium and magnesium silicate. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19 (11): 1107–1113.

Zuba Junio, G.R., Sampaio, R.A., Nascimento, A.L., Lima, N.N., Fernandes, L.A., 2011. Crescimento inicial de mamoneira adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. *Revista Caatinga*, 24: 157-163.

Zuba Junio, G.R., Sampaio, R.S., Nascimento, A.L., Santos, G.B., Santos, L.D.T., Fernandes, L.A., 2013. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17 (7): 706–712.

## **5.2 Artigo 2 - Conteúdo de Metais Pesados no Solo e no Abacaxi Adubados com Lodo de Esgoto**

Este artigo foi elaborado conforme normas do Journal of Agricultural Science (JAS).

## **Teores de Metais Pesado no Solo e no Abacaxizeiro Adubado com Lodo de Esgoto**

### **Resumo:**

O uso de lodo de esgoto na agricultura pode aumentar os níveis de metais pesados no solo, comprometendo seu uso como fertilizante. O objetivo deste trabalho foi avaliar a contaminação do solo e do abacaxi por metais pesados após a aplicação do lodo de esgoto tratado por diferentes formas em três ordens de solos sob condições de casa de vegetação. Os tratamentos, em esquema fatorial  $7 \times 3$  foram distribuídos em delineamento de blocos casualizados com três repetições, correspondendo a sete manejos de adubação: solo sem adubação, adubação química, adubação com esgoto compostado, adubação com lodo de vermicompostagem, adubação com lodo de esgoto solarizado, adubação como lodo de esgoto secador em secadora e adubação com lodo de esgoto caleado, combinados com três ordens de solos: Cambissolo, Nitossolo e Argissolo. Os teores de Zn, Cu, Cr, Pb, Ba, Cd, Ni, As e Se foram analisados no solo, na folha D e na polpa do abacaxizeiro. O Argissolo proporcionou condições mais favoráveis ao aumento da disponibilidade e absorção de Pb e As pela folha D e pelo fruto do abacaxi. A adubação com lodo de esgoto compostado, vermicomposto e solarizado proporcionou altos teores de Pb, As, Zn na folha D e no fruto do abacaxizeiro, relacionando a interferência do processo de estabilização do lodo com a absorção de metais pelo fruto.

**Palavras-chave:** *Ananas comosus* var. *comosus*, adubação orgânica, biossólido, resíduos sólidos.

## **Content of Heavy Metals in Soil and in Pineapple Fertilized With Sewage Sludge**

**Abstract** The usage of sewage sludge in agriculture can increase the levels of heavy metals in the soil, compromising their use as fertilizer. The objective of this study was to evaluate the contamination of soil and pineapple by heavy metals after the application of treated sewage sludge by different forms in three orders of soils under greenhouse conditions. The treatments, in a factorial scheme  $7 \times 3$  were distributed in a randomized complete block design with three replications, corresponding to seven fertilization management: soil without fertilization, chemical fertilization, fertilization with composted sludge sewage, fertilization with vermicompost sewage sludge, fertilization with solarized sewage sludge, fertilization as sewage sludge dried in a Bruthus-Albrecht rotary sludge dryer and fertilization with limed sludge sewage, combined with three orders of soils: Cambisol, Nitisol and Acrisol. The Zn, Cu, Cr, Pb, Ba, Cd, Ni, As and Se contents were analyzed in the soil, in the leaf of greater length (D leaf) and in the fruit pulp of the pineapple. The Acrisol provided more favorable conditions to the increase in the availability and absorption of Pb and As by D leaf and fruit of the pineapple. Fertilization with composted, vermicompost and solarized sewage sludge provided high levels of Pb, As, Zn in leaf D and in the pineapple fruit, relating the interference of sludge stabilization process with the absorption of metals by pineapple fruits.

**Keywords:** *Ananas comosus* var. *comosus*, biosolid, organic fertilization, solid waste.

## Introdução

A utilização agrícola de lodo de esgoto ou produtos provenientes de sua estabilização é uma alternativa importante para a redução dos custos de produção e para o aumento da produtividade de diversas culturas, uma vez que este resíduo promove melhorias físicas e químicas do solo devido aos altos níveis de nutrientes e matéria orgânica (Nascimento *et al.*, 2004; Lemainski & Silva, 2006; Zuba Junio *et al.*, 2012; Ribeirinho *et al.*, 2012).

O nitrogênio é o nutriente vegetal mais importante no lodo de esgoto. É o elemento que determina a dose de lodo a ser aplicado na fertilização da cultura quando não há excedente de metais pesados (Brasil, 2006). Entretanto, a aplicação de lodo de esgoto com base apenas na concentração de nitrogênio pode causar desequilíbrio nutricional, uma vez que a concentração de potássio nesse resíduo é muito baixa, o que pode limitar a produção das plantas. Por outro lado, em condições tropicais, a aplicação de lodo de esgoto com base apenas na concentração de potássio pode elevar os níveis de nitrogênio no solo a níveis muito altos, aumentando o risco de contaminação do lençol freático com este elemento. Assim, a aplicação de lodo de esgoto com base na concentração de nitrogênio, no entanto, complementada com fósforo e potássio, parece ser o melhor manejo para esse uso de fertilizantes. (Tontti *et al.*, 2017). Nesse contexto, o abacaxi apresenta alta demanda por N (Caetano *et al.*, 2013; Cardoso *et al.*, 2013) e o lodo pode substituí-lo, o que é uma importante economia de fertilizantes para a cultura além de proporcionar um destino adequado do resíduo orgânico (Mota *et al.*, 2018).

Por outro lado, o lodo pode conter níveis mais elevados de metais pesados que o solo, particularmente Pb, Ni, Cd, Cr, Cu e Zn, inviabilizando seu uso como fertilizante na agricultura (Nogueira *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2009; Nascimento *et al.*, 2014a; Mota *et al.*, 2018). Vários estudos relacionam a dependência da contaminação do solo com metais pesados com a forma como o lodo de esgoto é gerenciado na agricultura e com a composição do solo. A longo prazo, com aplicações sucessivas deste resíduo, observou-se o aumento

do teor de alguns metais pesados no solo (Nascimento *et al.*, 2004; Gomes *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2006).

O uso seguro de lodo na agricultura depende da adoção de processos de estabilização, pois reduzem a presença de contaminantes biológicos e podem reduzir a solubilidade de metais pesados. Entre esses processos, destaca-se a estabilização do lodo por solarização, compostagem, vermicompostagem e caleação (Nascimento *et al.*, 2014a). Segundo Nogueira *et al.* (2007), devido ao aumento do pH, o uso de lodo de esgoto caleado promove intensa redução na disponibilidade de metais pesados no solo. Neste estudo, a aplicação de lodo de esgoto caleado proporcionou um valor de pH no solo de 6,63, enquanto a aplicação de lodo de esgoto solarizado com a mesma quantidade de nitrogênio elevou o pH do solo para 8,33. Com este aumento de pH, as reduções nos teores de elementos disponíveis foram 28% Zn, 49% Cu, 80% Pb e 41% Ni.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a contaminação do abacaxizeiro com metais pesados em três ordens de solos após a aplicação de lodo de esgoto submetido a diferentes processos de estabilização.

## **Material e métodos**

O experimento foi realizado em casa de vegetação, tipo telado, no município de Montes Claros – MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, no período novembro de 2014 a setembro de 2016, cultivando-se o abacaxi variedade Pérola, em três ordens de solos, cujos atributos químicos e físicos das camadas de 0-20 cm de profundidade são apresentados na Tabela 1. As condições climáticas no período de crescimento são mostradas na Figura 1.

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do Cambissolo Háplico (CX), Nitossolo Háplico (NX) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) utilizados no estudo

Solo	pH-H <sub>2</sub> O	P-rem	N	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V
		mg L <sup>-1</sup>	g dm <sup>-3</sup>	---	mg dm <sup>-3</sup>	---	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				----- dag kg <sup>-1</sup> -----			
CX	6,8	39,00	6,02	4,99	396,50	5,60	1,55	0,0	1,35	8,78	8,78	9,52	0,00	86
NX	5,8	39,80	6,46	3,05	324,00	4,65	1,15	0,0	2,09	6,63	6,63	8,72	0,00	76
PVA	6,4	43,32	6,04	6,08	154,00	8,30	2,25	0,0	1,87	10,94	10,94	12,81	0,00	86
Solo	MO	CO	Cr	Cu	Zn	Pb	Ba	Se	As	Areia	Silte		Argila	
	-- dag kg <sup>-1</sup> --		----- mg dm <sup>-3</sup> -----								----- dag kg <sup>-1</sup> -----			
CX	4,06	2,36	45,77	11,60	33,77	21,40	9,89	<0,1	3,52	25,03	37,63		37,34	
NX	5,19	3,81	31,93	7,64	15,88	14,55	1,46	<0,1	4,93	30,35	27,13		42,52	
PVA	6,56	3,81	24,83	10,47	21,87	13,20	2,94	<0,1	3,77	36,42	24,23		39,35	

Nota. <sup>1</sup>Atributos químicos e físicos determinados de acordo com as metodologias da Embrapa (Embrapa, 1997), exceto para as concentrações totais de Cr, Cu, Zn, Pb, Ba, Se e As, que foram determinadas segundo as metodologias de McGrath e Cunliffe (1985).

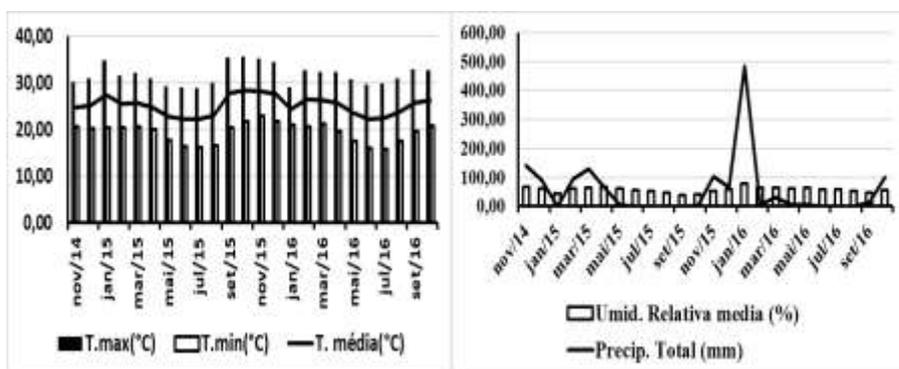


Figura 1 – Valores médios mensais de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa e precipitação durante o período de cultivo do abacaxi

Fonte: INMET, 2019.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 7 x 3, sendo: solo sem adubação, adubação química (NPK), adubação com lodo de esgoto compostado, adubação com lodo de esgoto vermicompostado, adubação com lodo de esgoto solarizado, adubação com lodo de esgoto secado em secadora e adubação com lodo de esgoto caleado, combinados com três ordens de solos: Cambissolo Háplico (CX), Nitossolo Háplico (NX) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA).

A adubação correspondente ao tratamento com NPK baseou-se na exigência da cultura e na análise química das três ordens de solos (Souza *et al.*, 1999), utilizando 20,0 g de ureia por planta, 16,7 g de superfosfato simples por planta e 8,6 g de KCl por planta no Cambissolo e no Nitossolo, enquanto que no Argissolo foram aplicados 20,0 g por planta de ureia, 16,7 g por planta de superfostato simples e 17,2 g por planta de KCl, respectivamente.

O lodo de esgoto foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE de Montes Claros – MG, operada pela COPASA-MG. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB, sendo o lodo gerado centrifugado e secado em estufa a 350 °C durante 30 minutos, e classificado como um lodo tipo A, conforme Resolução CONAMA nº 375 (Brasil, 2006). O lodo de esgoto do tipo A, contém coliformes termotolerantes com concentração inferior a  $10^3$  número mais provável (MPN) por grama de sólidos totais (TS), ovos de helmintos viáveis com menos de 0,25 ovos por grama de TS, ausência de salmonelas em 10 gramas de TS e vírus com menos de 0,25 unidades formadoras de placas (PFU) por grama de TS.

O lodo de esgoto caleado foi obtido pela adição de cal virgem, em quantidade correspondente a 50% da massa seca de lodo de esgoto. A dose do resíduo foi baseada no ensaio de elevação de pH dos solos descrito no Brasil (2006), em que a quantidade aplicada foi aquela em que o pH final da mistura de lodo caleado-solo não ultrapassou o limite de 7,0, utilizando-se: 31,28 g por planta

para o Cambissolo, 39,85 g por planta para o Nitossolo e 63,79 g por planta para o Argissolo.

Para a compostagem foi misturado lodo de esgoto centrifugado a poda de grama, cuja espécie predominante foi o *Paspalum notatum* (grama-batatais), de forma a se obter uma relação C:N de 30:1. Periodicamente, foram monitoradas a temperatura e a umidade e realizados revolvimentos sistemáticos das pilhas de compostagem para homogeneização dos materiais e controle da umidade e aeração.

Para obtenção do vermicomposto, foi feito um pré-composto de lodo de esgoto misturado à poda de grama, conforme descrito para a compostagem. Após um mês de compostagem foi utilizado como substrato para a vermicompostagem com minhocas vermelhas da Califórnia (*Eisenia foetida*).

Para os tratamentos com lodo de esgoto, exceto o lodo de esgoto caleado, as quantidades aplicadas foram baseadas nos teores de nitrogênio disponível nos resíduos para aplicação subsuperficial (Brasil, 2006) e no requerimento desse elemento pelo abacaxizeiro (Souza *et al.*, 1999), sendo: 2,43 kg por planta de lodo de esgoto compostado, 2,37 kg por planta de lodo de esgoto vermicompostado, 1,58 kg por planta de lodo solarizado e 1,33 kg por planta de lodo seco em secadora.

As características químicas dos fertilizantes utilizados no estudo e o aporte de metais pesados são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Características dos adubos químicos e dos tipos de lodo de esgoto (LE) utilizados no estudo<sup>1</sup>

Tratamentos	N (disp.)	Zn	Cu	Cr	Pb	As
	g kg <sup>-1</sup>	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
LC	12,70	452,82	8,40	88,68	49,07	0,67
LV	22,64	381,31	7,06	35,41	32,04	0,33
LS	20,12	718,27	24,29	31,35	48,08	0,31
LSE	12,56	778,85	26,10	32,83	51,08	0,27
LCA	11,44	375,05	5,25	18,91	44,48	0,45
CMP	-	2.800	1.500	1.000	300	41
Ureia	440,00	2,50	16,20	0,00	8,00	0,00
SS	0,00	142,00	16,20	333,00	116,0	0,00
KCl	0,00	2,50	4,62	0,00	83,83	0,00

Nota. <sup>1</sup>O teor de N disponível no lodo de esgoto foi estimado de acordo com o cálculo apresentado no Brasil (2006), que é baseado no conteúdo total e inorgânico de N determinado pelo método Kjeldahl (Tedesco *et al.*, 1995) ; Os níveis de N e metais pesados nos fertilizantes foram determinados de acordo com as metodologias de Alcarde (2009); Os níveis de metais pesados no lodo de esgoto foram determinados de acordo com metodologias de Malavolta (2006); Os elementos Ba, Cd, Ni e Se não foram detectados ou quantificados; LC – lodo de esgoto compostado; LV - lodo de esgoto vermicompostado; LS - lodo de esgoto solarizado; LSE - lodo de esgoto secado em secadora; LCA - lodo de esgoto caleado; CMP - Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (BRASIL, 2006); SS – Superfosfato simples.

Tabela 3 – Aporte de metais pesados a partir dos adubos químicos e dos tipos de lodo de esgoto (LE) aplicados no estudo

Tratamentos	Zn	Cu	Cr	Pb	As
	----- mg/planta -----				
LC (2,43 kg/planta)	1.100,35	20,41	215,49	119,24	1,63
LV (2,37 kg/planta)	903,71	16,73	83,92	75,94	0,78
LS (1,58 kg/planta)	1.134,87	38,38	49,53	75,97	0,49
LSE (1,33 kg/planta)	1.035,87	34,71	43,66	67,94	0,36
LCA-CX (31,28 g/planta)	11,73	0,16	0,59	1,39	0,01
LCA-NX (39,85 g/planta)	14,95	0,21	0,75	1,77	0,02
LCA-PVA (63,79 g/planta)	23,92	0,34	1,21	2,84	0,03
CMP	2.800	1.500	1.000	300	41
CX e NX:					
Ureia (20,0 g/planta)	0,05	0,05	0,32	0,00	0,16
SS (16,7 g/planta)	2,37	2,37	0,27	5,56	1,94
KCl (8,6 g/planta)	0,02	0,02	0,04	0,00	0,72
PVA:					
Ureia (20,0 g/planta)	0,05	0,05	0,32	0,00	0,16
SS (16,7 g/planta)	2,37	2,37	0,27	5,56	1,94
KCl (17,2 g/planta)	0,04	0,08	0,00	1,44	0,00

Nota. 1 Os teores de metais pesados nos fertilizantes foram determinados de acordo com as metodologias de Alcarde (2009); Os níveis de metais pesados no lodo de esgoto foram determinados de acordo com metodologias de Malavolta (2006); LC – lodo de esgoto compostado; LV - lodo de esgoto vermicompostado; LS - lodo de esgoto solarizado; LSE - lodo de esgoto secado em secadora; LCA - lodo de esgoto caleado; CX – Cambissolo Háplico; NX – Nitossolo Háplico; PVA – Latossolo Vermelho Amarelo; CMP - Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (BRASIL, 2006);SS – Superfosfato simples.

Os solos utilizados no experimento foram coletados na profundidade de 0-20 cm, secados ao ar e passados em peneira de 4 mm, sendo misturados aos diferentes tratamentos e acondicionados em vasos de 10 dm<sup>3</sup>, preenchendo-se volume equivalente a 8 dm<sup>3</sup> onde foi realizado o plantio das mudas do tipo filhote da cultivar Pérola, previamente selecionadas pelo tamanho, com aproximadamente 15 cm de comprimento e tratadas quimicamente com inseticida sistêmico do grupo químico neonicotinoide (Evidence 700WG).

A irrigação foi feita de forma a manter a umidade do solo próxima a capacidade de campo. O controle de plantas daninhas, fitopatógenos e insetos foram efetuados constantemente após o plantio das mudas nos vasos, quando necessário. Também foi feita a indução floral aos 12 meses após o plantio das

mudas mediante aplicação de solução de etrel a 1%, aplicada no centro da roseta foliar, utilizando-se cerca de 50 mL por planta (Oliveira *et al.*, 2002).

No início do florescimento das plantas, o qual variou de 10 a 13 meses após o plantio das mudas, foi coletada a folha 'D' do abacaxizeiro e amostras de solo para determinação dos teores de metais pesados. A folha D é a mais jovem entre as folhas adultas e a mais longa das folhas, com bordas convergentes na base (Figura 2). É a folha metabolicamente ativa do abacaxi, sendo utilizada na análise do estado nutricional da planta e para avaliar o momento da indução floral. A folha D foi cortada em pedaços de 1 cm de largura, eliminando a porção basal sem clorofila, sendo homogeneizada e analisada (Cunha *et al.*, 1999; Silva, 1999). Após a colheita do fruto, foram retiradas amostras da polpa para determinação dos teores de metais pesados.

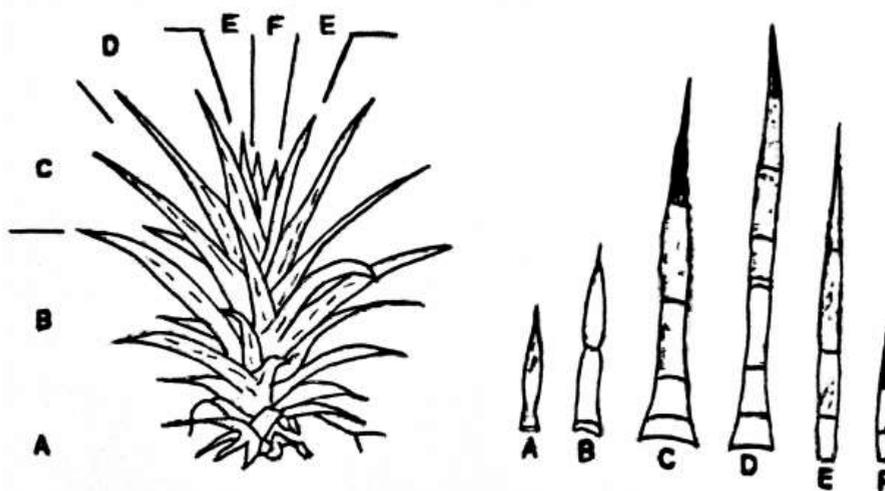


Figura 2 – Posição das folhas de abacaxi de acordo com a idade. A - Folha de planta mais velha, F - Folha de planta mais jovem

Fonte: Catunda *et al.*, 2006.

O teor de N disponível no lodo de esgoto foi estimado de acordo com o cálculo apresentado no Brasil (2006), que é baseado no conteúdo total e inorgânico de

N determinado pelo método Kjeldahl (Tedesco *et al.*, 1995). Por outro lado, a determinação do N total em fertilizantes químicos seguiu a metodologia níquel Raney, conforme descrito em Alcarde (2009).

As extrações de Se, Como, Ni, Cd, Cu, Zn, Pb e Ba e Cr no solo foram realizadas com água régia (HCl: HNO<sub>3</sub>, 3:1, com 37% de HCl e 65% de HNO<sub>3</sub>). De acordo com a metodologia descrita em McGrath e Cunliffe (1985), no lodo de esgoto e tecidos vegetais foram feitos por digestão nítrico- perclórica (65% HNO<sub>3</sub> + 72% HClO<sub>4</sub>), de acordo com a metodologia descrita em Malavolta (2006), enquanto as extrações de metais pesados em fertilizantes minerais foram feitas com 37% de HCl concentrado e aquecidas até próximo à secura e diluídas com HCl 2M de acordo com Alcarde (2009).

As leituras dos metais pesados no solo foram realizadas utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica Varian, modelo AA 240, com os seguintes limites de quantificação: Se (4,25 µg dm<sup>-3</sup>), As (2 µg dm<sup>-3</sup>), Cu (0,1 mg dm<sup>-3</sup>), Zn (0,15 mg dm<sup>-3</sup>), Pb (2,5 mg dm<sup>-3</sup>), Ba (5 mg dm<sup>-3</sup>) e Cr (1,25 mg dm<sup>-3</sup>). Por outro lado, as leituras dos metais para a folha "D" e na polpa do fruto foram feitas por espectrômetro de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), com os seguintes limites de quantificação: As, Ba, Pb (1 µg L<sup>-1</sup>), Cr, Cu (0,5 µg L<sup>-1</sup>) e Se, Zn (2,5 µg L<sup>-1</sup>).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas à 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

## **Resultados e discussão**

As concentrações de Ba, Cd, Ni e Se no lodo de esgoto ficaram abaixo dos níveis de detecção ou de quantificação pelos métodos de análises utilizados. Por outro lado, os elementos Zn, Cu, Cr, Pb e As foram quantificados (Tabela 2), porém, ficaram abaixo das concentrações máximas permitidas em lodo de esgoto ou produto derivado do lodo, para utilização na agricultura, estabelecidas pela resolução CONAMA nº 375 (Brasil, 2006).

Para os teores de As no solo, observou-se inexistência de interação entre os tipos adubos e as ordens de solos, enquanto para os teores de Pb, Cr, Cu e Zn houve interação entre os fatores estudados (Tabela 4). O Argissolo foi a ordem de solo com menores teores de Pb, Cr e As, considerados os de maior impacto ambiental, dentre os elementos considerados nessa pesquisa. Em relação aos elementos Pb e Cr, os teores encontrados, após 10 meses de cultivo, inclusive o da testemunha, foram superiores aos teores obtidos na caracterização dos solos (Tabela 1), o que indica algum aporte adicional desses elementos pela água de irrigação. No entanto, no caso do As, houve redução substancial desse elemento após o período de cultivo mencionado. Os teores de Pb, Cr e As nos diferentes solos apresentaram variação próxima daquelas observadas na caracterização (Tabela 1). Quanto ao Cu e Zn, os teores foram, em geral, muito próximos entre as ordens de solos, com algumas poucas variações relacionadas possivelmente a absorção dos elementos pela planta.

Conforme descrito na Embrapa (2018), as três ordens de solos utilizadas neste estudo são de natureza mineral e não hidromórfica, com alto potencial redox. O Cambissolo apresenta uma pedogênese pouco avançada, com maior teor de silte em sua composição granulométrica, e a presença predominante de illita e caulinita em sua fração argila, sendo o pH deste solo próximo da neutralidade (Tabela 1). Por outro lado, o Nitossolo apresenta evolução pedogenética avançada por meio da ferralitização com intensa hidrólise, promovendo uma composição caulinita-oxídica ou mesmo caulinitica, ou com hidróxi-alumínio entre camadas em sua fração argila. Apresenta sempre uma textura argilosa ou muito argilosa e é, em geral, moderadamente ácida a ácida. O Argissolo também apresenta evolução pedogenética avançada, porém, com desempenho incompleto do processo de ferralitização, com predomínio de caulinita em sua fração argila. Neste solo, o horizonte superior tende a ser mais arenoso e a acidez varia de forte a moderada. Aparentemente, o maior teor de matéria orgânica observado no Argissolo (Tabela 1) pode ter provocado uma maior redução do potencial redox (Asgar e Kanehiro, 1988), com consequente redução de óxidos de ferro e maior disponibilidade dos metais mencionados.

Tabela 4 – Teores de metais pesados totais no solo adubado com fertilizante químico e lodo de esgoto estabilizado de diferentes formas

Elemento (mg dm <sup>-3</sup> )	Solo	Adubações							Média	CV %	LI
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7			
		------(mg dm <sup>-3</sup> )-----									
Pb	CX	31,73Aa	32,94Aa	36,13Aa	35,03Aa	33,68Aa	34,90Aa	31,50Aa	-		
	NX	33,11Aa	30,77Ab	37,47Aa	31,42Ab	35,71Aa	34,41Aa	26,90Bc	-	7,51	180
	PVA	21,60Bb	22,48Bb	24,15Ba	27,47Ba	19,92Bb	25,34Ba	22,14Cb	-		
Cr	CX	73,47Bb	61,82Ac	92,51Ba	81,43Ab	52,58Bc	77,08Ab	51,76Ac	-		
	NX	90,54Ab	67,81Ac	174,71Aa	56,72Bd	88,59Ab	85,75Ab	50,37Ad	-	12,02	150
	PVA	40,17Cb	26,03Bb	33,63Cb	73,21Aa	36,32Cb	61,00Ba	37,59Ab	-		
Cu	CX	15,95Ad	15,95Ad	30,86Ac	35,64Ab	39,87Aa	30,52Bc	15,19Ad	-		
	NX	15,24Ad	14,97Ad	33,23Ab	31,64Ab	41,22Aa	28,43Bc	15,28Ad	-	9,27	200
	PVA	14,01Ac	13,51Ac	28,02Bb	34,82Aa	33,22Ba	34,09Aa	14,39Ac	-		
Zn	CX	18,55Ad	74,29Ac	115,46Ab	98,97Bb	184,51Aa	131,90Ab	39,79Ad	-		
	NX	34,95Ab	33,97Bb	133,00Aa	141,84Aa	161,33Aa	147,00Aa	39,23Ab	-	20,00	450
	PVA	36,17Ad	44,33Bd	82,15Bc	153,44Aa	149,98Aa	115,30Ab	36,69Ad	-		
As	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,70B		
	NX	-	-	-	-	-	-	-	0,82A	15,95	35
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	0,45C		
	Média	0,72a	0,65a	0,70a	0,60b	0,56b	0,68a	0,67a	-		

Nota. T1- testemunha; T2 – adubação química; T3 – lodo de esgoto compostado; T4 - lodo de esgoto vermicompostado; T5 - lodo de esgoto solarizado; T6 - lodo de esgoto secado em secadora; T7 - lodo de esgoto caleado; LI - teor máximo limite para solos agrícolas, em base seca (MINAS GERAIS, 2011); CX – Cambissolo Háplico; NX – Nitossolo Háplico; PVA – Argissolo Vermelho Amarelo.

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

Os teores de Pb, Cr, Cu e Zn foram considerados menores nos solos dos tratamentos testemunha, adubação química e adubação com lodo de esgoto caleado (Tabela 4). Este fato pode ser atribuído à menor aporte desses elementos no processo de fertilização (Tabela 3). Para As, menores teores foram obtidos em solos adubados com lodo vermicompostado e lodo solarizado, indicando que a adição desses compostos pode ter contribuído para a adição de ácidos fúlvicos, que competem com As por sítios de adsorção de

minerais do solo, principalmente ferro, possível obter perdas por volatilização ou absorção pelas plantas em pH moderadamente ácido (Grafe *et al.*, 2002), como observado nesses solos (pH  $5,5 \pm 0,5$ , dados não mostrados).

Com base nos resultados obtidos pode-se afirmar que após a aplicação de lodo ou fertilizantes químicos os teores de metais pesados no solo ficaram abaixo dos limites de críticos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 166 de Minas Gerais, publicado em 29 de junho de 2011 (Minas Gerais, 2011), sugerindo a utilização segura do lodo ou compostos de lodo utilizado nessa pesquisa na agricultura, em vista do menor teor de metais pesados nos solos utilizados. Todavia, existem na literatura muitas discrepâncias com relação aos níveis de contaminação do solo com metais pesados vindos do lodo de esgoto, os quais variam muito conforme o solo, a qualidade do lodo de esgoto e de seus derivados, dose aplicada e frequência de adubação (Nogueira *et al.*, 2007; Nogueira *et al.*, 2008; Zuba Junio *et al.*, 2011; Nascimento *et al.*, 2014a; Nascimento *et al.*, 2014b; Nascimento *et al.*, 2015).

A absorção de metais pesados pela folha D do abacaxizeiro foi influenciada pelas classes de solo e tipo de adubação, obtendo-se interação desses fatores para teores de Cu, e efeitos simples para os demais elementos (Tabela 5). Os teores foliares mais elevados de Cu foi observado no Argissolo adubado com lodo compostado e no Nitossolo adubado com vermicomposto. Entretanto, esses teores de Cu na folha D foram considerados inferiores aos limites excessivos descritos por Kabata-Pendias & Pendias (2001).

Tabela 5 – Teores de metais pesados na folha D do abacaxizeiro adubado com fertilizante químico e lodo de esgoto estabilizado de diferentes formas

Elemento (mg kg <sup>-1</sup> )	Solo	Tratamentos							Média	cv %	Exc
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7			
------(mg kg <sup>-1</sup> )-----											
Cu	CX	3,10Aa	3,60Aa	2,94Ba	2,52Ba	2,77Aa	4,39Aa	4,48Aa	-	54,27	20 -100
	NX	2,43Ab	4,66Ab	3,05Bb	10,54Aa	2,98Ab	3,73Ab	3,35Ab	-		
	PVA	2,15Aa	2,90Aa	6,84Aa	2,54Ba	3,71Aa	4,47Aa	3,33Aa	-		
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pb	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,71B	72,71	30-300
	NX	-	-	-	-	-	-	-	0,96B		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	1,51A		
	Média	1,08a	0,83a	0,92a	0,80a	1,05a	1,03a	1,69a			
Cr	CX	-	-	-	-	-	-	-	1,73A	29,66	5-30
	NX	-	-	-	-	-	-	-	1,56A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	1,42A		
	Média	1,47a	1,55a	1,61a	1,77a	1,66a	1,59a	1,33a			
Zn	CX	-	-	-	-	-	-	-	14,59A	48,23	100-400
	NX	-	-	-	-	-	-	-	13,59A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	10,91A		
	Média	9,41b	12,05b	17,95a	18,89a	12,89b	9,10b	10,91b			
Ba	CX	-	-	-	-	-	-	-	1,91A	37,90	500
	NX	-	-	-	-	-	-	-	1,97A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	2,18A		
	Média	2,16b	3,03a	1,43b	1,79b	1,45b	1,55b	2,73a			
As	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,08A	116,44	5-20
	NX	-	-	-	-	-	-	-	0,04A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	0,04A		
	Média	0,05a	0,08a	0,06a	0,05a	0,04a	0,05a	0,05a			
Se	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,57A	393,24	5-30
	NX	-	-	-	-	-	-	-	0,12A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	0,50A		
	Média	0,07a	0,28a	0,10a	0,13a	0,08a	0,10a	1,13a			

Notas: T1- testemunha; T2 – adubação química; T3 – lodo de esgoto compostado; T4 - lodo de esgoto vermicompostado; T5 - lodo de esgoto solarizado; T6 - lodo de esgoto secado em secadora; T7 - lodo de esgoto caledado; CX - Cambissolo; NX - Nitossolo; PVA - Argissolo; Exc - excesso do elemento segundo Kabata-Pendias & Pendias (2001).

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

O teor médio de Pb na folha D foi maior no tratamento com Argissolo (Tabela 5), mesmo com a obtenção de menores teores nesse solo em comparação aos demais (Tabela 4), evidenciando que outras características químicas e físicas

do Argissolo interferiram na absorção de Pb pelas plantas, como a maior presença de compostos orgânicos de baixo peso molecular responsáveis pela maior mobilidade de metais no solo, pois no Argissolo obteve-se maiores teores nativos de matéria orgânica do solo. No entanto, para os elementos Cr, Zn, Ba, As e Se não houve nenhuma diferença de teores na folha D entre as ordens de solos.

A aplicação de lodo compostado e vermicompostado também aumentaram o teor de Zn na folha D do abacaxizeiro, não havendo diferenças entre os demais tipos de adubação (Tabela 5). Inferindo que a compostagem e vermicompostagem do lodo contribuíram para maior formação de complexos organo-minerais solúveis, entre Zn, Cu e substâncias húmicas, tornando esses elementos menos susceptíveis a interações com o solo e mais disponíveis para absorção pelas plantas (García-Mina *et al.*, 2004). O teor de zinco apresentou valores mais baixos com a adição de lodo seco e solarizado, mesmo com maior aplicação desse elemento por esses resíduos. Isso pode implicar que a matéria orgânica menos estabilizada desses resíduos pode contribuir para a diminuição da disponibilidade do teor de Zn no solo e, conseqüentemente, nas diversas partes das plantas.

A adubação química e a aplicação de lodo caleado aumentaram o teor de Ba na folha D, em comparação aos demais tratamentos (Tabela 5). Neste caso o aumento de Ba nas folhas não foi atribuído ao aporte direto de adubos ao solo (tabela 3), mas em virtude da solubilização de Ba nativo do solo, como consequência de reações químicas e biológicas provocadas pela aplicação dos adubos. Como resultado, parece ter havido um efeito da matéria orgânica do lodo de esgoto na redução da absorção desse elemento pela planta. Embora, para alguns metais pesados, possa haver o aumento de sua disponibilidade na presença de matéria orgânica, para elementos como o Ba, pode ocorrer ligações com enxofre e precipitação na forma de sulfatos ou carbonatos de bário, reduzindo a sua disponibilidade e absorção pela planta (Ippolito and Barbarick, 2006), principalmente na faixa de pH próximo a condições de neutralidade ou alcalinas (Abreu *et al.*, 2012). Por outro lado, os teores de Cr,

As e Se na folha D não foram influenciados pela aplicação dos diferentes tipos de adubações.

Os teores de metais pesados obtidos na folha D do abacaxizeiro ficaram abaixo daqueles considerados excessivos ou que pudessem causar toxicidade a planta (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Além disso, não ocorreram diferenças substanciais entre os teores de metais pesados na folha quando a adubação foi realizada com lodo de esgoto ou com fertilizante mineral. Comportamento similar a esse foi observado por Mota *et al.* (2018), ao estudarem os teores de As, Ba, Pb, Cu, Cd, Cr, Ni e Zn em folhas de variedades de abacaxis adubadas com lodo de esgoto e fertilizante mineral. Segundo os autores, o Zn foi o único elemento que apresentou teores mais elevados nas folhas dos abacaxizeiros na adubação com lodo de esgoto, em comparação a adubação mineral.

Na avaliação dos teores de metais presentes no fruto do abacaxizeiro (Tabela 6), observou-se interação entre as ordens de solos e os tipos de adubação para Pb e As. O teor de Zn no fruto foi influenciado pelos tipos de adubação e os demais elementos Cr, Cu, Ba e Se não foram alterados pelos tratamentos.

Tabela 6 – Teores de metais pesados na massa fresca do fruto do abacaxizeiro adubado com fertilizante químico e lodo de esgoto estabilizado de diferentes formas

Elemento (mg kg <sup>-1</sup> )	Solo	Tratamentos							Média	CV (%)	LM
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7			
Pb	CX	0,13Aa	0,11Aa	0,12Aa	0,08Ba	0,09Aa	0,15Aa	0,06Ba	-	57,58	*0,10
	NX	0,08Aa	0,07Aa	0,09Aa	0,07Ba	0,06Aa	0,10Aa	0,15Aa	-		
	PVA	0,18Ab	0,12Ab	0,14Ab	0,40Aa	0,10Ab	0,13Ab	0,23Ab	-		
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-		
As	CX	0,003Aa	0,003Aa	0,002Ba	0,003Ba	0,012Aa	0,002Aa	0,002Aa	-	111,76	*0,30
	NX	0,003Aa	0,003Aa	0,002Ba	0,002Ba	0,002Ba	0,002Aa	0,002Aa	-		
	PVA	0,002Ab	0,002Ab	0,015Aa	0,018Aa	0,014Aa	0,009Ab	0,006Ab	-		
	Média	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cr	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,14A	36,26	**0,10
	NX	-	-	-	-	-	-	-	0,14A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	0,17A		
	Média	0,18a	0,14a	0,16a	0,14a	0,14a	0,15a	0,14a	-		
Cu	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,43A	56,40	***10,0
	NX	-	-	-	-	-	-	-	0,42A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	0,39A		
	Média	0,52a	0,45a	0,38a	0,35a	0,46a	0,41a	0,32a	-		
Zn	CX	-	-	-	-	-	-	-	1,37A	41,31	**50,0
	NX	-	-	-	-	-	-	-	1,24A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	1,11A		
	Média	0,50c	0,66c	1,58b	1,54b	2,39a	1,10c	0,90c	-		
Ba	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,26A	79,49	-
	NX	-	-	-	-	-	-	-	0,27A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	0,25A		
	Média	0,28a	0,34a	0,40a	0,17a	0,19a	0,21a	0,24a	-		
Se	CX	-	-	-	-	-	-	-	0,002A	202,60	**0,30
	NX	-	-	-	-	-	-	-	0,002A		
	PVA	-	-	-	-	-	-	-	0,003A		
	Média	0,002a	0,003a	0,002a	0,003a	0,002a	0,003a	0,002a	-		

Notas: T1- testemunha; T2 – adubação química; T3 – lodo de esgoto compostado; T4 - lodo de esgoto vermicompostado; T5 - lodo de esgoto solarizado; T6 - lodo de esgoto secado em secadora; T7 - lodo de esgoto caledado; CX – Cambissolo; NX – Nitossolo; PVA – Argissolo; LM\* - Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos permitidos nos Alimentos, em base fresca (Brasil, 2013); LM\*\* - Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos permitidos nos Alimentos, em base fresca (Brasil, 1965); LM\*\*\* - Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos permitidos nos Alimentos, em base fresca (Brasil, 1998).

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical ou minúscula na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

O Argissolo em associação com a aplicação de lodo vermicompostado e caledado proporcionou maior teor de Pb no fruto de abacaxi, e em associação

com o lodo compostado, vermicompostado e solarizado aumentou o teor de As no fruto, (Tabela 6). Como já mencionado, o maior conteúdo de matéria orgânica observado no Argissolo (Tabela 1) pode ter provocado uma maior redução do potencial redox e conseqüente redução dos óxidos de ferro, além de maior disponibilidade dos metais mencionados (Asgar & Kanehiro, 1988). Além disso, pode ter havido influência do aumento da adição de ácidos fúlvicos por alguns tipos de lodo de esgoto no aumento da disponibilidade e absorção de As pela planta (Grafe *et al.*, 2002).

Vale ressaltar que o Argissolo apresentou menor capacidade tampão (maior conteúdo de P remanescente) que os demais solos, o que pode contribuir para a menor capacidade de adsorção de íons aos minerais argilosos do solo, tornando-os mais disponíveis para as plantas. O P restante é utilizado para medir indiretamente a capacidade do tampão do solo em relação ao P (Teixeira *et al.*, 2017) e correlaciona-se com a superfície específica do solo (Fontana *et al.*, 2013). Em estudos sobre a imobilização de Pb e As em solos, Pierangeli *et al.* (2001) e Ladeira *et al.* (2002) afirmam que a maior adsorção desses elementos pelos solos, entre outros fatores, está associada a uma área superficial específica maior, bem como aos altos níveis de alumínio e óxidos de ferro. Outro fator que pode ter contribuído para a maior absorção destes metais no fruto é o maior teor de matéria orgânica do solo, implicando em maior disponibilidade de compostos quelantes de baixo peso molecular.

De modo geral, os teores de Pb e As em frutos de abacaxi no Argissolo ajustam-se com as observações feitas para os teores desses elementos no solo e na folha D, evidenciando que as propriedades químicas desse solo foram de fato mais favoráveis ao aumento da disponibilidade desses elementos. Além disso, no caso do Pb, o maior teor observado no fruto de abacaxi com a aplicação do lodo caleado no Argissolo (Tabela 6) pode também ser atribuído a maior quantidade aplicada do adubo nesse solo, com maior aporte desse elemento (Tabela 3).

Os teores de Pb e o As no fruto de abacaxi não variaram no Cambissolo e no Nitossolo quando foram aplicados os diferentes tipos de adubação (Tabela 6). Contudo, no Argissolo, a adubação com lodo de esgoto vermicompostado, no caso do Pb, e as adubações com lodo de esgoto compostado, vermicompostado e solarizado, no caso do As, promoveram os maiores teores desses elementos. Além disso, no caso do Zn, independentemente do tipo de solo, as adubações com lodo de esgoto compostado, vermicompostado e solarizado, também proporcionaram os teores mais elevados desse elemento no fruto, principalmente a adubação com lodo solarizado. De modo geral, pode-se atribuir tal fato ao maior aporte desses elementos na aplicação dos adubos contendo lodo, exceto para o lodo secado em secadora, uma vez que, dada a temperatura elevada de secagem, há a ocorrência de processo de carbonização, tornando o lodo de esgoto mais recalcitrante a decomposição e liberação dos elementos.

No caso do Pb e do Cr, os teores no fruto de abacaxi ficaram próximos ou ultrapassaram os limites máximos permitidos em alimentos no país (Brasil, 2013) (Tabela 6). Os limites máximos de metais pesados toleráveis em frutos no Brasil foram estabelecidos pelo Decreto Lei 55871-65, de 26 de março de 1965 (Brasil, 1965), tendo sido mantidos e atualizados pela Portaria do Ministério da Saúde nº 685-980, de 27 de agosto de 1998 (Brasil, 1998) e pela Resolução da Diretoria Colegiada da Anvisa - Mercosul nº 42, de 29 de agosto de 2013 (Brasil, 2013).

Contudo, destaca-se o fato das normas citadas anteriormente se reportarem aos frutos de maneira geral, sem especificá-los, sendo importante a realização de uma estimativa mais específica para o abacaxi. Desta forma, considerando os maiores teores de Pb, Cr e Ba observados no fruto fresco do abacaxi, que foram de 0,40; 0,18 e 0,40 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 6), e a ingestão diária de duas fatias de abacaxi com massa fresca total estimada em 180 g por uma pessoa de 60 kg de massa corporal, as taxas de ingestão dos metais pesados mencionados, em µg dia<sup>-1</sup>, seriam de 72,0 para o Pb, 32,4 para o Cr e 72,0 para o Ba. Uma vez que os limites provisórios de taxas de ingestão diária,

estabelecidos pela legislação internacional, para Pb, Cr e Ba são de 210; 1.500; e 1.200  $\mu\text{g dia}^{-1}$ , respectivamente (WHO, 2001; JECFA, 2003; USEPA, 2003), pode-se dizer que os valores encontrados ficaram dentro dos limites de segurança para o consumo desse alimento.

## **Conclusões**

O Cambissolo e o Nitossolo proporcionaram condições menos favoráveis ao aumento da disponibilidade e absorção de Pb e As pelo fruto do abacaxizeiro.

A adubação com lodo de esgoto secado em secadora e lodo de esgoto caledo proporcionam as menores concentrações de Pb, As e Zn no fruto do Abacaxizeiro, sendo os tipos mais adequados para adubação com este resíduo.

## **Agradecimentos**

Os autores expressam seus maiores agradecimentos à FAPEMIG, ao CNPq e a CAPES, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização desse trabalho.

## **Literatura citada**

- Abreu, C. A., Cantoni, M., Coscione, A. R., & Paz-Ferreiro, J. (2012). Organic matter and barium absorption by plant species grown in an area polluted with scrap metal residue. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2012/476821>
- Alcarde, J. C. (2009). *Manual de Análise de Fertilizantes* (p. 259). Piracicaba, FEALQ.
- Asghar, M., & Kanehiro, Y. (1988). Effects of sugarcane trash and pineapple residue on tritration curves, redox potential and extractable Mn e Fe in na oxisol. *Biological Wastes*, 24, 27-38. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(88\)90024-9](https://doi.org/10.1016/0269-7483(88)90024-9)
- Brasil. (1962). *Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965*. Modifica o Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do

emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto nº 691, de 13 de março de 1962.

- Brasil. (1998). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. *Portaria nº 685, de 27 de agosto de 1998*. Aprova o Regulamento Técnico: "Princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos" e seu Anexo: "Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos".
- Brasil. (2006). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006*. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Brasília, 2006.
- Brasil. (2013). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária-Anvisa. *Resolução da Diretoria Colegiada-RDC, nº 42, de 29 de agosto de 2013*. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos.
- Caetano, L. C. S., Ventura, J. A., Costa, A. de F. S. da, & Guarçoni, R. C. (2013). Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi 'vitória'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(3) 883-890. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000300027>
- Cardoso, M. M., Pegoraro, R. F., Maia, V. M., Kondo, M. K., & Fernandes, L. A. (2013). Crescimento do abacaxizeiro 'vitória' irrigado sob diferentes densidades populacionais, fontes e doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(3) 769-781. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000300014>
- Catunda, M. G., Freitas, S. P., Silva, C. M. M., Carvalho, A. J. R. C., & Soares, L. M. S. (2006). Interferência de plantas daninhas no acúmulo de nutrientes e no crescimento de plantas de abacaxi. *Planta Daninha*, 24(1), 199-204. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582006000100025>
- Cunha, G. A. P., Cabral, J. R. S., & Souza, L. F. S. (1999). *O abacaxizeiro, cultivo, agroindústria e economia* (p. 480). Brasília, Embrapa.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). (1997). *Manual de métodos de análise de solo* (2nd ed., p. 212). Rio de Janeiro: Embrapa CNPS.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5th ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Fontana, A., Pereira, M. G., Santos, A. C. dos, Bernini, T. A., Anjos, L. H. C. dos, Fernandez, C. F. D., & Peinado, F. J. M. (2013). Fósforo remanescente em solos formados sob diferentes materiais de origem em

- três topossequências, Pinheiral-RJ. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(5) 2089-2102. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2089>
- García-Mina, J. M., Antolín, M. C., & Sanchez-Diaz, M. (2004). Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: A study based on different plant species cultivated in diverse soil types. *Plant and Soil*, 258(1), 57-68. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000016509.56780.40>
- Gomes, S. B. V., Nascimento, C. W. A., Biondi, C. M., & Accioly, A. M. de A. (2006). Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. *Revista Ciência Rural*, 36(6), 1689-1695. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000600004>
- Grafe, M., Eick, M. J., Grossl, P. R., & Saunders, A. M. (2002). Adsorption of arsenate and arsenite on ferrihydrite in the presence and absence of dissolved organic carbon. *Journal of Environmental Quality*, 31(4), 1115-1123. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.1115>
- Ippolito, J. A., & Barbarick, K. A. (2006). Biosolids affect soil barium in a dryland wheat agroecosystem. *Journal of Environmental Quality*, 35, 2333-2341. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0076>
- JECFA. (2003). *Summary and conclusions of the 61st meeting of the Joint FAO/WHO. Expert Committee on Food Additives (JECFA)*, JECFA/61/SC. Rome, Italy.
- Kabata-Pendias, A. (2001). *Trace elements in Soils and Plants* (3rd ed., p. 432). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420039900>
- Ladeira, A. C. Q., Ciminelli, V. S. T., & Nepomuceno, A. L. (2002). Seleção de solos para a imobilização de arsênio. *Revista Escola de Minas*, 55(3), 215-221. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672002000300009>
- Lemainski, J., & Silva, J. E. (2006). Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(10), 1477-1484. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001000004>
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas* (p. 638). São Paulo, Editora Ceres.
- Mcgrath, S. P., & Cunliffe, C. H. (1985). A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co, and Mn from soils and sewage sludges. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36, 794-798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740360906>
- Minas, G. (2011). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual de Política Ambiental. Fundação Estadual do Meio Ambiente. *Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011*. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos. Belo Horizonte-MG.

- Mota, M. F. C., Pegoraro, R. F., Silvânio R. Dos S., Maia, V. M., Sampaio, R. A., & Kondo, M. K. (2018). Contamination of soil and pineapple fruits under fertilization with sewage sludge. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(5), 320-325. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22 n5p320-325>
- Nascimento, A. L., Sampaio, R. S., Cruz, S. F. da, Zuba Junio, G. R., Barbosa, C. F., & Fernandes, L. A. (2014a). Metais pesados em girassol adubado com lodo de esgoto submetido a diferentes processos de estabilização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(7), 694-699. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700004>
- Nascimento, A. L., Sampaio, R. S., Zuba Junio, G. R., Carneiro, J. P., Fernandes, L. A., & Rodrigues, M. N. (2014b). Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3), 294-300. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300008>
- Nascimento, A. L., Zuba Junio, G. R., Sampaio, R. A., Fernandes, L. A., Carneiro, J. C., & Barbosa, C. F. (2015). Metais pesados no solo e mamoneira adubada com biossólido e silicato de cálcio e magnésio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(5) 505-511. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p505-511>
- Nascimento, C. W. A., Barros, D. A. S., Melo, E. E. C., & Oliveira, A. B. (2004). Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 28(2), 385-392. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200017>
- Nogueira, T. A. R., Oliveira, L. R., Melo, W. J., Fonseca, I. M., Melo, G. M. P. de, Melo, V. P. de, & Marques, M. O. (2008). Cádmiu, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 32, 2195-2207. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500040>
- Nogueira, T. A. R., Sampaio, R. A., Fonseca, I. M., Ferreira, C. S., Santos, S. E., Ferreira, L. C., ... Fernandes, L. A. (2007). Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(3) 331-338. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300014>
- Oliveira, E. F., Carvalho, R. A., Lacerda, J. T., Choairy, S. A., & Barreiro Neto, M. (2002). *Abacaxi: Sistema de cultivo para o tabuleiro paraibano* (p. 38). João Pessoa: EMEPA.
- Oliveira, J. P. B. de, Lopes, J. C., Alexandre, R. S., Jasper, A. P. dos S., Santos, L. N. da S., & Oliveira, L. B. de. (2009). Concentração de metais pesados em plantas de maracujá doce cultivadas em dois solos tratados com lodo de esgoto. *Engenharia Ambiental-Espírito Santo do Pinhal*, 6(2) 217-223.

- Ribeirinho, V. S., Melo, W. J., Silva, D. H., Figueiredo, L. A., & Melo, G. M. P. (2012). Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42(2), 166-173. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200002>
- Silva, C. A., Rangel, O. J. P., Dynia, J. F., Bettiol, W., & Manzatto, C. V. (2006). Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 30(2), 353-364. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200015>
- Silva, F. C. da (1999). *Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária.
- Souza, M. de, Guimarães, P. T. G., Carvalho, J. G. de, & Fragoas, J. C. (1999). Sugestões de adubação para plantas frutíferas: Abacaxizeiro. In A. C. Ribeiro, P. T. G. Guimarães, & V. V. H. Alvarez (Eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais* (pp. 209-216). Viçosa: UFV, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.
- Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., & Volkweiss, S. J. (1995). *Análise de solo, plantas e outros materiais* (2nd ed., p. 174). Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). *Manual de métodos de análise de solo* (p. 573). Brasília: Embrapa.
- Tontti, T., Poutiainen, H., & Heinonen-Tanski, H. (2017). Efficiently treated sewage sludge supplemented with nitrogen and potassium is a good fertilizer for cereals. *Land Degradation & Development*, 28, 742-751. <https://doi.org/10.1002/ldr.2528>
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). (1999). *Final rules standards for the use for disposal of sewage sludge* (Title 40 CFR, Part 503). USEPA.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2018). *Integrated Risk Information System Database*.
- WHO (World Health Organization). (2001). *Compounds International Programme on Chemical Safety* (Consise International Chemical Assessment Document 33). Geneva.
- Zuba Junio, G. R., Sampaio, R. A., Santos, G. B., Nascimento, A. L., Carneiro, J. P., Santos, L. D. T., & Fernandes, L. A. (2012). Produção de milho adubado residualmente com composto de lodo de esgoto e fosfato de Gafsa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(12) 1289-1297. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200005>

Zuba Junio, G. R., Sampaio, R. A., Santos, G. B., Nascimento, A. L., Prates, F. B. S., & Fernandes, L. A. (2011). Metais pesados em milho fertilizado com fosfato natural e composto de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(10), 1082-1088. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000013>

## 6 CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de fertilizantes oriundos da estabilização do lodo de esgoto na adubação do abacaxizeiro demonstrou ser uma alternativa importante para a destinação desse subproduto do tratamento de esgotos de estações, uma vez que possui boa quantidade de matéria orgânica e de nutrientes, proporcionando a planta a mesma produção verificada com a adubação química.

Na pesquisa realizada ficou evidente que qualquer uma das formas de estabilização do lodo de esgoto pode ser utilizada em substituição a adubação química, uma vez que proporcionou a mesma produção do abacaxizeiro, independente do tipo de solo.

Do ponto de vista da contaminação, constatou-se a absorção de metais pesados pelo tecido foliar e, também, pelo fruto do abacaxizeiro, porém, pode-se afirmar que os valores encontrados ficaram dentro dos limites de segurança para o consumo desse alimento.

Por ser um subproduto das estações de tratamentos de esgotos e ser muitas vezes destinado aos aterros sanitários, a sua destinação na agricultura configura-se com a mais importante do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, pois devolve ao campo a matéria orgânica e os elementos minerais dela retirados.

Além disso, contribui para a redução do uso dos fertilizantes minerais, os quais conferem aos sistemas agrícolas um alto custo de produção com o agravante de não serem todos renováveis.

Diante do exposto, consideramos os produtos derivados do lodo de esgoto como seguros, em relação à contaminação com metais pesados e com ótimo potencial para uso como fertilizante no cultivo do abacaxizeiro.