



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RAFAEL HENRIQUE PAULINO DE LIMA**

**IMPACTO DA APLICAÇÃO DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO NA  
FERTILIDADE DO SOLO**

**CARUARU  
2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Rafael Henrique Paulino de Lima

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**IMPACTO DA APLICAÇÃO DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO NA  
FERTILIDADE DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso a ser apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste – CAA da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves.

CARUARU  
2019



RAFAEL HENRIQUE PAULINO DE LIMA

**IMPACTO DA APLICAÇÃO DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO  
NA FERTILIDADE DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em cumprimento as exigências para obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Área de concentração: Saneamento

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o candidato **APROVADO**, com nota \_\_\_\_\_ .

Caruaru, 14 de Fevereiro de 2019.

Banca examinadora:

Prof.<sup>a</sup> Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Orientadora)

Prof.<sup>a</sup> Dra. Simone Machado Santos  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Avaliadora)

Prof.<sup>a</sup> Dra. Marileide Lira de Araújo Tavares  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Avaliadora)

Msc. Luis Medeiros de Lucena  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina de TCC)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, que me deu saúde, paciência, determinação e sabedoria para percorrer este longo caminho na conclusão do curso de Engenharia Civil.

Agradeço aos meus pais, Severino Maurício de Lima e Helena Maria Paulino, que desde os primeiros anos escolares sempre me apoiaram e nunca mediram esforços para contribuir na minha educação e no meu crescimento como pessoa. Agradeço pela oportunidade de me proporcionarem a conclusão de um curso superior, e também pelo incentivo e compreensão durante esses anos da graduação.

A minha irmã, Micaele Paulino de Lima, por todo incentivo e companheirismo durante estes anos.

A minha noiva, Janaína de Lima Silva, pelo carinho, paciência, compreensão e companheirismo durante a graduação.

A professora e minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves, por ter me aceitado como orientando, pela sua paciência, pelo suporte em todas fases da pesquisa, pela contribuição na produção escrita deste trabalho e pelos conhecimentos repassados.

Aos colegas de graduação: Arthur Pinheiro, Marcio Kenji, Marcus Vinicius e Joelithon Costa que estiveram envolvidos no projeto de pesquisa. Agradeço também aos demais colegas da graduação, que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento.

Ao Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), pela importante contribuição no desenvolvimento da pesquisa e dos experimentos.

A Universidade Federal de Pernambuco- Centro Acadêmico do Agreste (UFPE-CAA), na qual vivenciei momentos de aprendizagem e lições para toda a vida.

Enfim, agradeço à todos que contribuíram e auxiliaram nesta árdua caminhada, para que eu chegasse onde cheguei, acreditando no meu potencial e me impulsionando para seguir em frente e alcançar novos objetivos.

## RESUMO

Sabemos que no Brasil e no mundo a questão dos recursos hídricos é uma situação relevante, principalmente para a região do semiárido nordestino, onde esses recursos hídricos são cada vez mais escassos, isso aumenta a necessidade de novas técnicas para o uso racional da água, e uma alternativa é a reutilização do esgoto doméstico tratado. A utilização de esgoto tratado na irrigação é uma alternativa atrativa, tendo em vista que cerca de 70% da água doce no Brasil é utilizada na agricultura. Este presente trabalho tem como objetivo reutilizar a água tratada de esgotos domésticos, para fertirrigar mudas da espécie *Handroanthus impetiginosus* (Ipê-roxo) analisando a qualidade do efluente e do solo. O trabalho foi realizado na forma de experimento em casa de vegetação da Universidade Federal de Pernambuco-Centro Acadêmico do Agreste, consistindo na irrigação da cultura com diferentes tratamentos: irrigação com água, irrigação com esgoto e irrigação com água em um solo já fertilizado com fertilizante NPK. O esgoto utilizado foi coletado na ETE de Caruaru-PE e o solo foi extraído na área que é objeto de estudo, localizado nas adjacências da ETE do município de Tamandaré-PE. O experimento teve uma duração de 30 dias, com vasos contendo 1 kg de solo e sementes plantadas no substrato, sendo irrigados diariamente. As análises dos vários parâmetros, tanto do efluente como do solo, foram feitas em laboratórios. Após os resultados, verificou-se que o efluente utilizado apresenta boas condições para o reúso na irrigação de espécies arbóreas. Avaliadas as características do solo antes e após o experimento verificou-se que de forma geral as características são propícias para a atividade de reflorestamento com o reúso de efluente doméstico tratado no local estudado.

Palavras-chave: Reutilização do esgoto, irrigação, solo.

## **ABSTRACT**

We know that in Brazil and in the world the issue of water resources is a relevant situation, especially for the Brazilian northeastern semi-arid region, where these water resources are increasingly scarce, this increases the need for new techniques for the conscious use of water, and an alternative is the reuse of treated wastewater. The use of treated wastewater in irrigation is an attractive alternative, considering that about 70% of freshwater in Brazil is used in agriculture. This work aims to reuse the treated water from wastewater to fertigate seedlings of the species *Handroanthus impetiginosus* (Ipê-roxo) by analyzing the effluent and soil quality. The work was carried out as a greenhouse experiment of the Federal University of Pernambuco-Agrete Academic Center, consisting of the irrigation of the crop with different treatments: irrigation with water, irrigation with treated wastewater and irrigation with water in a soil already fertilized with fertilizer NPK. The wastewater used was collected in the Caruaru-PE sewage treatment station and the soil was extracted in the study area, near the sewage treatment station, located in the city of Tamandaré-PE. The experiment had a duration of 30 days, with pots containing 1 kg of soil and seeds planted in the substrate, being irrigated daily. Analyzes of the various parameters, both effluent and soil, were done in laboratories. After the results, it was verified that the used effluent presents good conditions for the reuse in the irrigation of arboreal species. Evaluating the soil characteristics before and after the experiment, it was verified that in general the characteristics are propitious for the reforestation activity with the reuse of treated domestic effluent at the studied site.

**Keywords:** Wastewater reuse, irrigation, soil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área do entorno da ETE Tamandaré.....	14
Figura 2. a) Gráfico da distribuição de água no mundo; b) Gráfico da disponibilidade de água doce.....	16
Figura 3. Consumos de água no Brasil.....	17
Figura 4. Estufa de produção de mudas florestais.....	23
Figura 5. Casa de vegetação usada no experimento.....	25
Figura 6. Experimento montado sobre a bancada na casa de vegetação.....	26
Figura 7. Local da coleta de solo.....	27
Figura 8. Imagem aérea da ETE Caruaru.....	28
Figura 9. Fotografia de balança digital utilizada na pesagem dos vasos.....	31
Figura 10. Líquidos usados na irrigação. a) esgoto tratado; b) água.....	31
Figura 11. a) destorroamento. b) solo destorroadado.....	32
Figura 12. Gráfico da quantidade de P nos vasos após o experimento.....	37
Figura 13. Gráfico da quantidades iniciais e finais de P no tratamento T1.....	37
Figura 14. Gráfico da quantidade iniciais e finais de P nos tratamentos T2 e T3.....	38
Figura 15. Gráfico de teores de K para o tratamento T1.....	39
Figura 16. Gráfico de teores de K para os tratamentos T2 E T3.....	40



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Recomendações da OMS sobre a qualidade microbiológica para uso de esgoto na agricultura.....	22
Tabela 2. Configuração do experimento.....	26
Tabela 3. Pesos das capacidades de pote.....	30
Tabela 4. Resultado das análises da água. ....	33
Tabela 5. Resultado das análises do esgoto tratado.....	34
Tabela 6. Nutrientes presentes no esgoto tratado. ....	35
Tabela 7. Valores de pH para todas situações. ....	36
Tabela 8. Teores de Potássio no solo.....	39
Tabela 9. Teores de Ca, Mg, Na, K, Al e H. ....	41
Tabela 10. Valores de S, CTC e V no solo.....	42
Tabela 11. Valores de Carbono Orgânico no solo.....	43
Tabela 12. Teores de Amônia e Nitrato.....	43

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

<b>Al</b>	Alumínio
<b>Ca</b>	Cálcio
<b>CO<sub>2</sub></b>	Gás Carbônico
<b>cmolc/dm<sup>3</sup></b>	Centimol de Carga por decímetro cúbico
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Esgotos
<b>H</b>	Hidrogênio
<b>K</b>	Potássio
<b>Mg</b>	Magnésio
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>Na</b>	Sódio
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amônia
<b>NH<sub>4</sub></b>	Amônio
<b>NMP</b>	Número Mais Provável
<b>N-NTK</b>	Nitrogênio Total
<b>NPK</b>	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxigênio (gás)
<b>P</b>	Fósforo
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeniônico
<b>STD</b>	Sólidos Totais Dissolvidos
<b>µs/cm</b>	Micro Siemens por centímetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>MOTIVAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>Água no Brasil e no mundo.....</b>	<b>16</b>
<b>5.2</b>	<b>Água tratada para fertirrigação .....</b>	<b>17</b>
5.2.1	Aspectos Gerais .....	17
5.2.2	Vantagens do reúso agrícola.....	19
5.2.3	Desvantagens do reúso agrícola .....	20
<b>5.3</b>	<b>Normas sobre reúso .....</b>	<b>21</b>
<b>5.4</b>	<b>Qualidade de efluente para reúso.....</b>	<b>21</b>
<b>5.5</b>	<b>Produção de mudas .....</b>	<b>22</b>
<b>5.6</b>	<b>O Solo.....</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
<b>6.1</b>	<b>Localização do experimento .....</b>	<b>25</b>
<b>6.2</b>	<b>Montagem do experimento .....</b>	<b>25</b>
<b>6.3</b>	<b>Solo utilizado .....</b>	<b>27</b>
6.3.1	Coleta de solo.....	27
6.3.2	Análises do solo.....	27
<b>6.4</b>	<b>Efluente e água usados na irrigação .....</b>	<b>28</b>
<b>6.5</b>	<b>Análises do efluente .....</b>	<b>29</b>
<b>6.5</b>	<b>Capacidade de pote.....</b>	<b>29</b>
<b>6.6</b>	<b>Irrigação .....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>7.1</b>	<b>Água utilizada .....</b>	<b>33</b>
<b>7.2</b>	<b>Água residuária .....</b>	<b>34</b>
<b>7.3</b>	<b>Avaliação do solo .....</b>	<b>35</b>
7.3.1	pH .....	35
7.3.2	Fósforo.....	36
7.3.3	Potássio.....	38

7.3.4 Alumínio.....	40
7.3.5 Soma de cátions trocáveis (S), Capacidade de troca catiônica (CTC) e Saturação por base (V) .....	40
7.3.6 Carbono Orgânico .....	42
7.3.7 Nitrogênio: Amônio e Nitrato.....	43
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o advento da globalização, houve um aumento significativo da população mundial, e junto com esse crescimento demográfico surge também a necessidade crescente de extração de recursos naturais para dar suporte ao crescimento da sociedade moderna. Entre esses recursos naturais, está a água, que é um recurso finito e essencial para a vida no planeta. Nesse contexto surge a questão da escassez de água em algumas regiões do Brasil e do mundo, e para combater esse problema a procura por fontes alternativas de água, equipamentos poupadores e reúso tornam-se cada vez mais imprescindíveis.

Segundo Beekman (1996), como a demanda pela água continua a aumentar, o retorno das águas servidas e o seu reúso vem se tornando um componente importante no planejamento, desenvolvimento e utilização dos recursos hídricos, principalmente em regiões áridas, onde apresenta-se maior escassez desse recurso.

Uma das formas de reúso é o aproveitamento das águas residuárias tratadas para a irrigação de plantas, pois além de ser uma alternativa econômica é também uma atividade sustentável para o planeta, é econômica porque não necessitará da compra do recurso água e também é uma boa prática para a preservação ambiental. Essa atividade também pode ser implantada nos plantios agrícolas.

Segundo Brega Filho e Mancuso (2002), a prática de reúso de água no meio agrícola garante a recarga do lençol freático, serve para fertirrigação de diversas culturas, e também serve para a dessedentação de animais no meio rural. A utilização de água proveniente de reúso é diferenciada para irrigação de plantas não comestíveis (silvicultura, pastagens, fibras e sementes) e comestíveis (nas formas cruas e cozidas), necessitando essas de um nível maior de qualidade.

Partindo da mesma ideia, Beekman (1996) afirma que grandes volumes de águas servidas podem ser utilizados em categorias de reúso, como agricultura irrigada e recarga de aquíferos, devendo-se atentar para suas limitações sanitárias e ambientais de aplicação.

O presente trabalho buscou avaliar o efeito no solo com aplicação de efluente doméstico tratado visando a fertirrigação de mudas de plantas para arborização e reflorestamento.

## **2 JUSTIFICATIVA**

Como a questão da gestão de recursos hídricos é uma situação relevante para o Brasil e o mundo, e especificadamente para a região do semiárido nordestino brasileiro, é importante a busca de usos racionais da água para a região do agreste pernambucano, bem como buscar soluções viáveis para o reaproveitamento das águas provenientes de esgotos domésticos. Nesse contexto, este presente trabalho irá avaliar a prática de fertirrigação na produção de mudas utilizando águas de esgotos tratadas, provenientes da Estação de Tratamento de Esgotos de Caruaru (ETE Caruaru) que fica localizada no bairro Rendeiras na cidade de Caruaru no Agreste de Pernambuco. Ao longo das atividades serão analisados a qualidade e parâmetros do solo e do efluente utilizado.

### 3 MOTIVAÇÃO

Na Implantação da Estação de Tratamento de Esgoto de Tamandaré-PE, que está sob a administração da Companhia Pernambucana de Saneamento—COMPESA, houveram práticas de terraplanagem e extração de argila no local. Posteriormente, atividades extrativistas, não autorizadas, ocorreram na área de forma a torna-la degradada. No Plano de Controle da ETE Tamandaré está prevista um plano de recuperação da área degradada como medida compensatória. No entanto, já passados alguns anos desde o início da operação da ETE, não se observa no local, nenhuma ação concreta de recuperação da mata nativa. Neste sentido, o presente trabalho se propõe a contribuir avaliando a possibilidade de aplicação do efluente tratado no solo assim de melhorar a fertilidade do solo para promover futuras atividades de reflorestamento. A Figura 1 apresenta a situação da área no momento da coleta em abril de 2018.

**Figura 1.** Área do entorno da ETE Tamandaré.



Fonte: Produção do autor (2018)

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo geral**

- Avaliar a melhoria da fertilidade do solo proveniente da área adjacente à ETE Tamandaré-PE, com a aplicação de efluente doméstico tratado oriundo da ETE visando promover futuras atividades de reflorestamento.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Avaliar a adequabilidade do efluente tratado para reúso;
- Avaliar a fertilidade do solo sólido antes e após a aplicação do efluente tratado.

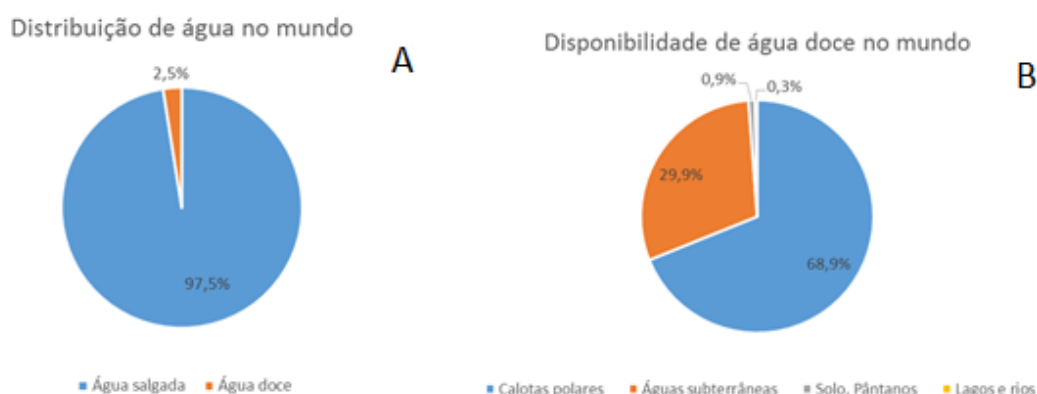


## 5 REFERENCIAL TEÓRICO

### 5.1 Água no Brasil e no mundo

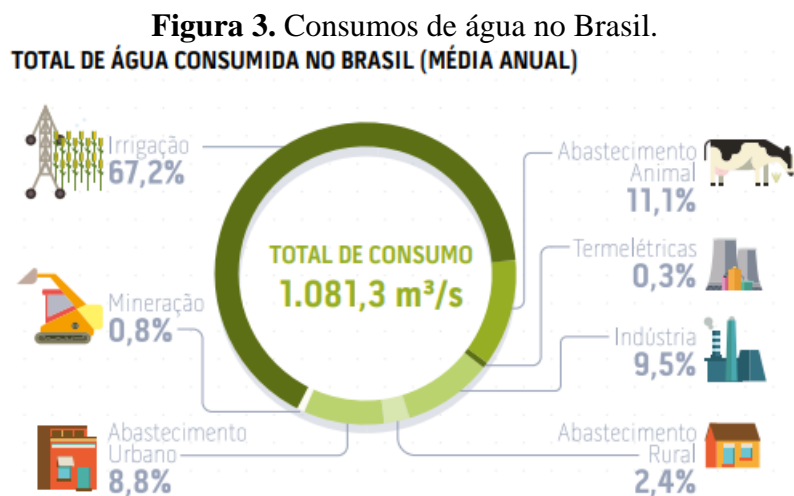
A água ocupa aproximadamente 70% da superfície da Terra e é a principal responsável pela existência de vida no nosso planeta. Além disso, é primordial para várias atividades antrópicas, como a agricultura e diversos processos industriais (CASTRO, 2012). Contudo, conforme dados do Ministério do Meio Ambiente (2005), da água do planeta, 97,5% é salgada e 2,5% é doce. Da parcela de água doce, 68,9% encontra-se nas geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas; 29,9% em águas subterrâneas; 0,9% compõe a umidade do solo e dos pântanos e apenas 0,3% constitui a porção superficial de água doce presente em rios e lagos. A Figura 2 apresenta a distribuição percentual de água no mundo.

**Figura 2.** a) Gráfico da distribuição de água no mundo; b) Gráfico da disponibilidade de água doce.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2005)

Segundo relatórios da Agência Nacional de Águas- ANA, os principais usos da água no Brasil são para irrigação, abastecimento humano e animal, industrial, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo e lazer. A Figura 3 apresenta um desenho esquemático da distribuição da demanda de água por uso.



Fonte: ANA (2017).

## 5.2 Água tratada para fertirrigação

### 5.2.1 Aspectos Gerais

Segundo Fernandes (2000), o maior contribuinte à poluição orgânica dos corpos d'água é o esgoto doméstico e, assim, seu tratamento sanitário torna-se cada vez mais uma medida indispensável à recuperação da qualidade das águas. Com a implantação acelerada de estações de tratamento de esgoto (ETE's) no Brasil, visando atender à legislação ambiental, pode-se prever um considerável aumento na produção de água tratada de esgoto doméstico urbano e essa água tratada pode ser reutilizada em vários tipos de uso.

Conforme Lotti (1981) apud Alves (2006), no passado o problema de gestão de águas residuárias e reúso de efluentes foi guarnecido por países com economia altamente desenvolvida, resultando numa demanda crescente por uma boa qualidade de água para uso doméstico e industrial. Muitos países em desenvolvimento estão revestidos de uma situação similar, especialmente em regiões áridas e semiáridas, onde a disponibilidade de água é severamente limitada.

No que se diz respeito a demanda de água e sua relação com as práticas de sua reutilização, conforme Bernadi (2003) o reúso de água para diversos fins, incluindo o da fertirrigação, surge então como alternativa para aumentar a oferta de água, garantindo economia do recurso e racionalização do uso desse bem. Diversos países já utilizam essa tecnologia e possuem regulamentação específica na temática. Porém o Brasil ainda está em fases iniciais na efetivação e regulamentação da técnica, com grande potencial de crescimento.

Em 1985, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas estabeleceu uma política de gestão para as áreas carentes de recursos hídricos com base neste conceito: “A não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”. Essa referência de águas de qualidade inferior compreende as águas de esgoto doméstico, água de drenagem agrícola e água salobra que deverá ser reutilizada para usos menos restritivos. O esgoto tratado é fundamental no planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos para uso de água para fins agrícolas e de irrigação em geral, resguardando as fontes de água potável para consumo humano e outras prioridades (TELLES e COSTA, 2007).

Embora o conteúdo de nutrientes presentes nos resíduos (inclusive águas residuárias) os deixe atrativos para serem utilizados como fertilizantes, aplicações ao solo de certos resíduos industriais e de esgoto apresentam um certo perigo e risco de contaminação do solo devido a presença de metais pesados, certos compostos químicos orgânicos de alto risco, sais e valores extremos de pH, conforme Cameron et al., (1997). Assim é de fundamental importância separar esgoto doméstico de esgoto industrial, uma vez que os metais pesados e orgânicos não são, em geral, problemas nos efluentes domésticos (FEIGIN et al., 1991). No nosso caso, iremos usar apenas efluentes domésticos, pois não há presença de metais pesados e também por que apresenta maiores concentrações de nutrientes orgânicos. No que se diz respeito aos aspectos sanitários e também os aspectos relacionados à saúde pública, no presente trabalho este assunto não será tratado, pois nesse caso serão produzidas mudas para arborização e não para hortaliças ou produção de outros alimentos, e com isso não haverá riscos de contaminação por: (vermes, protozoários, bactérias e vírus, patogênicos).

Os critérios para o manejo do solo com a utilização de águas residuárias, são basicamente os mesmos aplicados à irrigação convencional: a qualidade do efluente a ser utilizado, as taxas de aplicação, o método de irrigação, tipo de solo e a cultura a ser utilizada. A investigação científica do reúso visa maximizar as vantagens e minimizar os potenciais riscos inconvenientes do uso de águas residuárias domésticas na agricultura.

Conforme Rezende (2003), ainda no que se diz respeito ao solo, as características das águas residuárias que limitarão a sua aplicação no solo, são determinadas por meio de balanços de água, de nutrientes como nitrogênio e fósforo, de matéria orgânica e de outros constituintes presentes em concentrações significativas. Em geral, o sistema de aplicação é controlado pela taxa de aplicação hidráulica ou lâmina de aplicação (lâmina d'água), ou seja, pelo volume de água aplicada por unidade de área em determinado período de tempo.

A irrigação consiste no processo mais utilizado, sobretudo em regiões de clima árido e semiárido nas quais devido à escassez da água, utiliza-se a água residuárias para suprir as necessidades hídricas das culturas. Os parâmetros utilizados para definir a taxa de aplicação se baseiam nas necessidades hídricas das culturas, características do solo e da água, tipo de cultura, riscos de salinização e contaminação do solo ou, ainda, pela capacidade do solo e das culturas em assimilarem o resíduo aplicado. Quando alguma cultura é cultivada na área de disposição, ela deve ser tolerante ao excesso de água e aos constituintes do efluente (FEIGIN et al., 1991).

### 5.2.2 Vantagens do reúso agrícola

Estudos realizados em outros países têm demonstrado a eficiência do uso das águas residuárias na fertirrigação de culturas agrícolas, com a obtenção de excelentes resultados, uma vez que são geralmente ricas em nutrientes (BASTOS, 1999). Pensando numa reutilização futura em larga escala de efluentes, a atividade florestal, por suas peculiaridades, apresenta-se como alternativa promissora, principalmente por não envolver produção de alimentos para consumo humano e nem riscos à saúde (CROMER, 1980). Como no presente trabalho as mudas que serão produzidas serão destinadas para arborização, devido isso não precisará de uma análise muito criteriosa quando comparada a de mudas destinadas para a produção de alimentos.

Como já falado no presente trabalho, são várias as vantagens do reúso de águas provenientes de esgotos, tais como: vantagens sociais, econômicas e ambientais. Conforme Guidolin (2000), é de suma importância destacar o conteúdo dos elementos minerais presentes em efluentes urbanos brutos, destacando a presença de macronutrientes, como Nitrogênio, Fósforo e Potássio, bem como de micronutrientes, como As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn, alguns deles necessários ao desenvolvimento vegetal.

A reutilização de águas residuárias, de uma maneira geral, e das domésticas, de forma particular, de acordo com Bernadi (2003), promove as seguintes vantagens:

- Propicia o uso sustentável dos recursos hídricos;
- Minimiza a poluição hídrica nos mananciais;
- Estimula o uso racional de águas de boa qualidade;
- Permite evitar a tendência de erosão do solo e controlar processos de desertificação, por meio da irrigação e fertilização de cinturões verdes;
- Possibilita a economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica;
- Provoca aumento da produtividade agrícola;
- Gera aumento da produção de alimentos;

- Permite maximizar a infraestrutura de abastecimento de água e tratamento de esgotos pela utilização múltipla da água aduzida.

De acordo com Miranda (1995) a principal vantagem da utilização de águas residuárias na irrigação reside na recuperação de um recurso da maior importância na agricultura – a água. Além disso, os constituintes das águas residuárias, ou pelo menos sua maioria, são produtos que podem aumentar a fertilidade dos solos por conter nutrientes essenciais à vida das plantas. Por outro lado, melhoram também a aptidão agrícola dos solos, devido à matéria orgânica que lhes adicionam com a consequente formação de húmus. A reutilização de águas residuárias oferece ainda vantagens do ponto de vista da proteção do ambiente na medida em que proporciona a redução ou mesmo a eliminação da poluição dos meios hídricos habitualmente receptores dos efluentes.

### 5.2.3 Desvantagens do reuso agrícola

Apesar de apresentar boas vantagens, a reutilização de efluente tratado na fertirrigação também apresenta algumas certas desvantagens, segundo Hespanhol (2002) um efeito potencialmente negativo é a poluição, particularmente por nitratos, de aquíferos subterrâneos, na qual esses aquíferos podem ser usados para abastecimento humano. Isso ocorre quando uma camada insaturada, altamente porosa se situa sobre o aquífero, permitindo a percolação de nitratos. Apesar desse risco as possibilidades de acontecer isso são pequenas. Outro efeito negativo é o acúmulo de contaminantes químicos no solo, dependendo das características dos esgotos, a prática da irrigação por longos períodos pode levar à acumulação de compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos, e ao aumento significativo de salinidade, em camadas insaturadas. Como no presente trabalho será utilizado apenas esgotos domésticos, esta possibilidade de contaminação por compostos tóxicos será evitada. Outra questão é que a aplicação de esgotos por períodos muito longos, pode levar à criação de habitats, propícios à proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como mosquitos e algumas espécies de caramujos.

De acordo com Alves (2006), em resumo, dentre as desvantagens são citadas:

- Concentração excessiva de nitrogênio que pode comprometer as culturas pouco tolerantes;
- Elevados teores de sais que dissolvidos podem provocar a salinização do solo;
- Presença de íons específicos (sódio, boro e cloreto) que podem induzir toxidez as culturas menos tolerantes;

- Riscos à saúde do trabalhador e usuário dos produtos irrigados, devido à possível contaminação com microrganismos patogênicos presentes nos esgotos.

### **5.3 Normas sobre reúso**

Conforme Bertoncini (2008), não somente no Brasil, mas em muitos países, a legislação sobre reúso é inexistente, muito branda ou muito restritiva. Faltam estudos que evidenciem quais as taxas seguras de aplicação para cada cultura e quais os reais danos que cada contaminante pode ocasionar ao sistema solo-água-planta. Segundo Bernardi (2003) a partir da promulgação da Lei nº 9.433/97, conhecida como “lei das águas” que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, é dada uma certa ênfase para a questão hídrica no país, a gestão do uso da água por bacias hidrográficas e sobre a questão do uso e outorga do recurso hídrico. A ênfase legislativa incide na racionalização do uso da água, estabelecendo princípios e instrumentos para sua utilização. Porém, pouca preocupação legislativa ocorreu para fixação de princípios e critérios para a reutilização da água no Brasil.

### **5.4 Qualidade de efluente para reúso**

Como abordado no item anterior e também conforme Souza Filho (2013), no Brasil, as leis e normas referentes ao reúso de efluentes tratados na irrigação são vagas, não tendo uma legislação específica referente ao assunto. Porém, existem recomendações de alguns autores e organizações que podem ser consideradas quando se trata desta prática.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece diretrizes para o uso de águas residuárias na agricultura, de acordo com a qualidade microbiológica, conforme apresenta a Tabela 1. A USEPA (United States Environmental Protection Agency) apresenta recomendações referente a concentração de metais na água de irrigação, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Recomendações da OMS sobre a qualidade microbiológica para uso de esgoto na agricultura.

<b>Categoria</b>	<b>Condição para o reuso</b>	<b>Grupo exposto</b>	<b>Nematoides intestinais (nº de ovos/L)</b>	<b>Coliformes fecais (NMP/ 100 mL)</b>
<b>A</b>	Irrigação de culturas que possam ser comidos crus, campos esportivos e parques públicos	Trabalhadores e consumidores	$\leq 1$	$\leq 1000$
<b>B</b>	Irrigação de culturas de cereais e industriais, plantas forrageiras, pastagens e árvores	Trabalhadores	$\leq 1$	Nenhum padrão recomendado
<b>C</b>	Irrigação localizada de culturas na categoria B, se a exposição dos trabalhadores e do público não ocorre	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável

FONTE: WHO (1989, apud SOUZA FILHO, 2013).

### 5.5 Produção de mudas

Conforme Augusto et al. (2007) o sistema de irrigação de viveiros no Brasil mais usado é a microaspersão, sistema que gera grandes desperdícios em razão de fatores como vento, espaços vazios e má distribuição dos aspersores em relação às mudas. A subirrigação contínua se mostra como alternativa para a economia de água, assim como um sistema eficiente para um rápido e controlado desenvolvimento das mudas, e vem sendo utilizada principalmente no manejo de mini e microjardins clonais. Visando ao aproveitamento de águas residuárias, esse sistema se mostra ainda mais propício, pois diminui a possibilidade de contaminação humana e do ambiente.

**Figura 4.** Estufa de produção de mudas florestais.



Fonte: Ceepto (2017)

Augusto et al. (2003) obtiveram resultados satisfatórios estudando a produção de mudas de *Croton floribundus* Spreng. (Capixingui) e *Copaifera langsdorfii* Desf. (copaíba) em um sistema de subirrigação com águas residuárias resultantes do tratamento biológico do esgoto da Comunidade Olaria. Embora as mudas produzidas com essa água residuária tenham apresentado crescimento inferior àquelas produzidas com fertilizantes minerais, não foram constatadas mortalidade, deficiência ou toxidez aparente. Acredita-se que no presente trabalho os resultados sejam também satisfatórios, na qual os experimentos serão realizados em estufas com usos de vasos com determinado volume de solos e capacidades de potes analisadas.

## 5.6 O Solo

O solo é uma mistura de compostos minerais e orgânicos, formado pela ação de agentes físicos, químicos e biológicos que atuam sobre o material primário (a rocha) e provoca modificações na mesma. Essas ações são denominadas intemperismos e são classificados de acordo com a alteração do substrato primário para o desenvolvimento característico de cada tipo de solo. A atuação dos intemperismos físicos, químicos e biológicos é condicionada a diversos fatores como o clima, as pressões dos sistemas de plantas, variação do volume de cristalização de alguns sais, as reações dos sais que compõem o material e pela ação dos microrganismos (LUCHESE et al., 2002).

Ainda segundo o autor as rochas são misturas de minerais que apresentam composição química definida e propriedades que as caracterizam, como: cor, brilho, dureza, densidade, entre outros. Essas características provenientes dos minerais são instáveis às variações decorrentes dos intemperismos e levam a transformações de um mineral em outro. Os minerais de maior importância agrícola são os Feldspatos, micas, olivinas e os quartzos, dando origem



às argilas, minerais amorfos e interestratificados, sendo esses, os principais componentes do solo.

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), o solo é constituído por três fases: sólida, líquida e gasosa. A fase sólida é constituída pelo material parental (rocha) local ou transportado e material orgânico, originário da decomposição vegetal e animal. A fase líquida, a água ou a solução do solo (elementos orgânicos e inorgânicos em solução), e a fase gasosa, de composição variável, de acordo com os gases produzidos e consumidos pelas raízes das plantas e dos animais ( $CO_2$  e  $O_2$ ).

Na fase sólida do solo é onde ocorrem as trocas gasosas proveniente da degradação da matéria orgânica. Todas as fases em equilíbrio são importantes na agricultura, pois além de meio de fixação das plantas, o solo é fonte de nutrientes para o seu desenvolvimento. No presente trabalho, foi analisado e estudado o solo na fase sólida.

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (Figura 5), que se localiza na área externa do Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) que pertence ao Núcleo de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco-Centro Acadêmico do Agreste (UFPE-CAA), em Caruaru, PE, a 554 m de altitude e coordenadas geográficas: 08° 17' 00" S de Latitude e 35° 58' 34" W de Longitude. A casa de vegetação é do tipo capela e foi construída em estrutura de madeira, apresentando as seguintes características: área de 18 m<sup>2</sup>, nas dimensões de 3 m por 6 m, esteio central com 3,3 m de altura, pé direito com 2,4 m, cobertura de plástico transparente e contorno lateral em tela de nylon do tipo sombrite.

**Figura 5.** Casa de vegetação usada no experimento.



Fonte: Produção do autor (2018)

### 6.2 Montagem do experimento

Após a coleta de solo, o mesmo foi posto para a secagem e posteriormente foi destorroado e preparado para finalmente o experimento ser montado. A plantação e cultivo se deu em vasos plásticos contendo 1 kg de solo em cada vaso. Antes de serem plantadas, as sementes foram preparadas para a germinação, usando bandejas plásticas com papéis do tipo toalha, umedecidos com água, por um período de 48 horas. As sementes foram plantadas nos vasos a uma profundidade de 1cm, com quatro sementes da espécie *Handroanthus impetiginosus*, conhecida popularmente por Ipê roxo, para cada vaso. A Avaliação da germinação faz parte de outra

pesquisa. No presente trabalho, apenas o solo foi avaliado. Foram montados 9 vasos (potes), sendo dispostos em três tratamentos, tendo 3 repetições para cada tratamento, com etiquetas para identificação, conforme apresentado na Figura 6.

**Figura 6.** Experimento montado sobre a bancada na casa de vegetação.



Fonte: Produção do autor (2018)

Para fins práticos e didáticos o tratamento “Água+NPK” será chamado de T1, o tratamento “Esgoto” será chamado de T2 e o tratamento “Água” será chamado de T3. No tratamento T1 foi adicionado fertilizante NPK no solo na proporção de 0,65 gramas por pote, e a irrigação da cultura foi dada por uso de água potável no solo. No tratamento T2 utilizou esgoto tratado na irrigação da cultura. Já o tratamento T3 consiste na utilização exclusiva de água potável para a irrigação da cultura. Conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Configuração do experimento.

Tratamento	Identificação	Pote
Água+NPK (T1)	1	1
	2	2
	3	3
Esgoto (T2)	1	4
	2	5
	3	6
Água (T3)	1	7
	2	8
	3	9

Fonte: Produção do autor (2018)

Adicionou-se Hidróxido de Cálcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ , conhecido popularmente por cal hidratada, na proporção de 330 gramas por metro quadrado de superfície de substrato, que equivale a 5

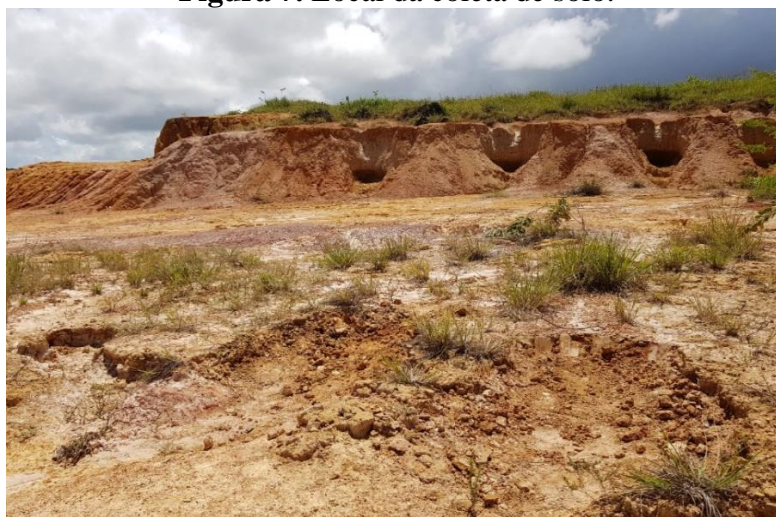
gramas por pote, em todo o solo utilizado no experimento afim de corrigir o pH, visto que em experimentos anteriores o solo apresentou pH com valores entre 4 e 5, sendo assim um solo com características ácidas.

### 6.3 Solo utilizado

#### 6.3.1 Coleta de solo

O solo foi extraído das áreas adjacentes a Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Tamandaré, localizada no litoral pernambucano, conforme apresentado na Figura 7. Foi escolhido esta localidade para a coleta de solo, pois a questão do plano de compensação ambiental desta área foi objeto de interesse e motivação deste presente trabalho.

**Figura 7.** Local da coleta de solo.



Fonte: Produção do autor (2018)

A extração do solo foi feita a uma profundidade de aproximadamente 10 centímetros da superfície, utilizando ferramentas braçais, como: enxada, pá e picareta.

Após ser coletado, o solo foi transportado até a cidade de Caruaru, mais especificadamente para o campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde posteriormente foi secado e destorroado para finalmente ser usado no experimento.

#### 6.3.2 Análises do solo

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco (CAA-

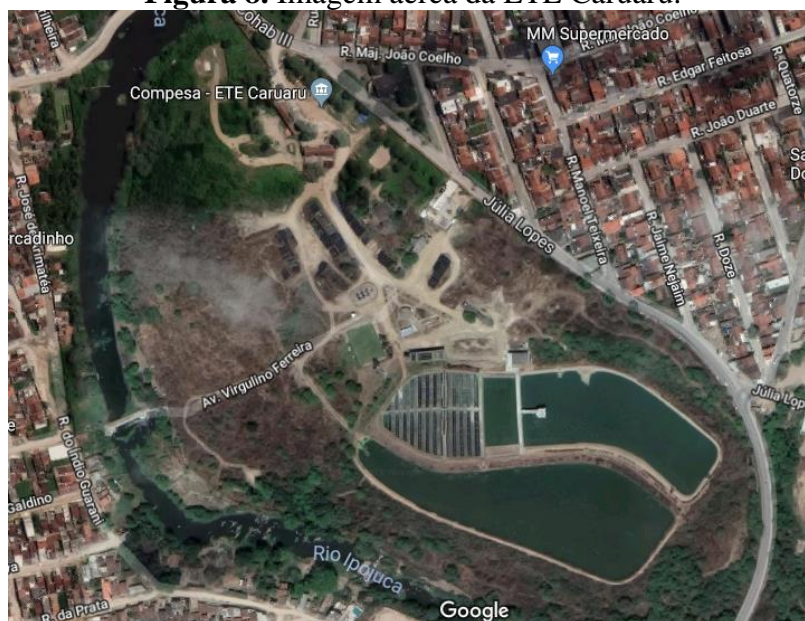
UFPE) em Caruaru e também no Laboratório de Fertilidade do Solo do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) na cidade de Recife.

Os parâmetros analisados foram os seguintes: Carbono Orgânico, Amônio, Nitrato, Fósforo, Magnésio, Potencial hidrogeniônico (pH), Cálcio, Sódio, Potássio e Alumínio. Os parâmetros de Carbono Orgânico, Amônio e Nitrato foram analisados no LEA e os demais no IPA.

#### 6.4 Efluente e água usados na irrigação

No experimento, para irrigação da cultura, a água usada foi a fornecida para o consumo do campus universitário UFPE-CAA, sendo assim pode ser caracterizada como água potável. O efluente tratado usado ao longo do experimento para a irrigação da cultura foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto de Caruaru (ETE Caruaru), pertencente a COMPESA, localizada no bairro Rendeiras (Figura 8). A coleta foi realizada a cada dez dias de experimento para evitar que o efluente permanecesse muito tempo armazenado em recipientes, galões com capacidade para 20 litros, tendo como consequência uma possível perda de características do efluente, mesmo sendo armazenado em refrigeradores nas dependências do LEA.

**Figura 8.** Imagem aérea da ETE Caruaru.



Fonte: Google (2018)

## 6.5 Análises do efluente

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco (CAA-UFPE) em Caruaru.

A caracterização das águas residuárias, como também da água utilizada, se deu a partir da análise dos seguintes parâmetros: pH; Condutividade elétrica; Demanda química de oxigênio (DQO); Fósforo; Nitrogênio total; Nitrogênio amoniacal; Coliformes totais, Coliformes Termotolerantes e STD.

## 6.5 Capacidade de pote

Segundo (Veihmeyer & Hendrickson, 1931) apud (Derblai Casaroli & Quirijn de Jong van Lier, 2007), capacidade de pote é conceituada como o teor de água que um solo sem vegetação e na ausência de evaporação retém contra a ação da gravidade, após plenamente saturado e deixado drenar livremente por um período de tempo.

Após a secagem o solo foi destorroadado e antes da montagem do experimento, foi determinado a capacidade de pote do solo para se ter ciência da quantidade de líquido (efluente tratado e água) a ser usado na irrigação de cada pote. A determinação da capacidade de pote foi realizada utilizando três potes contendo 1 kg do solo coletado em cada um deles. O peso médio dos recipientes vazios verificado foi de 60 gramas.

Nos recipientes o solo foi umedecido com água de forma que a distribuição de água em sua superfície fosse homogênea até que o solo se tornasse saturado, esse procedimento foi feito em ambos os três potes, também foram feitos furos homogeneamente distribuídos na área do fundo dos recipientes afim de drenar a água, os potes foram submetidos à drenagem livre por 24h.

Com isso, obteve-se o conteúdo de água retida pelo solo nas três amostras e a capacidade de pote adotada foi obtida através da média simples entre os valores encontrados.

$$P_{\text{soloúmido},24h} = P_2 - P_1$$

$$P_{\text{água}} = P_{\text{soloúmido},24h} - P_{\text{solo}}$$

Onde:

$$P_1 = \text{Tara} = \text{Peso do recipiente vazio}$$

$$P_2 = \text{Peso do sistema solo úmido} + \text{pote}$$

$$P_{\text{solo}} = \text{Peso do solo}$$

$$P_{\text{soloúmido},24h} = \text{Peso do solo úmido após 24h}$$

$$P_{\text{água}} = CP = \text{Peso da água que pode ser retida pelo solo}$$

Através do peso do sistema total, do recipiente vazio e do solo utilizado em cada uma das amostras, obtiveram-se os valores da capacidade de pote para cada uma das amostras e, através da média destes valores, o valor da capacidade de pote adotada para o experimento. A Tabela 3 apresenta os valores obtidos para a capacidade de pote do solo.

**Tabela 3.** Pesos das capacidades de pote.

	$P_2(kg)$	$P_{\text{soloúmido},24h}(kg)$	CP (kg)
Pote 1	1,354	1,294	0,294
Pote 2	1,340	1,280	0,280
Pote 3	1,326	1,266	0,266
Média			0,280

Fonte: Produção do autor (2018)

No experimento, a capacidade de pote adotada foi na porcentagem de 70% do valor integral, visto que em experimentos anteriores com o mesmo solo os resultados não foram tão satisfatórios para capacidades de potes com porcentagens menores que 70%. Sendo assim, para a concentração da capacidade de pote de 70%, que foi adotada no experimento, tem-se:

$$70\% \times CP = 0,7 \times 0,280 = 0,196 \text{ kg}$$

Dessa forma, para que se mantivessem diariamente as concentrações desejadas da capacidade de pote, a balança deveria sempre marcar para o sistema o seguinte valor:

$$70\% \text{ da CP: } 1 + 0,06 + 0,196 = 1,256 \text{ kg}$$

Onde foram somados o valor da massa de solo, que foi de 1 kg, o peso do recipiente, que foi de 60 gramas, e o valor da capacidade de pote para 70%. Obtendo assim o valor de 1,256 kg.



## 6.6 Irrigação

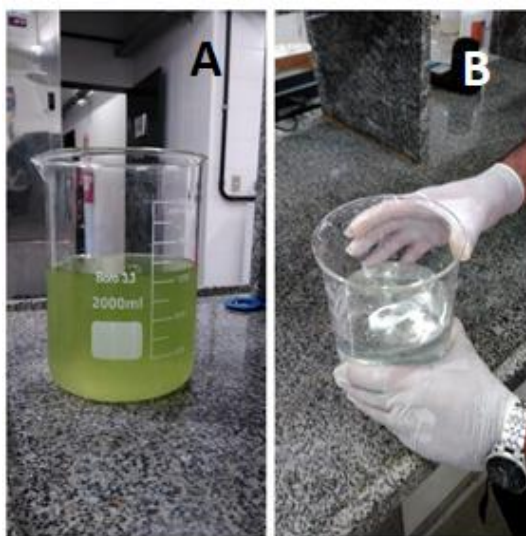
Os vasos foram irrigados diariamente por um período de 30 dias, iniciando na data de 22 de outubro de 2018 e finalizando no dia 22 de novembro do mesmo ano, e para isso eles também foram pesados diariamente para que fossem irrigados até atingir a pesagem determinada pela capacidade de pote, que foi um peso de 1,256 kg para cada vaso (Figura 9). Para isto foram utilizados copos do tipo Becker para manuseio do efluente e da água, e para a pesagem usou-se balança eletrônica com precisão de 2,0 gramas (Figura 10).

**Figura 9.** Fotografia de balança digital utilizada na pesagem dos vasos.



Fonte: Produção do autor (2018)

**Figura 10.** Líquidos usados na irrigação. a) esgoto tratado; b) água



Fonte: Produção do autor (2018)

Ao final do experimento, os vasos de solos foram desmontados e o solo foi destorroado novamente, para extrair amostras afim de serem levadas para os laboratórios de análises de



solos. Para se destorroar o solo foi usado como ferramenta um rolo de macarrão tanto no início como no fim do experimento (Figura 11).

**Figura 11.** a) destorroamento. b) solo destorroadado.



Fonte: Produção do autor (2018)

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Água utilizada

Como já mencionado, a água usada no experimento para a irrigação nos tratamentos T1 e T3 foi a água que é fornecida para o abastecimento do campus universitário, segue em tabela o resultado das análises desta água. A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados na avaliação da qualidade da água.

**Tabela 4.** Resultado das análises da água.

Parâmetro	Unidade	Valor	Valor Máximo
pH	-	6,8	9
Condutividade Elétrica	µs/cm	198	200
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	35,3	-
Nitrogênio Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	1,1	1,5
Nitrogênio Total	mg N-NTK/L	1,8	-
Fósforo	mg P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L	0,5	-
Coliformes Totais	NMP/100ml	0	0
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	0	0
STD	mg STD/L	127	1000

Fonte: Produção do autor (2019)

De acordo com a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde a água analisada está dentro dos parâmetros de potabilidade. Analisando-se os parâmetros de STD, Nitrogênio Amoniacal, Coliformes Totais e Termotolerantes, verificou-se que os valores dos resultados são inferiores aos valores máximos permissíveis para abastecimento humano.

Segundo a USEPA os valores de pH para a água devem estar entre os valores de 6 a 9, o valor analisado foi de 6,8, estando assim dentro desta faixa estabelecida. Segundo a Portaria 2914/2011, o valor máximo permitido para o STD (Sólidos Totais Dissolvidos) é de 1000 mg/L, como o valor obtido na análise foi de 127 mg/L, está dentro do padrão. O Nitrogênio Amoniacal também apresentou valores aceitáveis de acordo com a mesma portaria, apresentando 1,10 mg/L que é menor que o valor máximo que é de 1,50 mg/L.

Ainda segundo a referida Portaria, não deve haver presença de Coliformes Totais e Termotolerantes, e o resultado demonstrou que não ocorreu presença de coliformes. A Portaria 2914/2011 não estabelece valores máximos permitidos para os parâmetros: DQO (Demanda Química de Oxigênio), Fósforo e Condutividade Elétrica. Porém, segundo algumas

recomendações, o valor máximo para a Condutividade Elétrica é de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no resultado apresentado o valor foi de 198  $\mu\text{S}/\text{cm}$  estando quase no limite máximo, mas ainda dentro das recomendações.

## 7.2 Água residuária

O esgoto doméstico tratado coletado na ETE de Caruaru, usado no tratamento T2 do experimento, apresentou-se com os seguintes resultados expostos na Tabela 5.

**Tabela 5.** Resultado das análises do esgoto tratado.

Parâmetros	Unidades	Resultados
pH	-	8
Condutividade Elétrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1455
DQO	$\text{mg O}_2 / \text{L}$	168
Nitrogênio Amoniacal	$\text{mg N-NH}_3 / \text{L}$	10
Nitrogênio Total	$\text{mg N-NTK}/\text{L}$	32
Fósforo	$\text{mg P-PO}_4^{-3}/\text{L}$	8
Coliformes Totais	NMP/100ml	41000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	6000
STD	$\text{mg STD}/\text{L}$	765

Fonte: Produção do autor (2019)

De acordo com as recomendações da OMS (1989), para o cultivo de culturas de espécies arbóreas não há nenhum padrão recomendado quanto a quantidade de Coliformes Termotolerantes (fecais) presente nas águas residuárias para reúso, porém para irrigação de culturas que possam ser comidas crus a recomendação é que a quantidade de Coliformes Termotolerantes não seja maior que 1000 NMP/100L. Então, no presente trabalho, como se pretende no futuro o reflorestamento com espécies arbóreas, o resultado foi favorável.

Quanto a presença de nutrientes para as plantas, os resultados mostraram quantidades significativas dos macronutrientes: Nitrogênio e Fósforo. A Tabela 6 apresenta os dados referentes aos macronutrientes, e também apresentada os valores da Demanda Química de Oxigênio (DQO) que avalia a quantidade de Oxigênio dissolvido e mostra o caráter orgânico do efluente.

Também de acordo com a USEPA os valores de pH para efluentes também devem estar entre 6 e 9, como o resultado apresentado de pH foi 8, está dentro das recomendações. O parâmetro de Condutividade Elétrica, quando em valores expressivos indica a presença de sais,

no entanto não há recomendações e nem ressalvas quanto a seus valores para fins de irrigação com efluente.

**Tabela 6.** Nutrientes presentes no esgoto tratado.

Parâmetros	Unidades	Resultados
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	168
Nitrogênio Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	10
Nitrogênio Total	mg N-NTK/L	32
Fósforo	mg P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L	8

Fonte: Produção do autor (2019)

Como os valores apresentados para esses nutrientes foram relativamente altos se comparados com os resultados da análise da água utilizada, para os indicadores mostrados na tabela acima, conclui-se que o esgoto tratado usado no experimento apresenta boas características para a finalidade da fertirrigação. O valor de Nitrogênio Amoniacal apresenta valor menor que o máximo permitido para lançamento do efluente recomendado pela Resolução CONAMA 357/2005 que é de 20 mg/L, demonstrando assim a eficiência do tratamento. Já o valor máximo permissível de Fósforo não é estabelecido no Brasil para água potável e nem para lançamento de efluentes. Comparando esses valores de nutrientes presentes no esgoto tratado com os presentes na água utilizada no experimento, percebe-se que os teores no esgoto são bem maiores, e isso é satisfatório no que diz respeito a fertilização das mudas, inferindo-se que o solo ao final do experimento apresente maior fertilidade.

### 7.3 Avaliação do solo

A explanação e avaliação dos resultados do solo ocorreu pela análise de cada parâmetro, tais como: pH, Fósforo, Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Alumínio, Carbono Orgânico, Amônio e Nitrato. Estas análises serão feitas verificando as características iniciais e finais do solo, bem como os diferentes tratamentos do experimento.

#### 7.3.1 pH

Os valores de pH, indicam o caráter ácido ou alcalino do solo, segue tabela abaixo com o resultado deste parâmetro, mostrando os valores iniciais (antes do experimento) e os valores dos diferentes tratamentos ao final do experimento. De acordo com a (EMBRAPA, 2015), solos Calcários apresentam valores de pH entre 7 e 8, solos com pH acima de 8,3 são considerados fortemente alcalino, e solos com valores próximos de 9 indicam presença de Sódio em sua composição. O solo em questão apresentou altos valores de pH, dando uma característica

alcalina ao mesmo, e praticamente constantes, não mudando muito após a irrigação. Isso aconteceu devido a adição de Hidróxido de Cálcio em todo o solo utilizado no experimento e em todas as situações mostradas na Tabela 7.

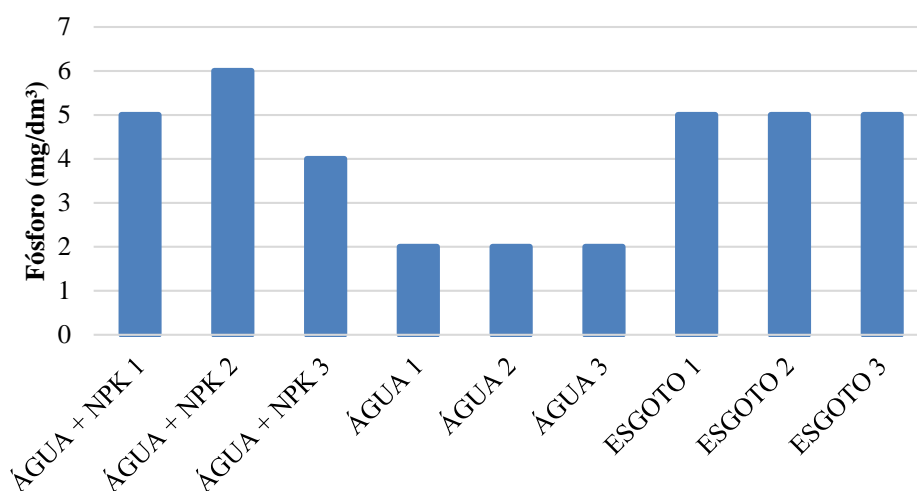
**Tabela 7.** Valores de pH para todas situações.

		pH	Valores Médios	Classificação
	SOLO INICIAL	8,3		
	SOLO INICIAL + NPK	8,2	8,25	Alcalino
T1	ÁGUA + NPK 1	8,5		
	ÁGUA + NPK 2	8,5	8,5	Fortemente Alcalino
	ÁGUA + NPK 3	8,5		
T2	ESGOTO 1	8,6		
	ESGOTO 2	8,5	8,53	Fortemente Alcalino
	ESGOTO 3	8,5		
T3	ÁGUA 1	8,6		
	ÁGUA 2	8,6	8,57	Fortemente Alcalino
	ÁGUA 3	8,5		

Fonte: Produção do autor (2019)

### 7.3.2 Fósforo

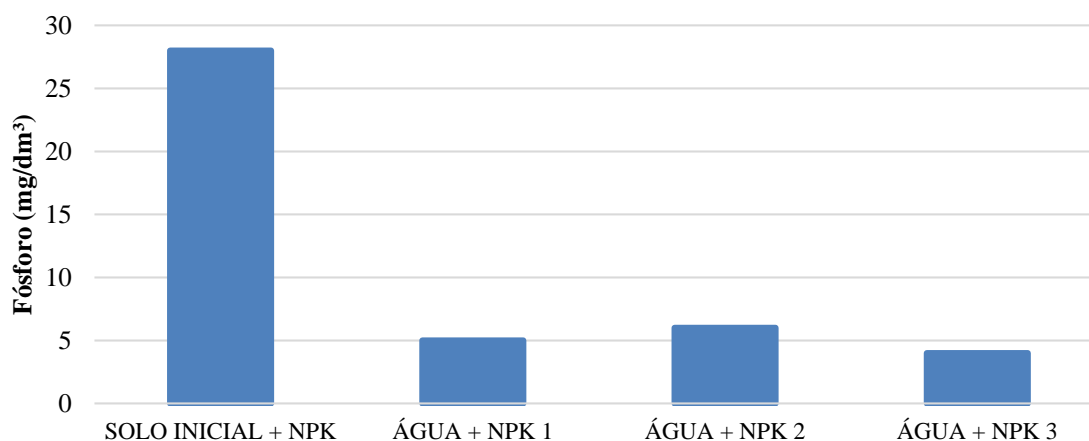
O Fósforo é um macronutriente e sua presença no solo indica características de fertilidade e potencial produtivo de culturas. A Figura 12 apresenta o bom resultado referente a quantidade de Fósforo no efluente utilizado para irrigação, visto que os valores para o tratamento T2 (reúso de esgoto) ficaram bem próximos do tratamento T1, onde usou-se fertilizante NPK.

**Figura 12.** Gráfico da quantidade de P nos vasos após o experimento.

Fonte: Produção do autor (2019)

Analizou-se também, de forma comparativa a presença de Fósforo na situação inicial (antes do experimento) e na situação posterior ao experimento em ambos tratamentos, na qual o solo já teria sofrido a ação do efluente tratado e da água.

O gráfico da Figura 13 apresenta um comparativo da situação inicial e final do solo com fertilizante NPK, nota-se que com a adição de fertilizante ao solo ele apresentou um valor de 28 mg/dm³ de P, valor bastante considerável, porém neste tratamento a irrigação se deu apenas com água e com o passar dos dias de irrigação houve um decréscimo brusco de concentração de P nesse tratamento T1, mesmo assim os valores finais são considerados de média magnitude para solos argilosos de acordo com a (EMBRAPA,2015), que considera os valores entre 4,1 e 8 mg/dm³ como sendo teores médios .

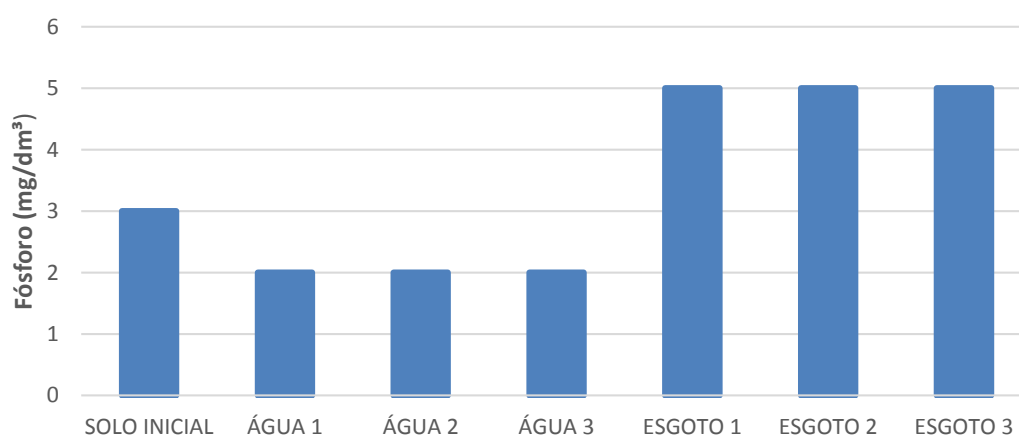
**Figura 13.** Gráfico da quantidades iniciais e finais de P no tratamento T1.

Fonte: Produção do autor (2019)

O gráfico da Figura 14 evidencia a eficiência do esgoto no papel de fertilizar o solo, visto que houve um acréscimo significativo na quantidade de P justamente no tratamento que reutiliza o esgoto tratado, tratamento T2.

Em resumo, os teores de Fósforo analisados nos tratamentos T1 e T2 são considerados teores médios, já os do tratamento T3 são considerados baixos, necessitando assim de adubação, evidenciando que o solo coletado é pobre de nutrientes. Para se alcançar uma situação ótima o teor teria que exceder 8 mg/dm<sup>3</sup>, de acordo com as recomendações da (EMBRAPA,2015).

**Figura 14.** Gráfico da quantidade iniciais e finais de P nos tratamentos T2 e T3.



Fonte: Produção do autor (2019)

### 7.3.3 Potássio

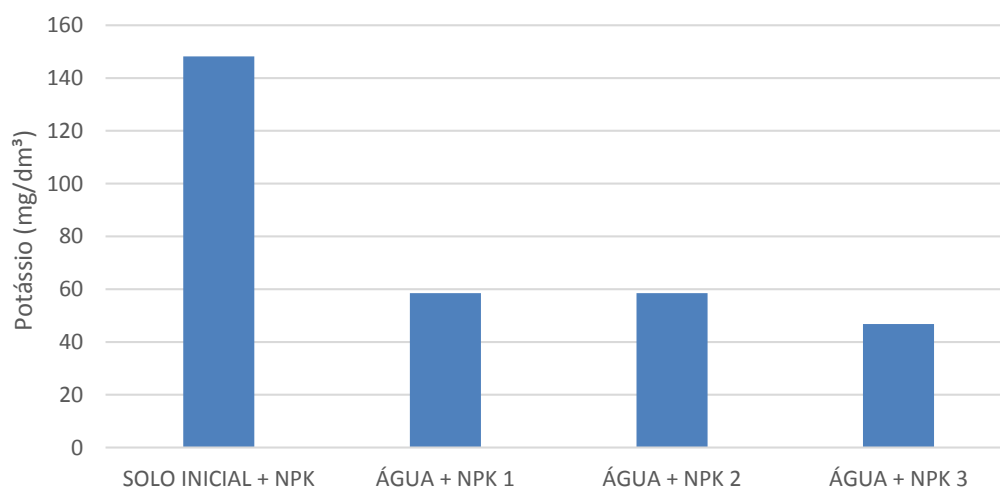
O Potássio também é um macronutriente e teores altos indicam boa fertilidade no solo. Segue resultado na Tabela com a conversão de unidade para facilitar na interpretação dos dados. Segundo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER, 2013), solos com valores menores que 60 mg/dm<sup>3</sup> de K são considerados baixos. Pelos resultados apresentados na tabela 8, os teores foram considerados bons no tratamento que utiliza o efluente tratado.

**Tabela 8.** Teores de Potássio no solo.

	Tratamento	K(mg/dm <sup>3</sup> )	Valor Recomendado
	SOLO INICIAL	27,3	
	SOLO INICIAL + NPK	148,2	
T1	ÁGUA + NPK 1	58,5	
	ÁGUA + NPK 2	58,5	
	ÁGUA + NPK 3	46,8	
T2	ESGOTO 1	31,2	Acima de 60 K(mg/dm <sup>3</sup> )
	ESGOTO 2	31,2	
	ESGOTO 3	39	
T3	ÁGUA 1	62,4	
	ÁGUA 2	58,5	
	ÁGUA 3	66,3	

Fonte: Produção do autor (2019)

A Figura 15 apresenta os resultados do potássio em relação ao Tratamento 1. O Potássio apresentou características semelhantes ao apresentado para o Fósforo, isso porque neste tratamento há a presença de fertilizante com esses compostos.

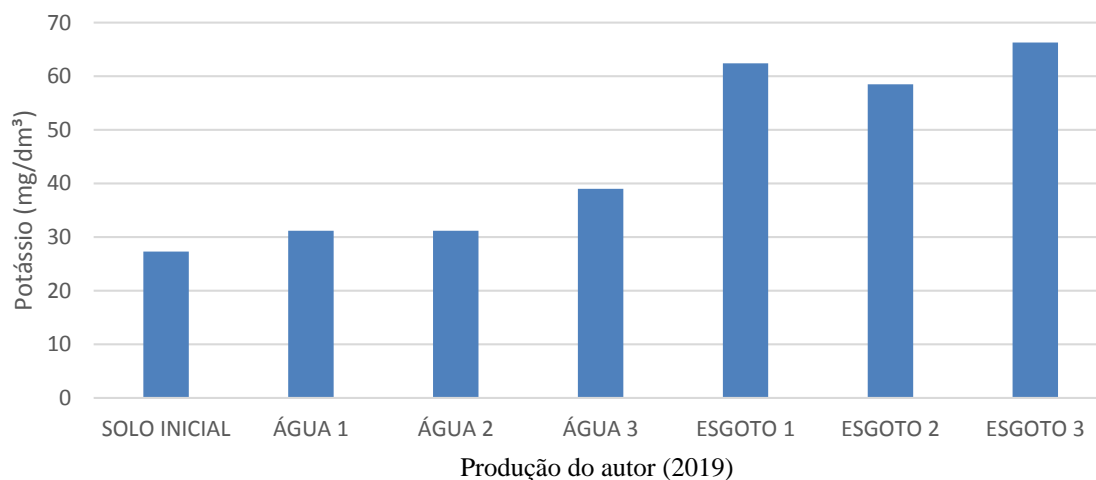
**Figura 15.** Gráfico de teores de K para o tratamento T1.

Fonte: Produção do autor (2019)

Já para a comparação inicial e final com os tratamentos T2 e T3 (Figura 16), notou-se um aumento dos teores de K nos vasos que foi irrigado com esgoto doméstico tratado, mostrando mais uma vez valores satisfatórios no tocante a fertilidade do solo.



**Figura 16.** Gráfico de teores de K para os tratamentos T2 E T3.



Conforme a (EMBRAPA, 2015), teores mais baixos de potássio indicam solos mais intemperizados, e podem ser corrigidos elevando-se esses teores com a aplicação de adubos contendo o nutriente, no Brasil, a fonte mais comum é o cloreto de potássio. Foi possível perceber que no tratamento T3 o solo não precisará ser corrigido, visto que os teores de K são altos.

#### 7.3.4 Alumínio

A presença de Alumínio no solo pode inibir o crescimento radicular e influenciar na disponibilidade de outros nutrientes e processos como a mineralização da matéria orgânica, no solo em questão os resultados mostraram a ausência de teores de Alumínio.

#### 7.3.5 Soma de cátions trocáveis (S), Capacidade de troca catiônica (CTC) e Saturação por base (V)

Esses parâmetros são importantes para a verificação de necessidade de correção do solo, através de processos de adubação. De acordo com o Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo (EMBRAPA,2015) esses parâmetros são definidos como abordado a seguir:

- A Soma de cátions trocáveis (S) indica o grau de intemperismo do solo. Em solos mais jovens que sofreram menos intemperismo, os teores são mais altos. Este parâmetro é dado pela equação:

$$S = Ca + Mg + Na + K$$

- A Capacidade de troca catiônica (CTC) indica a presença de argila no solo e é um dado a ser considerado no manejo da adubação, é definido pela soma das bases, segue equação:

$$CTC = Ca + Mg + Na + K + Al + H$$

- A Saturação por bases (V) indica a necessidade de calagem do solo, o valor é dado em porcentagem, e relaciona os valores de S e CTC pela equação:

$$V = \frac{S}{CTC} \times 100$$

A Tabela 9 apresenta os teores de Ca, Mg, Na, K, Al e H que são utilizados para a determinação dos valores de CTC, S e V. Segundo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER, 2013) esses resultados indicam que os valores de Cálcio foram maiores que 4 cmolc/dm<sup>3</sup> e são classificados altos nos tratamentos com fertilizante e esgoto, e os teores de Magnésio devem apresentar valores acima de 1 cmolc/dm<sup>3</sup> para apresentar resultados satisfatórios. É importante que os teores de Ca e Mg estejam acima dos níveis adequados ao bom crescimento das culturas.

**Tabela 9.** Teores de Ca, Mg, Na, K, Al e H.

Tratamento	Ca cmolc/dm <sup>3</sup>	Mg cmolc/dm <sup>3</sup>	Na cmolc/dm <sup>3</sup>	K cmolc/dm <sup>3</sup>	Al cmolc/dm <sup>3</sup>	H cmolc/dm <sup>3</sup>
SOLO INICIAL	6,85	0,8	0,12	0,07	0	0
SOLO INICIAL + NPK	4,25	2	0,13	0,38	0	0
ÁGUA + NPK 1	4,6	1,9	0,26	0,15	0	0
ÁGUA + NPK 2	3,9	2,7	0,25	0,15	0	0
ÁGUA + NPK 3	4,1	2,5	0,26	0,12	0	0
ÁGUA 1	3,5	2,75	0,25	0,08	0	0
ÁGUA 2	3,7	3,05	0,26	0,08	0	0
ÁGUA 3	4,2	3	0,26	0,1	0	0
ESGOTO 1	5,6	2,3	1,2	0,16	0	0
ESGOTO 2	4,6	3	1,1	0,15	0	0
ESGOTO 3	4,6	2,4	1,1	0,17	0	0

Fonte: Produção do autor (2019)

Segundo o Laboratório de Fertilidade do Solo do IPA, os valores do quantitativo de Hidrogênio foram bastantes insignificantes, muitos baixos, e podem ser considerados como valores nulos. A partir destes valores, encontrou-se os valores de S, CTC e V. Os valores estão apresentados na Tabela 10, como os valores de H foram considerados nulos, isso descarta a possibilidade de meio ácido no solo, e conseqüentemente o valor da Saturação por base (V)

apresentou valores de 100% para todas amostras de solos, tanto os solos iniciais como também os posteriores ao fim do experimento. Esses valores demonstram a extrema alcalinidade do solo, isso devido a dosagem de cal hidratada em todo o solo trabalhado neste experimento.

**Tabela 10.** Valores de S, CTC e V no solo.

Tratamentos	S(cmolc/dm <sup>3</sup> )	CTC(cmolc/dm <sup>3</sup> )	V(%)
SOLO INICIAL	7,84	7,84	100
SOLO INICIAL + NPK	6,76	6,76	100
ÁGUA + NPK 1	6,91	6,91	100
ÁGUA + NPK 2	7	7	100
ÁGUA + NPK 3	6,98	6,98	100
ÁGUA 1	6,58	6,58	100
ÁGUA 2	7,09	7,09	100
ÁGUA 3	7,56	7,56	100
ESGOTO 1	9,26	9,26	100
ESGOTO 2	8,85	8,85	100
ESGOTO 3	8,27	8,27	100

Fonte: Produção do autor (2019)

De acordo com o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER, 2013) valores de S acima de 5 cmolc/dm<sup>3</sup> são classificados como altos e essa classificação é genérica e sem fins práticos, sendo utilizado para a estimativa da Saturação por Bases (V), no cálculo da CTC não foi usado o H e nesse caso chama-se CTC efetiva e valores acima de 6 cmolc/dm<sup>3</sup> são classificados como altos e indicam que o solo consegue adsorver grandes quantidades de nutrientes catiônicos (K, Ca e Mg), para valores de V maiores que 70% infere-se que é alto e o solo não precisará de correção.

#### 7.3.6 Carbono Orgânico

Os valores de Carbono Orgânico evidenciam a presença de matéria orgânica no solo, dando a ele características de fertilidade ao solo. A Tabela 11 apresenta os teores de carbono orgânico do solo. Os resultados mostraram que mesmo após a aplicação do efluente no solo os valores ficaram bem próximos. No entanto uma pequena diferença pôde ser observada no Tratamento T2, reúso de esgoto, apresentando maiores valores. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2015), teores acima de 20 g/kg de Carbono Orgânico no solo classificam esses teores como sendo de magnitudes altas.

**Tabela 11.** Valores de Carbono Orgânico no solo.

	Tratamentos	Carbono Orgânico (g/kg solo)	Valor Recomendado
	SOLO INICIAL	23,05	
	SOLO INICIAL + NPK	23,28	
	ÁGUA + NPK 1	24,23	
T1	ÁGUA + NPK 2	22,81	
	ÁGUA + NPK 3	22,70	
	ESGOTO 1	23,64	Acima de 20 g/kg solo
T2	ESGOTO 2	24,11	
	ESGOTO 3	24,23	
	ÁGUA 1	22,23	
T3	ÁGUA 2	22,93	
	ÁGUA 3	24,23	

Fonte: Produção do autor (2019)

### 7.3.7 Nitrogênio: Amônio e Nitrato

No ciclo do Nitrogênio na natureza, ele apresenta-se em diferentes formas, entre elas: Amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e Nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), como os processos desse ciclos são muito rápidos e dinâmicos, esses parâmetros não são muito utilizados na análise de solos, visto que dentro de pequenos intervalos de tempo os teores de Nitrogênio são alterados de forma natural, e isso não é interessante para a interpretação das análises de solos. Devidos esses vários processos que ocorrem no ciclo do Nitrogênio, torna-se realmente difícil a interpretação desses dados, pois parte do N pode ser perdido no processo como também parte pode ser absorvido pelas plantas. Contudo, no presente trabalho foram realizadas as análises desses parâmetros.

**Tabela 12.** Teores de Amônia e Nitrato.

	Amônio (mg/kg solo)	Nitrato (mg/kg solo)
SOLO INICIAL	69,99	37,33
SOLO INICIAL + NPK	74,66	44,33
ESGOTO 1	25,66	49,00
ESGOTO 2	18,66	44,33
ESGOTO 3	23,33	46,66
ÁGUA + NPK 1	21,00	46,66
ÁGUA + NPK 2	21,00	42,00
ÁGUA + NPK 3	16,33	30,33
ÁGUA 1	18,66	18,66
ÁGUA 2	14,00	18,66
ÁGUA 3	14,00	21,00

Fonte: Produção do autor (2019)

No Nitrogênio na forma de Amônio, a lixiviação é reduzida pela adsorção deste cátion ao complexo de cargas negativas do solo, sobretudo em solos com elevadas CTC. Foi visto em itens anteriores que o solo analisado apresenta em sua maioria teores altos de CTC. Assim sendo, haverá poucas perdas de Nitrogênio por lixiviação.

Já na forma de Nitrato, que é um ânion, não acontece a adsorção ao complexo de cargas negativas do solo e assim ocorre perdas por lixiviação.

Pelo resultado apresentado na Tabela 12 percebe-se de uma forma geral que nos casos de irrigação com água as concentrações de Nitrogênio foram menores em sua maioria, levando a entender que a água auxiliou o processo de lixiviação de N no solo.

## 8 CONCLUSÃO

A água utilizada no experimento é potável, apresentando boa qualidade segundo os resultados das análises.

O esgoto doméstico tratado apresentou resultados satisfatórios referentes aos parâmetros de qualidade de efluente para reúso agrícola, tendo uma ressalva no parâmetro de Coliformes Termotolerantes para o caso de culturas que podem ser comidas cruas, como neste trabalho trata-se de espécie arbórea sem produção de alimentos o resultado foi aceitável.

Com relação aos teores de nutrientes no esgoto, Fósforo e Nitrogênio, e também o valor da DQO, estes também foram satisfatórios visto que apresentou concentrações maiores que os presentes na água utilizada, dando assim um caráter de maior fertilidade ao esgoto e favorecendo na fertirrigação da cultura.

O pH do efluente e também da água estão dentro dos padrões de recomendações dos órgãos competentes, e assim não ocasionou danos ao solo e nem a cultura.

Devido a aplicação de cal hidratada em todo o solo antes do experimento, os valores de pH do solo apresentaram altos valores desde antes da realização do experimento, após os experimentos o pH manteve-se próximo ao do estado inicial. Esses valores altos indicam uma extrema alcalinidade do solo, o que pode prejudicar o desenvolvimento biológico da cultura.

Os teores de Fósforo foram toleráveis para os tratamentos T1 e T2, mas para o tratamento que usou-se apenas água na irrigação os teores foram baixos necessitando assim de técnicas de correção deste componente no solo.

Os resultados de teores de Ca e Mg apresentaram valores acima dos níveis adequados ao bom crescimento das culturas. Os valores da CTC indicaram que o solo consegue adsorver grandes quantidades de nutrientes catiônicos (K, Ca e Mg). Como os valores de V foram maiores que 70%, infere-se que é alto e o solo não precisará de correção, no entanto esses valores podem não estar coerentes pois apresentaram valores de 100%, o que dificilmente acontece na prática.

Os valores de Carbono Orgânico evidenciam a presença de matéria orgânica no solo, dando a ele características de fertilidade ao solo, e os teores encontrados nos resultados foram considerados bons, apresentando maiores valores nos vasos irrigados com esgoto.

A respeito do comportamento do Nitrogênio no solo, devido os processos dinâmicos no seu ciclo, ele não serve de parâmetro para a análise do solo. Como o solo em questão apresenta em sua maioria teores altos de CTC, haverá poucas perdas de Nitrogênio por lixiviação.

## REFERENCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2017.

Alves, Wagner Walker de Albuquerque. **Fertirrigação com água residuária na cultura do algodão de fibra marrom**/Wagner Walker de Albuquerque Alves. — Campina Grande, 2006.

AUGUSTO, D. C. C. et al. **Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de Eucalyptus grandis Hill. ex. maiden**. Revista Árvore, 31 (4), 745-751, 2007.

AUGUSTO, D. C. C. et al. **Utilização de esgotos domésticos tratados através de um sistema biológico na produção de mudas de Croton floribundus Spreng. (Capixingui) e Copaifera langsdorfii. Desf. (Copaíba)**. Revista Árvore, v.27, n.3, p.335-342, 2003.

BEEKMAN, G. B. **Qualidade e conservação da água**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, Brasília, 1996.

BERNARDI, Cristina Costa. **Reuso de água para irrigação**. Brasília: ISAEFGV/ ECOBUSINESS SCHOOL, 52p. (Monografia - MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, área de concentração Planejamento Estratégico), 2003.

BERTONCINI, E. I. **Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola**. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária. 2008.

BREGA FILHO, Darcy; MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. **Conceito de reúso de água**. In: Reúso de água, 2003.

CAMERON, K.C.; DI, H.J.; McLAREN, R.G. **Is soil an appropriate dumping ground for our waster**. Australian Journal of Soil Research, Collingwood, v.35, p.995- 1035, 1997.

CASTRO, C. N. **Gestão das Águas: Experiências Internacional e Brasileira**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília. 86p.2012.

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL. **Estufa de produção de mudas florestais**. Disponível em: <<http://www.ceeopro.com.br/album/galeria-de-fotos/dsc00955-jpg/>> acessado em 15/12/2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, 17 de março de 2005**.2005.

Derblai Casaroli; Quirijn de Jong van Lier. **Critérios para determinação da capacidade de vaso**.2007.

Dirceu D'Alkmin Telles, Regina Helena Pacca Guimarães Costa. **Reúso da água- Conceitos, Teorias e Práticas**, 2ª ed. 2010.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: Management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 224p.1991.

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

GUIDOLIN, J. C. **Reuso de efluentes**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2000.

HESPAHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95. 2002.

LOHMANN, L.G. **Bignoniaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

LUCHESI, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E.; **Fundamentos da Química do solo (Teoria e Prática)**; 2ª edição; Rio de Janeiro; 2002.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Manual de educação para o consumo sustentável**. Ministério do meio ambiente, Brasília, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE-MS. **Portaria nº 518 de 25 de Março de 2004**.2004.

MIRANDA, T. L. G. de. **Reúso de Efluentes de Esgotos Domésticos na Irrigação de Alfaces**. UFRGS, Porto Alegre, (Dissertação de Mestrado).1995.

PREZOTTI, Luiz Carlos; André Guarçoni M. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013.

REZENDE, A.A.P. **Fertirrigação do Eucalipto com Efluente Tratado de Fábrica de Celulose Kraft Branqueada**. Viçosa, UFV. 152p, (Tese de Doutorado).2003.

SOUZA FILHO, Edécio José de.; **Reúso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura da melancia no semiárido pernambucano**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE. 2013.