



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



ALANNA MARIA DO NASCIMENTO BEZERRA

**DESEMPENHO DE FILTROS LENTOS DE AREIA NO PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTE TÊXTIL E O POTENCIAL DO EFLUENTE TRATADO PARA REUSO**

Caruaru

2018

ALANNA MARIA DO NASCIMENTO BEZERRA

**DESEMPENHO DE FILTROS LENTOS DE AREIA NO PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTE TÊXTIL E O POTENCIAL DO EFLUENTE TRATADO PARA REUSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro
Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, em cumprimento às exigências
para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Saneamento Ambiental

Sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Elizabeth Amaral Pastich
Gonçalves

Caruaru

2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecária - Simone Xavier CRB/4-1242

B574d Bezerra, Alanna Maria do Nascimento.
Desempenho de filtros lentos de areia no pós-tratamento de efluente têxtil e o potencial do efluente tratado para reuso. / Alanna Maria do Nascimento Bezerra. - 2018. 56f. ; 30 cm.

Orientadora: Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
Inclui referências bibliográficas

1. Resíduos industriais. 2. Reuso. 3. Irrigação. 4. Efluentes líquidos. I. Gonçalves, Elizabeth Amaral Pastich. (Orientadora). II. Título

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2018-111)

ALANNA MARIA DO NASCIMENTO BEZERRA

**DESEMPENHO DE FILTROS LENTOS DE AREIA NO PÓS-
TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL E O POTENCIAL DO
EFLUENTE TRATADO PARA REUSO**

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 às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: **Saneamento Ambiental.**

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera a candidata **APROVADA** com nota _____.

Caruaru, 05 de Julho de 2018.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves: _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho: _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof^a. Dr^a. Luiza Feitosa Cordeiro de Souza: _____

ASCES – UNITA (Avaliadora)

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos: _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina de TCC)

Há uma teoria que indica que sempre que qualquer um descobrir o que, para que e porque o universo está aqui, o mesmo desaparecerá e será substituído imediatamente por algo ainda mais bizarro e inexplicável... Há outra teoria que indica que isto já aconteceu.

Douglas Adams

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha mãe, Maria Rosane, pelo exemplo de força, fé, dedicação e, principalmente, amor. Uma mulher que sempre buscou cuidar de suas filhas, dar sempre o apoio necessário para que eu e minhas irmãs continuássemos a trilhar nossos caminhos de forma honesta e com dignidade.

Às minhas irmãs, Alinne Bezerra e Amanda Bezerra, pelo apoio incondicional e pelas conversas de incentivo que me fortaleceram e alavancaram minhas forças para alcançar meus objetivos.

Ao meu pai, José Adeilson, pelo amor e cuidados, sempre se preocupando com as minhas viagens para Caruaru e por estar sempre ao meu lado.

Ao meu tio, José Mecias, pelas brincadeiras e pelos momentos de alegria quando voltava para casa.

Ao meu companheiro, Djalma Dionizio, por todo o amor, paciência e tranquilidade, por todos esses anos me apoiando e sempre me incentivando a continuar.

À minha amiga, Thais Silva, pelo companheirismo de curso, enfrentando comigo todos os desafios e vencendo todas as batalhas juntas.

À minha amiga, Raiane Alice, pelo incentivo e conversas, por ter me escutado e me confortado em muitos momentos difíceis.

À minha amiga, Thalyta Suruagy, por sempre estar presente, mesmo que esteja longe fisicamente, por sempre me escutar e me apoiar em todas as minhas decisões.

Ao meu amigo, Igor Lacerda, por sempre me ajudar a enfrentar os desafios do curso, pela paciência e dedicação aos meus pedidos de socorro.

A todos os amigos de curso e a todos os professores que contribuíram direta e indiretamente, fazendo com que eu acreditasse no meu potencial.

À minha orientadora e professora, Elizabeth Pastich, pelo exemplo de mulher dedicada ao trabalho, que impõe todo o amor naquilo que acredita. Agradeço imensamente por ter me acolhido, pelas conversas e cuidados, ter acreditado neste trabalho e por ter se dedicado, junto a mim, a torná-lo real.

Ao Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) do Centro Acadêmico do Agreste e aos seus integrantes pelo apoio e incentivo nas pesquisas, especialmente a Marcos Ribeiro, meu amigo, que iniciou a jornada desta pesquisa em parceria, compartilhando sabedoria e experiências.

RESUMO

As indústrias têxteis, ao longo dos seus processos operacionais, geram inúmeros resíduos nocivos ao meio ambiente, a depender do tipo de técnica empregada, da matéria prima utilizada e do produto gerado. Portanto, esse tipo de setor produtivo configura-se como um dos exemplos de carga poluidora dos cursos de água, além de aplicar grande quantidade de água em seus processos, resultando em diferentes níveis de resíduos tóxicos. Sendo assim, é imprescindível que alternativas eficientes para reutilização dessas águas com qualidade inferior sejam implementadas de forma a garantir a minimização dos impactos ambientais que a produção têxtil causa. Esta pesquisa teve como objetivo implantar em escala de modelo reduzido um sistema de filtração lenta e avaliar sua eficiência no pós-tratamento de efluente têxtil, aplicando estes resultados na viabilidade de reuso agrícola. A pesquisa utilizou quatro filtros de areia preenchidos com o mesmo solo, sendo um irrigado com água destilada e os outros três irrigados com efluente têxtil coletado em uma lavanderia localizada na cidade de Caruaru. Os filtros foram abastecidos com as amostras do efluente durante um período de sete dias, sendo irrigados diariamente através de um funil de separação com 125 ml de volume. O sistema de filtração em estudo apresentou reduções consideráveis dos valores de alguns parâmetros de controle ambiental, indicando a possibilidade do uso de filtração lenta para aprimorar a água residuária utilizada. As principais reduções referem-se a 61,24% da coloração, 89,43% da turbidez, 91,03% de nitrogênio amoniacal, 83,54% de fósforo, 98,11% de DBO e 81,17% de DQO, indicando elevada remoção de matéria orgânica. O valor de pH para as amostras filtradas foi de 7,59, atribuindo caráter mais básico às águas de reuso em relação ao efluente têxtil utilizado. Com relação ao oxigênio dissolvido, os filtros lentos foram capazes de realizar aeração nas amostras, alcançando resultado médio de 2,23 mg.L⁻¹. Com relação à reutilização do efluente têxtil tratado em atividades agrícolas ainda são necessárias maiores reduções das concentrações de condutividade elétrica e salinidade através do acréscimo da camada de areia ou até de outras tecnologias de tratamento.

Palavras-chave: Efluente. Filtração. Eficiência. Irrigação.

ABSTRACT

The textile industries, during their operational processes, generate countless residues harmful to the environment, depending on the type of technique used, the raw material used and the product generated. Therefore, this type of productive sector is one of the examples of polluting load of the water courses, besides applying large amount of water in its processes, resulting in different levels of toxic waste. Therefore, it is imperative that efficient alternatives to reuse these waters with inferior quality be implemented in a way that ensures the minimization of the environmental impacts that the textile production causes. The objective of this research was to implement a slow filtration system and evaluate its efficiency in the post-treatment of textile effluent, applying these results in the feasibility of agricultural reuse. The research used four sand filters filled with the same soil, one irrigated with distilled water and the other three irrigated with textile effluent collected in a laundry located in the city of Caruaru. The filters were filled with the effluent samples over a period of seven days, and were irrigated daily through a 125 ml volume separation funnel. The filtration system under study presented considerable reductions in the values of some environmental control parameters, indicating the possibility of using slow filtration to improve the wastewater used. The main reductions refer to 61.24% of the coloration, 89.43% of turbidity, 91.03% of ammoniacal nitrogen, 83.54% of phosphorus, 98.11% of BOD and 81.17% of COD, indicating high removal of organic matter. The pH value for the filtered samples was 7.59, giving a more basic character to the reuse waters in relation to the textile effluent used. With regard to dissolved oxygen, the slow filters were able to aerate the samples, reaching an average result of 2.23 mg.L⁻¹. With regard to the reuse of the treated textile effluent in agricultural activities, further reductions of the concentrations of electrical conductivity and salinity are necessary through the addition of the sand layer or even of other treatment technologies.

Keywords: Effluent. Filtration. Efficiency. Irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais cidades do APL localizadas na Região de Pernambucano.....	18
Figura 2. Local de coleta do efluente têxtil	25
Figura 3. Cravação do anel no solo para a determinação da densidade aparente.....	27
Figura 4. Filtro lento de areia parcialmente montado	29
Figura 5. Montagem de um filtro lento de areia.....	30
Figura 6. Filtros de areia preenchidos com o solo.....	31
Figura 7. Saturação de um filtro de areia	31
Figura 8. Funil de separação utilizado para alimentar os filtros de areia.....	32
Figura 9. Curva de distribuição granulométrica da areia utilizada.....	35
Figura 10. Estudo da Temperatura do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtração	37
Figura 11. Resultados de pH do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtração.....	38
Figura 12. Resultados de Cor do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtração.....	39
Figura 13. Resultados de Turbidez do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtração	40
Figura 14. Resultados de Condutividade Elétrica do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtração.....	42
Figura 15. Resultados de Salinidade do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtração	43
Figura 16. Resultados de Oxigênio Dissolvido do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtração	45
Figura 17. Relação de DQO para as amostras de efluente antes e após a filtração	46
Figura 18. Relação de Nitrogênio Amoniacal para as amostras de efluente antes e após a filtração	48
Figura 19. Relação de Fósforo para as amostras de efluente antes e após a filtração.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativa do número de unidades produtivas de confecções nas três principais cidades do APL.....	18
Tabela 2. Consumo de água nas lavanderias de Caruaru.....	19
Tabela 3. Destino final dos efluentes.....	19
Tabela 4. Valores e metodologias utilizadas para a caracterização do efluente têxtil.....	26
Tabela 5. Características do anel volumétrico.....	27
Tabela 6. Frequência das análises realizadas.....	33
Tabela 7. Características das amostras coletadas	34
Tabela 8. Características das amostras após retiradas da estufa.....	34
Tabela 9. Índices físicos das amostras de solo	34
Tabela 10. Análise granulométrica da amostra de solo	35
Tabela 11. Resumo das características do filtro e comparação entre as normas citadas	36
Tabela 12. Resultados de Temperatura para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtração.....	37
Tabela 13. Resultados de pH para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtração	38
Tabela 14. Resultados de Cor para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtração	40
Tabela 15. Resultados de Turbidez para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtração	41
Tabela 16. Resultados de Condutividade Elétrica para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtração.....	42
Tabela 17. Resultados de Salinidade para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtração.....	44
Tabela 18. Resultados de Oxigênio Dissolvido para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtração.....	45
Tabela 19. Resultados médios de DBO e DQO para as amostras de efluente antes e após a filtração	46
Tabela 20. Resultados médios de Nitrogênio amoniacal e Fósforo para as amostras de efluente antes e após a filtração	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	JUSTIFICATIVA	14
3	MOTIVAÇÃO	15
4	OBJETIVOS	16
4.1	Objetivo Geral	16
4.2	Objetivos Específicos	16
5	REFERENCIAL TEÓRICO	17
5.1	A Indústria Têxtil	17
5.2	Tipos de Tratamento dos Efluentes Têxteis	21
5.2.1	Filtração	21
5.3	Reuso de Água no Setor Têxtil	23
6	METODOLOGIA	25
6.1	Local do Estudo	25
6.2	Local de Coleta do Efluente Têxtil	25
6.3	Coleta do Material para Montagem do Filtro	26
6.4	Método para Caracterização Física do Solo	26
6.5	Método para Caracterização Granulométrica do Solo	27
6.6	Montagem dos Filtros Lentos de Areia	28
6.7	Procedimento Experimental	32
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
7.1	Caracterização Física do Solo	34
7.2	Caracterização Granulométrica do Solo	35
7.3	Determinação da Temperatura	36
7.4	Estudo dos Valores de pH	37
7.5	Estudo da Cor Aparente	39
7.6	Estudo da Turbidez	40
7.7	Estudo da Condutividade Elétrica	41
7.8	Estudo da Salinidade	43
7.9	Estudo do Oxigênio Dissolvido	44
7.10	Remoção de Matéria Orgânica	46
7.11	Remoção de Nitrogênio Amoniacal e Fósforo	47

8	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Os produtos têxteis são exemplos da larga escala de produção industrial no Brasil. O país representa a décima posição das potências de produção têxtil mundial, sendo o segundo maior fornecedor de índigo, pigmento azul utilizado para tingimento, e o terceiro maior produtor de tecido, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2017). No cenário brasileiro, o setor têxtil e de vestuário ocupam a segunda posição de maior empregador da indústria manufatureira, atrás da indústria alimentícia (AMARAL *et al.*, 2018). Tratando-se da região do Agreste Pernambucano, Caruaru está inserida no Arranjo Produtivo Local (APL) de Confecções, juntamente a Santa Cruz do Capibaribe e Toritama. Este município é responsável por aproximadamente 24% dos estabelecimentos têxteis e de confecção em relação aos outros municípios pertencentes ao Polo de Confecções (SEBRAE, 2013). Com isso, verifica-se a importância desse setor para o panorama da economia nacional, gerando diversos segmentos de negócios, como tinturaria, estamparia, texturização, bordado e lavagem do jeans, e, conseqüentemente, motivando a geração de empregos para a região.

No entanto, o processo têxtil apresenta um alto consumo de água e gera efluentes altamente contaminados com produtos químicos advindos dos processos de fabricação, com altas cargas de corantes do tipo azo, alta concentração de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), elevados teores de sal, fosfatos e nitratos, podendo também conter vestígios de metais pesados, como cromo e zinco (HOLKAR *et al.*, 2016; FAZAL *et al.*, 2017). O consumo exacerbado de água é diretamente proporcional à geração de resíduos, os quais são diversos e causam sérios danos ao meio ambiente. A presença de corantes no efluente descartado em um curso d'água pode reduzir a presença de luz no rio, causando desequilíbrio no crescimento de organismos aquáticos. Altas concentrações de matéria orgânica comprometem a presença de oxigênio dissolvido no meio, assim como fortes concentrações de nutrientes no efluente ocasionam eutrofização no corpo d'água.

Há várias técnicas que englobam alternativas ao tratamento de efluentes têxteis, devendo ser combinadas para que o desafio da remoção de resíduos esteja dentro dos padrões estabelecidos. Muitos procedimentos são realizados através de processos biológicos como anaeróbicos ou aeróbicos, dependendo das características da água residual (ALZATE *et al.*, 2016). Há a utilização de reatores anaeróbios do tipo UASB com processo Fenton com boa remoção de DQO e cor (SANTOS, E. *et al.*, 2017), coagulação química seguida de lamelas para sedimentação e desinfecção, produzindo efluentes claros e de boa qualidade microbiana (ABDEL-FATAH *et al.*, 2015), biorreatores de membrana anaeróbia submersa (BAËTA *et al.*,

2016), utilização de microalga viva em suspensão (JIMENO *et al.*, 2017) e um sistema de fermentação em estado sólido (CHICATTO *et al.*, 2018) para descoloração da água residuária.

Entre as diferentes tecnologias de tratamento para efluentes têxteis, a coagulação e a floculação ainda são alternativas amplamente praticadas como processos físico-químicos (VERMA *et al.*, 2012). Como exemplo, tem-se a utilização de eletrocoagulação utilizando corrente contínua pulsada (MARTINS *et al.*, 2017) com remoção adequada de DQO, cor, turbidez, sólidos e sulfato. Nawaz e Ahsan (2014) elucidam que apenas a utilização de tratamento físico-químico não garante remoção adequada de todos os resíduos gerados pelos processos têxteis. No entanto, a combinação de lodos ativados seguida de filtração por areia e adsorção de carbono ativado demonstrou maior remoção dos resíduos.

Em meio a esses tipos de tecnologias, encontra-se o tratamento utilizando filtros de areia. Enquanto ocorre a percolação do efluente em um filtro, a matéria orgânica particulada é removida por filtração de superfície e seus compostos nitrogenados são oxidados na forma de nitratos pelas bactérias desenvolvidas dentro do filtro de areia (ACHAK *et al.*, 2009). As vantagens para esse tipo de tecnologia garantem tratamento secundário avançado para águas residuárias de tanque séptico (HU; GAGNON, 2006), bem como potencial de desnitrificação, reduzindo o nitrato a níveis baixos (HEALY *et al.*, 2007).

Apesar de muito difundidos no âmbito de tratamento para esgoto doméstico, os estudos para filtros de areia no pós-tratamento de efluentes têxteis são escassos. Dentro desse contexto, o presente estudo tem como escopo avaliar o desempenho de filtros de areia no pós-tratamento de efluente têxtil e analisar a possibilidade de reuso do efluente pós-tratado para a agricultura.

2 JUSTIFICATIVA

Por ser detentora da maior parcela de consumo hídrico, a agricultura depende de critérios inovadores de gestão para que a sustentabilidade da produção de alimentos possa ser mantida. Essa realidade é embasada no fato de que o aumento da atividade agrícola não poderá mais ser sustentado por práticas irregulares do uso da água, devendo, portanto, desenvolver novas fontes de recursos complementares à escassa disponibilidade hídrica.

Diante da problemática de práticas não sustentáveis através do uso da água, a falta de medidas de preservação aos recursos hídricos ocasiona a notória situação de escassez na região Nordeste do Brasil, especialmente em Pernambuco, local onde o trabalho foi desenvolvido.

É neste embasamento que esta pesquisa busca avaliar a premissa do reuso utilizando efluente de lavanderia têxtil a partir da lixiviação em filtros lentos de areia. Desta forma, pretende-se analisar a qualidade dos lixiviados e estimar a reutilização destes para aproveitamento máximo dos efluentes. Ainda assim, busca analisar o desempenho dos filtros lentos de areia como um sistema de pós-tratamento.

3 MOTIVAÇÃO

Este trabalho anseia atender ao desenvolvimento de resultados os quais comprovem que a utilização de filtração lenta de areia para o pós-tratamento de efluente têxtil seja suficiente para que o lixiviado alcance valores dentro dos padrões exigidos. Além disso, pretende avaliar a reutilização do efluente pós-tratado em práticas com manejo de água, como a agricultura.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de filtros lentos de areia, em escala de bancada, no pós-tratamento de efluente têxtil.

4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar aspectos físico e granulométrico da areia utilizada no tratamento;
- Caracterizar o efluente tratado antes da aplicação no filtro e o efluente lixiviado e pós-tratado quanto aos parâmetros: temperatura, pH, salinidade, condutividade, cor, turbidez e concentrações de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, fósforo e nitrogênio amoniacal;
- Verificar a viabilidade do reuso de efluente têxtil tratado na agricultura.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 A Indústria Têxtil

O desenvolvimento da civilização concomitantemente à evolução dos processos produtivos a partir da Segunda Revolução Industrial, contribuíram à acomodação da vida humana. Em contrapartida, o progresso advindo deste importante período para os tempos modernos ocasionou uma intensificação na degradação da natureza, motivando efeito negativo à qualidade de vida dos seres humanos. Atualmente, percebe-se o adensamento populacional nas cidades e a saturação das zonas urbanas, induzindo a produção desenfreada de produtos e bens para consumo a partir da matéria-prima extraída do meio ambiente.

A indústria têxtil configura-se como um setor importante à necessidade humana em vestuário e usos diversos como área militar, hospitalar, entre outros. Portanto, o seu significado afeta as dimensões social, cultural, econômica e política a ponto de inspirar novos costumes com efeito no modo de vida em diferentes épocas (FUJITA *et al.*, 2015). Conseqüentemente, a sociedade aperfeiçoou uma infraestrutura produtiva a qual mobilizou parques industriais capazes de atender uma demanda de larga escala tanto no mercado interno quanto no externo. É neste embasamento que surge a ideia de desenvolvimento industrial e a necessidade de investimento em tecnologias satisfatórias ao grande impacto que a indústria têxtil acarreta ao meio ambiente (TONIOLLO *et al.*, 2015).

O Brasil é autossuficiente na produção de algodão, estando entre os cinco maiores produtores ao lado de China, Índia, Estados Unidos e Paquistão, e considerado como uma referência global em moda praia, jeans e têxteis casuais, produzindo 9,8 bilhões de peças por ano e cerca de R\$ 5,5 bilhões em peças de vestuário. O valor de indústria têxtil e produção industrial em 2016 foi de R\$ 164,9 bilhões, o qual representa 5,6% do PIB gerado pela indústria de fabrico, demonstrando a relevância deste setor para a economia brasileira. A cadeia produtiva de têxteis e vestuários é presente em todos os 27 estados brasileiros, com mais de 32.000 empresas, gerando aproximadamente 1,6 milhão de empregos diretos, o que representa 17% dos trabalhadores envolvidos nesse tipo de indústria nos segmentos de cadeia de produção, da produção de fibras naturais e sintéticas, fiação, tecelagem, tricô, acabamento e costura (ABIT, 2017).

O Arranjo Produtivo Local é definido como uma aglomeração de empresas, localizadas em um mesmo território, apresentando especialização produtiva as quais mantêm vínculos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros locais (SEBRAE, 2013). Na região do Agreste, o polo têxtil teve início a partir da feira da Sulanca, em Caruaru,

complementando seu crescimento com a atividade agrícola. Investimentos em máquinas, equipamentos e capacitação alavancaram o setor na região, criando um clima cultural em cadeia produtiva no Agreste Pernambucano, possibilitando várias empresas interagirem e criando o Arranjo Produtivo Local de Confecções, no qual estão inseridas as principais cidades do polo: Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, como exemplificado na Figura 1.

Figura 1. Principais cidades do APL localizadas na Região de Pernambucano



Fonte: Autora (2018)

As maiores concentrações de unidades produtivas estão inseridas nas principais cidades que compõe o Arranjo Produtivo Local, como esperado. É demonstrado na Tabela 1 que a maior porcentagem entre os principais municípios pertence a Santa Cruz do Capibaribe, com 38% do total de unidades, porém Caruaru ainda possui uma porcentagem considerável de 24% do total.

Tabela 1. Estimativa do número de unidades produtivas de confecções nas três principais cidades do APL

Município	Número de Unidades Produtivas	% do Total
Santa Cruz do Capibaribe	7.169	38,1
Caruaru	4.530	24,1
Toritama	2.818	15,0

Fonte: Adaptado SEBRAE (2013)

As atividades associadas à lavagem de jeans pelas lavanderias promoveram o crescimento econômico de Caruaru, principalmente. No entanto, o desenvolvimento desenfreado reflete na falta de ações de controle ambiental. Os processos desse tipo de indústria empregam grande quantidade de água, cerca de 200 a 400 litros por quilo de tecido (DASGUPTA *et al.*, 2015), gerando diferentes resíduos com compostos tóxicos. Tratando-se do município de Caruaru, o Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco (ITEP) registrou 110 empreendimentos de lavanderias somente no bairro residencial de Salgado, sendo a maioria de pequeno e médio porte. De acordo com a Tabela 2, são usados 5,9 milhões de litros de água por dia, o que equivale a 153 milhões de efluentes gerados por mês.

Tabela 2. Consumo de água nas lavanderias de Caruaru

Qtde de peças lavadas por mês	Qtde estimada de lavanderias	% do total	Qtde de trabalhadores (média)	Consumo de água bruta (m ³ /dia)
>120.000	3	2	78	230
80.001 a 90.000	-	-	-	170
70.001 a 80.000	-	-	-	150
60.001 a 70.000	3	2	40	130
50.001 a 60.000	3	2	35	120
40.001 a 50.000	3	2	25	100
30.001 a 40.000	3	2	20	80
20.001 a 30.000	31	29	12	60
10.001 a 20.000	37	33	8	40
<10.000	29	26	6	20
Total	110	100	1.428	5.900

Fonte: ITEP (2008)

Dentro da região do APL de Confecções, retiram-se 15.750 m³/mês de água do rio Capibaribe, sendo a fonte de recurso mais utilizada, enquanto 8.860m³/mês são fornecidos a partir de poços. A fonte de abastecimento mais utilizada pelas lavanderias é promovida a partir veículos transportadores que retiram água de barreiros e outras captações nos rios Ipojuca e Capibaribe. São fornecidos 112.698 m³/mês para as lavanderias dos polos de confecção (CPRH, 2005).

Apesar do município apresentar notório desenvolvimento industrial e, portanto, econômico, a problemática envolvendo a questão relacionada à escassez de água é um fator que aumenta proporcionalmente à acelerada evolução populacional e industrial da Mesorregião. É indicado na Tabela 3 o tipo de destinação final dada aos efluentes produzidos pelas lavanderias de Caruaru, as quais estão em cumprimento das Leis vigentes ao descarte correto desse tipo de efluente.

Tabela 3. Destino final dos efluentes

Destino final	Porcentagem (%)
Esgoto Público	40
Canal	38
Diretamente no Rio	18
Outros	4

Fonte: Adaptado SILVA, M. *et al.* (2012)

A partir desses dados, nota-se a falta de conscientização ambiental, principalmente em relação a evidente porcentagem que envolve o descarte de efluente no rio Ipojuca. Dessa forma, o município de Caruaru é responsável por um claro problema ambiental e, portanto, necessita

de tecnologias mais eficientes a fim de que garantam melhores condições de vida à sociedade sem comprometer o meio ambiente.

A implicação no elevado consumo de água entre as etapas de lavagem e tingimento, resulta em efluentes líquidos diversificados, com complexidade química como corantes e outros compostos orgânicos e inorgânicos (PIZATO *et al.*, 2017).

As fibras têxteis as quais formam os tecidos são compostas por diversos produtos, sendo naturais ou artificiais. As fibras naturais são extraídas da natureza a partir de origem animal ou vegetal e, as artificiais, podem ser proteínicas, celulósicas ou sintéticas (MILAN *et al.*, 2010). No Brasil, o algodão e o poliéster são as fibras mais comuns usadas nos tecidos, seguidas de viscose e poliamida (AMARAL *et al.*, 2018).

Os surfactantes são produtos químicos amplamente utilizados no complexo têxtil e exercem efeito na superfície de contato entre duas fases, modificando sua tensão superficial. A aplicação desse tipo de produto químico na indústria têxtil implica no enobrecimento têxtil, como tingimento e estampagem, e suas funções em um banho particular de aplicação têxtil podem ser como umectantes, dispersantes ou emulsionantes (CABANES, 2014).

Já nas etapas de produção têxtil, o tecido da peça usado normalmente é tingido com corantes que tem em sua composição diversos elementos como ácidos, sólidos solúveis e compostos tóxicos, os quais podem contaminar os recursos hídricos. Considerando que a remoção desses compostos é difícil porque são muito solúveis, estes modificam as características dos recursos naturais e dos seres vivos que habitam os ecossistemas, pois impedem a passagem da radiação solar, alterando a fotossíntese e sendo absorvidos pelos organismos. Para a saúde humana, como em regra são tóxicos, esses compostos além do forte odor exalado, se ingeridos ocasionam problemas que podem estar associados ao câncer de bexiga e do fígado (TONIOLLO *et al.*, 2015).

Diversos métodos são utilizados no tratamento de efluentes têxteis para alcançar a descoloração, incluindo métodos físico-químicos, como filtração, coagulação específica, uso de carbono ativado e floculação química (ABIOYE *et al.*, 2014). É imprescindível que a cor da água utilizada no processo de tingimento deve ser removida antes do despejo nos cursos d'água, porém essa técnica é um desafio às indústrias têxteis, pois os tratamentos de efluentes são capazes apenas de remover parte da cor, restando um residual a depender do tratamento aplicado (SILVA, K., 2007).

O nitrogênio e o fósforo são elementos presentes nos efluentes industriais e indispensáveis para o crescimento de vegetais e organismos em geral. O papel desses nutrientes na eutrofização das águas superficiais e a contaminação das águas subterrâneas e superficiais

tem sido reconhecido há muito tempo. Os efeitos negativos da eutrofização incluem: redução da biodiversidade dos ecossistemas aquáticos e da qualidade das águas superficiais, florestas de algas (sésil e planctônicas, algumas tóxicas) que restringem o uso de águas superficiais para recreação e excesso de nitratos com impacto na produção de água potável. Substâncias de algas tóxicas causaram mortes de peixes e doenças animais e humanas no passado (SCHOUMANS *et al.*, 2011).

A cerca de todos os produtos tóxicos gerados pela indústria têxtil, para que todos os processos de minimização dos impactos ambientais sejam alcançados, deve-se escolher adequadamente os tipos de máquinas e equipamentos utilizados na produção, conhecer o nível de consumo de energia para a sua operação e a poluição que podem gerar (SANTOS, S., 2011). Apesar dessas alternativas parecerem onerosas, elas são essenciais para o bom desempenho sustentável. Além disso, é possível considerar a alternativa de reuso para minimizar os impactos ambientais que a produção têxtil causa, utilizando o recurso hídrico de forma desenfreada, já que é uma forma menos prejudicial ao meio ambiente, configurando-se uma maneira de desviar o estresse hídrico dos mananciais de água, vetando o uso de água potável para fins não-potáveis.

O tratamento de águas residuárias, visando a utilização em irrigação, fabricação ou consumo humano, é custoso (LI *et al.*, 2015). No entanto, esse tipo de concepção torna-se necessário já que a escassez de água e o estresse hídrico aumentam pela notória expansão populacional, majorando a poluição ambiental, o que constrói o reconhecimento do reuso da água residuária como principal força à política do aproveitamento (World Health Organization, 2006).

5.2 Tipos de Tratamento dos Efluentes Têxteis

5.2.1 Filtração

A filtração através do solo e outros materiais granulares é uma das tecnologias mais comuns e mais antigas de tratamento de água e águas residuais, tanto para remoção de partículas sólidas como para substâncias dissolvidas (NIEĆ *et al.*, 2016).

Os filtros de areia com fluxo vertical são amplamente utilizados para tratamento de águas residuárias domésticas, seja de casas individuais ou de pequenas comunidades. Esses meios porosos fornecem às bactérias um substrato de crescimento que torna esses sistemas particularmente reforçados quanto à variação de carga orgânica e hidráulica, tornando-os eficientes em relação aos tratamentos convencionais. Geralmente a aeração passiva é suficiente

para manter as condições aeróbicas no processo, garantindo formas reduzidas de carbono e nitrogênio, assim como retenção de sólidos suspensos totais, oxidação da matéria orgânica e nitrificação (PETITJEAN *et al.*, 2016). A oxigenação do filtro de areia é assegurada pela troca gasosa entre a atmosfera e os interstícios de areia quando a superfície do filtro está seca durante os períodos de descanso. Distribuir corretamente a água usada em toda a superfície do filtro de areia é essencial para melhorar essa entrada de oxigênio (ACHAK *et al.*, 2009).

Petitjean *et al.* (2016) indicam que a principal causa de mau funcionamento dos filtros de areia é o entupimento, o qual reduz temporária ou definitivamente a sua condutividade hidráulica. Casos graves reduzem a eficiência dos sistemas ao ponto de que o tratamento não é mais viável. O entupimento é devido ao acúmulo de sólidos suspensos, produtos químicos e de crescimento bacteriano sobre ou diretamente abaixo da superfície do filtro. As causas desse mau funcionamento estão envolvidas com processos necessários para o tratamento de águas residuárias. Logo, não é aconselhável eliminar as causas do entupimento, mas sim distinguir entre operação normal e entupimento disfuncional.

O processo de filtração pode ocorrer de diversas formas: os filtros com baixa taxa superficial são ditos lentos e os com alta taxa superficial são classificados como filtros rápidos. A depender do tipo de material utilizado, os filtros podem ser construídos em meios porosos, utilizando camadas argilosas ou filtro de papel, assim como podem utilizar meios granulares, como areia, antracito, cascalho e combinados. Por fim, os filtros ainda podem ser classificados de acordo com o fluxo, sendo ascendente, descendente ou misto, trabalhando por pressão ou gravidade (MELO, 2014).

A filtração lenta é caracterizada por apresentar baixa taxa de filtração, resultando em alto tempo de retenção de água o que implica no desenvolvimento de comunidade microbiana na superfície do meio filtrante (DIAS, 2011). De acordo com Coelho e Di Bernardo (2012), essa comunidade biológica desenvolve-se ao redor dos grãos do leito de areia, o que auxilia no processo apropriado de remoção de matéria orgânica e inorgânica em suspensão e organismos patogênicos. No Brasil, o filtro utilizando material granular pode ser empregado quando se necessita de um sistema de pós-tratamento de baixo custo e simplificado. Segundo Tonetti *et al.* (2012), o processo deste tipo de tecnologia baseia-se em aplicar o efluente sobre a superfície do filtro de areia de forma intermitente através de uma tubulação de distribuição. Ao persistir a infiltração do líquido, advém a purificação deste por processos físicos, químicos e biológicos (AUSLAND *et al.*, 2002).

O preceito do funcionamento da tecnologia de filtros lentos de areia fundamenta-se na passagem da água pela camada filtrante, com uma espessura considerável. Dessa forma, é

necessário que o material granular possua determinação de granulometria correta da areia que constituirá o filtro lento (PATERNIANI *et al.*, 2011). Portanto, a determinação adequada deve considerar parâmetros como diâmetro médio efetivo (D10), o qual afeta a taxa de infiltração do afluente no leito, e coeficiente de uniformidade (CU), o qual influencia na penetração das impurezas ao longo do filtro (MELO, 2014).

5.3 Reuso de Água no Setor Têxtil

A Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água, abrange o reuso direto nas seguintes modalidades:

1. Reuso para fins urbanos: utilização da água de reuso para irrigação paisagística, lavagem de calçadas e veículos, limpeza de tubulações ou combate a incêndio;
2. Reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação da água de reuso para produção agrícola com irrigação de cultivo florestais;
3. Reuso para fins ambientais: manejo da água de reuso para recuperação do meio ambiente;
4. Reuso para fins industriais: emprego da água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,
5. Reuso na aquicultura: aproveitamento da água de reuso para criação de animais ou cultivo de vegetação aquáticos.

A reutilização de águas residuais na agricultura, por exemplo, é um elemento de desenvolvimento de recursos hídricos e gestão inovadora que mantém alternativas viáveis à sustentabilidade em diversos âmbitos. No campo da área agrícola, reutilizar água recuperada para usos como irrigação fornece nutrientes e melhora o rendimento das culturas. No entanto, esse tipo de manejo prevê tecnologias de tratamento adequadas, garantindo proteção à saúde pública, além de aceitação por parte do público alvo.

Milan *et al.* (2010) enfatizam que a indústria é um dos principais motores do crescimento e desenvolvimento econômico. Cerca de 20% da água é utilizada na indústria, o que é equivalente para o consumo de 130 m³/pessoa/ano. Desta quantidade, mais da metade é usada em usinas termoeletricas em seus processos de resfriamento. Entre os maiores consumidores de água sob este título são as usinas de petróleo, metalurgia, papel, madeira, processamento de alimentos e indústria de transformação.

No México, estima-se que, em 2008, foram gerados 178 m³/s em termos de águas residuais. Desse total, apenas 15% foram tratados, enquanto os 151 m³/s restantes foram descarregados em corpos receptores sem nenhum tipo de tratamento prévio.

O Condado de Orange, na Califórnia, tem praticado a reutilização de água potável desde 1976, quando começou a injetar águas residuais altamente tratadas na região subterrânea dos aquíferos, afirma Harris-Lovett *et al.* (2015). Este sistema foi expandido de 57.000 m³/dia para 265.000 m³/dia em 2008.

Segundo estudo publicado por Porto e Schoenhals (2013), a lavanderia têxtil adotada para o trabalho apresentou valores de aproximadamente 9 para o pH. A DQO apresentou valores de aproximadamente 25 mg.L⁻¹ e a cor obteve valor de no máximo 35. Contudo, esses valores não são questionáveis para a reutilização do efluente, já que, de acordo com a legislação pertinente, os valores de pH devem estar entre 5 e 9, assim como a DQO deve ser igual a 200 mg.L⁻¹ e a cor apresentar valor de 75.

A possibilidade do reuso de resíduos é de grande interesse, pois estes estão disponíveis quase sem custo e causam graves problemas ambientais se descartados erroneamente. Se esse tipo de reuso fosse altamente implementado e investido, o volume de materiais residuais seria reduzido parcialmente, restringindo a poluição causada pelas águas residuais ao meio ambiente a uma parcela razoável (NAIR, 2017).

6 METODOLOGIA

6.1 Local do Estudo

O presente trabalho foi conduzido na cidade de Caruaru, em Pernambuco. O município caracteriza-se por pertencer à Mesorregião do Agreste Pernambucano e está inserida na Microrregião do Vale do Ipojuca. Segundo o último censo do IBGE (2010), Caruaru possui uma população de 314.912 habitantes, a qual classifica a região como a quarta cidade mais populosa de Pernambuco e o município mais populoso do interior do estado. Atualmente, a Capital do Agreste destaca-se como o mais importante polo econômico, médico-hospitalar, acadêmico, cultural e turístico da região. Entre essas atividades industriais, a de confecção e a têxtil são as que adquirem maior relevância, sendo responsáveis pelo desenvolvimento e expansão da economia do município.

6.2 Local de Coleta do Efluente Têxtil

Para realização do experimento da presente pesquisa, coletou-se o efluente tratado diretamente de uma lavanderia têxtil de médio porte localizada na cidade de Caruaru, município do estado de Pernambuco. Essa lavanderia possui o sistema produtivo baseado em desengomagem, tingimento, lavagem, centrifugação e secagem, como a maioria das lavanderias da região. A Figura 2 ilustra o local de coleta do efluente têxtil após passar pelos processos adequados de tratamento.

Figura 2. Local de coleta do efluente têxtil



Fonte: Autora (2018)

No próprio local de coleta do efluente, realizou-se uma caracterização preliminar das características principais da amostra. São apresentados na Tabela 4 os valores dos parâmetros medidos *in loco* e as metodologias utilizadas na caracterização do efluente baseadas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

Tabela 4. Valores e metodologias utilizadas para a caracterização do efluente têxtil

Parâmetros	Valores	Metodologia/Leitura
Temperatura (°C)	32,20	Termométrico
Potencial hidrogeniônico (pH)	6,73	Potenciométrico
OD (mg/L)	0,24	Potenciométrico
Condutividade (mS/cm)	4,94	Potenciométrico
Salinidade (ppm)	3,00	Potenciométrico

Fonte: Autora (2018)

Transportou-se o efluente têxtil até o Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) em recipiente plástico, sendo posteriormente armazenado sobre refrigeração.

6.3 Coleta do Material para Montagem do Filtro

A amostra de solo utilizada no experimento com filtros de areia foi recolhida em uma área pertencente à Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, situada na cidade de Caruaru, incluída nos limites pertencentes à Bacia do Rio Ipojuca.

O local de coleta da amostra de solo é proveniente de serviços de terraplanagem realizados no Centro Acadêmico do Agreste, com potencial de utilização paisagística que compõe o cenário do campus.

A princípio, limpou-se o local a fim de que fossem retirados os materiais indesejáveis ao experimento, como raízes e vegetação presentes no solo. Para a coleta da amostra, utilizou-se ferramentas como pá, enxada e picareta, buscando recolher uma porção equivalente a 20 cm da camada de solo do local escolhido para preenchimento dos filtros de areia.

6.4 Método para Caracterização Física do Solo

Após a coleta da amostra de solo, realizou-se o ensaio para a determinação de índices físicos da amostra com o objetivo de caracterização do solo.

Para a determinação da densidade aparente do solo, adotou-se os critérios estabelecidos no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997). O manual estabelece que a

determinação desse índice é realizada pelo método do anel volumétrico. O princípio do experimento é a coleta de amostra de solo indeformada através de um anel de aço de bordas cortantes e volume conhecido. As características gerais do tipo de anel volumétrico utilizado no ensaio são resumidas na Tabela 5.

Tabela 5. Características do anel volumétrico

Parâmetros	Valores
Massa (g)	549,69
Altura (cm)	6,80
Diâmetro interno (cm)	8,30
Volume (cm ³)	367,92

Fonte: Autora (2018)

Inicialmente, cravou-se o anel no solo (Figura 3) para recolher a amostra, sendo que o local foi levemente umidificado devido ao solo da região ser muito seco e compacto. Duas amostras foram coletadas do local, pesando-se o conjunto que inclui o anel volumétrico e a amostra de solo.

Figura 3. Cravação do anel no solo para a determinação da densidade aparente



Fonte: Autora (2018)

As duas amostras recolhidas foram à estufa com o objetivo de extrair toda a água presente no solo, tanto a água usada para a umidificação do local quanto a água presente naturalmente no solo.

6.5 Método para Caracterização Granulométrica do Solo

Da amostra coletada de uma camada equivalente a 20 cm de profundidade, realizou-se a determinação das frações dos grãos baseada na análise granulométrica por peneiramento. Este

ensaio tem por objetivo a obtenção da curva de granulometria do solo e a identificação das suas dimensões granulares.

Inicialmente, o solo foi preparado de acordo com a ABNT NBR 6457:2016. A amostra foi seca ao ar durante 24 horas e, após esse período, os torrões existentes foram desmanchados, evitando-se quebra de grãos, com o auxílio de almofariz e mão de gral recoberta de borracha.

O peneiramento foi realizado seguindo os critérios da ABNT NBR 7181:2016. Como o solo foi previamente classificado como uma amostra arenosa, de acordo com a referida norma, a quantidade mínima a tomar para a análise deve ser de 2 kg. Dessa forma, a porção da amostra foi passada na peneira de 2,0 mm (Nº 10) e o material que ficou retido na peneira foi lavado, visando remover qualquer grão de dimensão menor que a abertura da peneira utilizada. Do material que passou pela peneira Nº 10, tomou-se 10% da massa total e passou-se esse material na peneira de 0,075 mm (Nº 200), repetindo o mesmo processo de lavagem com o material que ficou retido. As amostras retidas nas duas peneiras usadas inicialmente foram colocadas em estufa a 105 °C durante 24 horas. Após esse período, realizou-se o seguinte peneiramento: o material retido na peneira Nº 10 foi passado nas peneiras de diâmetro superior, já o material que ficou retido na peneira Nº 200 foi passado nas peneiras de diâmetro superior a 0,075 mm e inferior a 2,0 mm. Ao final do peneiramento, pesou-se o material retido em cada peneira utilizada, anotando-se os resultados a fim de que fosse possível elaborar a curva granulométrica do solo.

6.6 Montagem dos Filtros Lentos de Areia

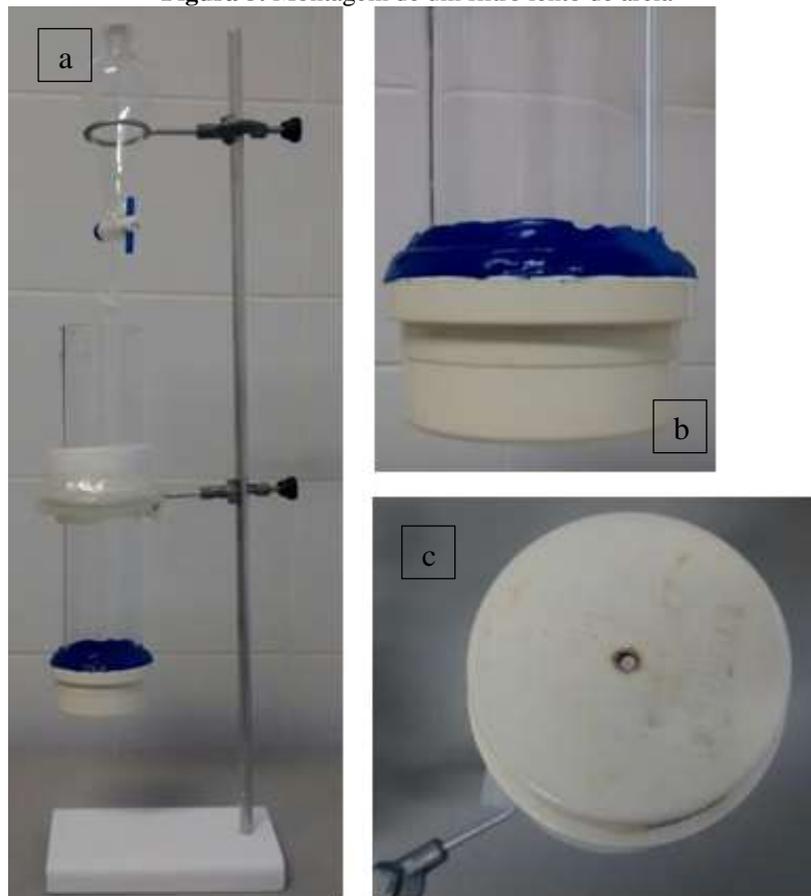
Os filtros lentos de areia (FLA) foram montados em coluna cilíndrica de acrílico. Os cilindros possuem 6 centímetros de diâmetro interno e 7 centímetros de diâmetro externo, com altura equivalente a 30 centímetros. Os cilindros de acrílico foram escolhidos com material transparente para facilitar o acompanhamento da trajetória do fluxo da amostra de efluente utilizada. É exemplificado na Figura 4 um filtro de areia parcialmente montado ainda sem a presença do solo

Figura 4. Filtro lento de areia parcialmente montado



Fonte: Autora (2018)

Na parte externa dos filtros, a fim de garantir melhor sustentação dos tubos nos suportes metálicos, utilizou-se o material emborrachado como a espuma vinílica acetinada (E.V.A.) aderido à mangueira, sendo que os dois materiais foram fixados com cola quente. Dessa forma, os filtros lentos de areia puderam ser sustentados à haste metálica e suspensos (Figura 5.a) para que o lixiviado pudesse ser recolhido ao fundo do tubo. Nesta parte inferior dos filtros, usou-se tampa de finalização de tubulação com 75 mm de diâmetro, geralmente utilizada para tubulação de esgoto em PVC, com a finalidade de vedar a passagem do solo e cada tampa foi fixada ao fundo de cada tubo utilizando borracha de vedação (Figura 5.b). Por fim, ao centro de cada tampa de finalização, foi feito um furo (Figura 5.c) para assegurar a passagem das amostras lixiviadas pelos filtros.

Figura 5. Montagem de um filtro lento de areia

Fonte: Autora (2018)

Para finalização da montagem dos filtros de areia, empregou-se uma única camada constituída da areia coletada com 20 cm de profundidade. Portanto, o preenchimento dos filtros foi realizado de forma a garantir a mesma densidade em campo. Conseqüentemente, para atingir densidade de $1,32 \text{ g/cm}^3$, sendo que os filtros necessitavam manter uma altura fixa de 20 cm e o diâmetro interno de cada tubo é igual a 6 cm, necessitou-se de 746,44 g de solo para cada filtro de areia. É apresentada na Figura 6 a situação final dos filtros após o preenchimento com a areia.

Figura 6. Filtros de areia preenchidos com o solo



Fonte: Autora 2018

Após a montagem e preenchimento de solo, cada filtro foi submetido à saturação de fluxo ascendente com água deionizada em repouso durante 24 horas para expulsar os vazios do solo. Os filtros foram dispostos em béqueres preenchidos com 500 ml de água destilada, de modo a garantir a percolação ascendente da água deionizada, como exemplificado na Figura 7.

Figura 7. Saturação de um filtro de areia



Fonte: Autora (2018)

6.7 Procedimento Experimental

Para a presente pesquisa, foram utilizados quatro filtros de areia denominados FLA1, FLA2, FLA3 e FLA4. O primeiro filtro lento de areia (FLA1) foi alimentado com água destilada com a finalidade de se atribuir valores brutos para o experimento. Os outros três filtros lentos de areia (FLA2, FLA3 e FLA4) foram irrigados com o efluente têxtil coletado na lavanderia. Para a alimentação dos filtros, utilizou-se funis de separação com volume igual a 125 ml como o apresentado na Figura 8.

Figura 8. Funil de separação utilizado para alimentar os filtros de areia



Fonte: Autora (2018)

Como os filtros lentos de areia são caracterizados por apresentar taxa de infiltração entre 2 a 6 m³/m².dia, os filtros da presente pesquisa utilizaram taxa de infiltração igual a 4,24 m³/m².dia, medida pelo tempo necessário para que todo o líquido fosse lixiviado pelo filtro e ajustada com o auxílio do funil de regulação de vazão.

Como o experimento configura-se de pequeno porte, foi estabelecido que o volume vertido em cada filtro de areia compreenderia apenas 125 ml por dia durante um período de 7 dias, pois é o tempo limite para que as características principais do efluente têxtil fossem totalmente conservadas e utilizadas durante a lixiviação. São resumidos na Tabela 6 os parâmetros e a frequência de cada análise avaliada neste experimento.

Tabela 6. Frequência das análises realizadas

PARÂMETRO	FREQUÊNCIA
pH	
Turbidez	
Cor	
Condutividade	Diariamente
Salinidade	durante 7 dias
Temperatura	
OD	
DBO	
DQO	Ao final do
Nitrogênio Amoniacal	experimento
Fósforo	

Fonte: Autora (2018)

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), localizado no Centro Acadêmico do Agreste. As análises com frequência diária durante sete dias eram realizadas após a lixiviação do efluente nos filtros de areia. Esses lixiviados eram acumulados e ao final do período de sete dias, analisados de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 6.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Caracterização Física do Solo

Os dados apresentados na Tabela 7 referem-se às amostras coletadas para o ensaio de densidade aparente. Em posse dessas informações, as porções recolhidas foram transferidas para a estufa a 105 °C e, após 24 horas, foram retiradas, esfriadas e pesadas novamente.

Tabela 7. Características das amostras coletadas

Massa (g)	Amostra 1	Amostra 2
Solo úmido + Anel volumétrico	1041,47	1065,67
Solo úmido + Recipiente	493,38	517,58
Recipiente	1,60	1,60

Fonte: Autora (2018)

Assim sendo, são resumidos na Tabela 8 os dados elaborados após a retirada das amostras da estufa e, dessa forma, foi possível estabelecer valor para a densidade aparente do solo dividindo-se a massa da amostra seca pelo volume do anel volumétrico.

Tabela 8. Características das amostras após retiradas da estufa

Massa (g)	Amostra 1	Amostra 2	Média
Solo úmido	491,78	515,98	503,88
Solo seco	394,58	420,62	407,60
Água	97,20	95,36	96,28
Densidade aparente (g/cm ³)	1,07	1,14	1,11

Fonte: Autora (2018)

Para identificar o estado do solo, empregam-se os índices físicos que correlacionam os pesos e volumes das três fases do solo. São apresentados na Tabela 9 os valores para os índices físicos calculados de acordo com as equações expressas em Das (2007). De acordo com esses dados, o solo é classificado como uma areia com granulação angular compacta e porosidade muito baixa.

Tabela 9. Índices físicos das amostras de solo

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Média
Volume Solo (cm ³)	276,75	295,02	285,88
Volume Água (cm ³)	97,20	95,36	96,28
Peso Específico dos Sólidos (g/cm ³)	1,43	1,43	1,43
Peso Específico Natural (g/cm ³)	1,32	1,32	1,32
Peso Específico Seco (g/cm ³)	1,06	1,08	1,07
Porosidade (%)	25,99	24,43	25,21
Teor de Umidade (%)	24,63	22,67	23,65
Índice de Vazios	0,35	0,32	0,34

Fonte: Autora (2018)

7.2 Caracterização Granulométrica do Solo

São apresentados na Tabela 10 os resultados obtidos com o ensaio de peneiramento.

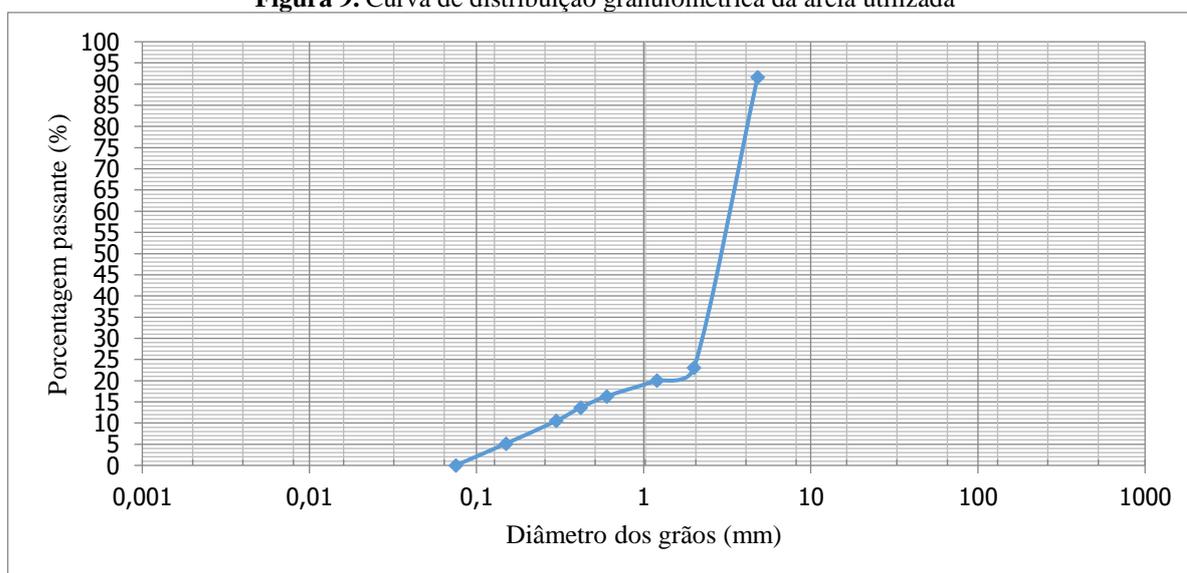
Tabela 10. Análise granulométrica da amostra de solo

Abertura de peneira (mm)	Massa retida (g)	Retido em cada peneira (%)	Retido acumulado (%)	Passante em cada peneira (%)
4,8	23,99	8,37	8,37	91,63
2	196,57	68,58	76,95	23,05
1,2	8,63	3,01	79,97	20,03
0,6	10,66	3,72	83,69	16,31
0,42	7,58	2,64	86,33	13,67
0,3	9,02	3,15	89,48	10,52
0,15	15,39	5,37	94,85	5,15
0,075	14,77	5,15	100,00	0,00
Fundo	0,00	0,00	100,00	0,00
Σ	286,61	100,00	-	-

Fonte: Autora (2018)

Com esses resultados, foi possível desenvolver a curva granulométrica da amostra, expressada pela Figura 9. Assim, concluiu-se que a amostra é classificada como uma areia média a grossa.

Figura 9. Curva de distribuição granulométrica da areia utilizada



Fonte: Autora (2018)

No Brasil, a NBR 13969:1997 regulamenta o dimensionamento dos filtros de areia. Segundo esta norma, as características que devem ser consideradas no projeto são: diâmetro médio efetivo (D10), coeficiente de não uniformidade (CNU) e a profundidade da camada de

areia. Estes mesmos critérios também são avaliados pela norma americana USEPA (1999). O diâmetro médio efetivo afeta a taxa de infiltração do afluente no leito e a profundidade de penetração da matéria sólida insolúvel. O coeficiente de não uniformidade representa a desigualdade no tamanho das partículas; quanto maior esse parâmetro, mais bem graduada é a areia. As características do meio filtrante são resumidas na Tabela 11, comparando-as às normas vigentes já anteriormente citadas.

Tabela 11. Resumo das características do filtro e comparação entre as normas citadas

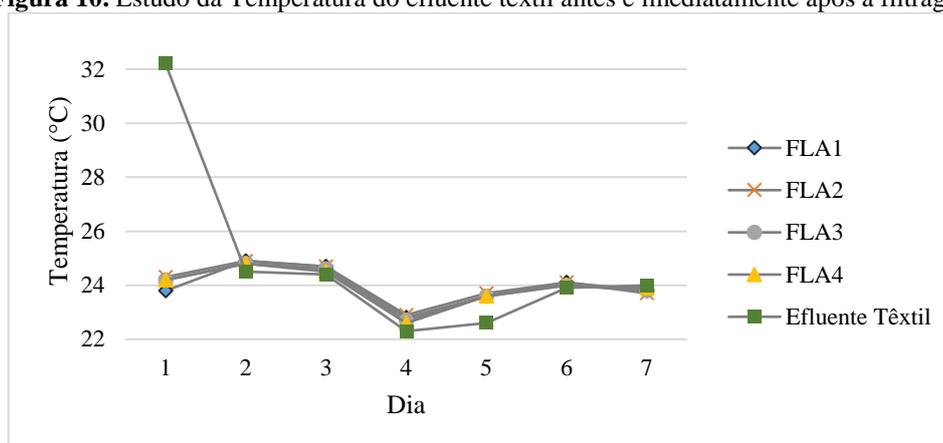
Dados	FLA	NBR 13969:1997	USEPA (1999)
Profundidade da camada de areia (m)	0,20	0,70	Entre 0,45 e 0,91
Tipo de areia	Areia média a grossa	Não especificado	Não especificado
Diâmetro médio efetivo (D10) (mm)	0,28	Entre 0,25 e 1,20	Entre 0,25 a 0,75
Coeficiente de não uniformidade (CNU)	8,93	Inferior a 4	Inferior a 4

Fonte: Autora (2018)

Com base nesses resultados, percebe-se que o diâmetro efetivo médio do tipo de areia escolhida está de acordo com as duas normas padrões. Porém, o coeficiente de não uniformidade da amostra de solo é igual a 8,93, configurando-a como uma areia bem graduada, com tamanhos de grãos variados, não alcançando o valor desejável pelas normas. Já a profundidade da camada de areia proposta para essa pesquisa foi de 20 cm, configurando o trabalho como uma unidade experimental de pequeno porte, apenas como um modelo mais reduzido daqueles propostos pelas normas.

7.3 Determinação da Temperatura

A temperatura é um fator extremamente importante em relação à taxa de crescimento e atividade biológica. As principais bactérias decompositoras mantêm-se vivas numa faixa ótima de temperatura entre 20 e 50 °C (BRITO-PELEGRINI, 2006). De acordo com a Figura 10, o efluente têxtil, no primeiro dia do experimento, apresentou temperatura igual a 32,20 °C. Esse valor caracteriza a temperatura da amostra coletada em campo, imediatamente após o efluente têxtil passar pelos processos de tratamento da própria lavanderia. A temperatura das amostras imediatamente após a filtração apresentou valores médios de 24,00 °C, expressados na Tabela 12, alcançando resultados constantes por todo o experimento.

Figura 10. Estudo da Temperatura do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtragem

Fonte: Autora (2018)

Tabela 12. Resultados de Temperatura para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtragem

DIA	VALORES ANTES DOS FILTROS	VALORES APÓS OS FILTROS			
		FLA1	FLA2	FLA3	FLA4
1	32,20	23,80	24,30	24,20	24,20
2	24,50	24,90	24,90	24,80	24,80
3	24,40	24,70	24,70	24,60	24,50
4	22,30	22,80	22,90	22,70	22,60
5	22,60	23,60	23,70	23,60	23,60
6	23,90	24,10	24,10	24,00	24,00
7	24,00	23,80	23,70	23,80	23,90
MÉDIA	24,84	23,96	24,04	23,96	23,94

Fonte: Autora (2018)

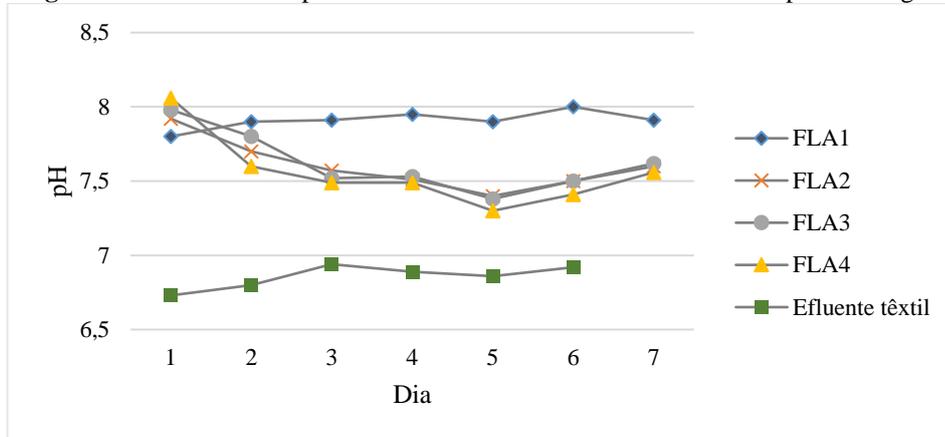
7.4 Estudo dos Valores de pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma medida relacionada com a quantidade de substâncias químicas presentes na água. A água está corrosiva quando esta apresentar valor de pH inferior a 7, podendo prejudicar as instalações e equipamentos para irrigação. Porém, se o valor de pH for superior a 7, a água pode estar incrustante, causando obstrução e entupimento nos gotejadores e aspersores.

Tratando-se do reuso agrícola, o pH torna-se relevante quando a textura e a estrutura do solo são conhecidas. O pH da água, juntamente com o solo e a espécie vegetal, determinam a absorção dos nutrientes pela raiz capilar. É importante que a água utilizada à irrigação mantenha faixa de valor de pH entre 6,5 e 8,4. Caso a água residuária apresente valores fora desta faixa, poderá causar desequilíbrio nutricional à planta (SOUSA *et al.*, 2005). A partir dos resultados

expressados na Figura 11, observa-se que os valores de pH para os lixiviados dos Filtros 2, 3 e 4 (irrigados com efluente têxtil) apresentaram resultados dentro da faixa permitida de pH.

Figura 11. Resultados de pH do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtragem



Fonte: Autora (2018)

A partir dos resultados apresentados na Tabela 13, observa-se que o pH das amostras coletadas após passarem pelos Filtros Lentos de Areia 2, 3 e 4 apresentou valor médio de 7,59. Esse resultado aproxima-se do valor médio para o FLA1, filtro abastecido com água destilada. A Resolução CONAMA nº 430/2011 preconiza que os valores de pH para lançamento de efluentes em corpos receptores esteja entre 5 a 9, ou seja, as amostras filtradas alcançaram os valores permitidos pela norma.

Segundo ARMINDO *et al.* (2015), mudanças no pH podem causar a solidificação de alguns elementos que anteriormente estavam dissolvidos. A faixa de valor para o pH anteriormente estabelecida também deve ser atendida para evitar problemas nas tubulações e equipamentos utilizados para irrigação.

Tabela 13. Resultados de pH para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtragem

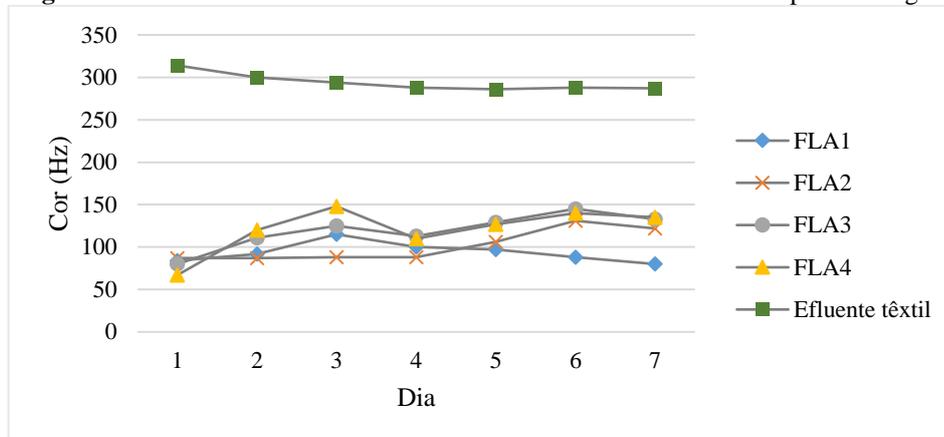
DIA	pH				
	VALORES ANTES DOS FILTROS	VALORES APÓS OS FILTROS			
		FLA1	FLA2	FLA3	FLA4
1	6,73	7,80	7,92	7,98	8,06
2	6,80	7,90	7,70	7,80	7,60
3	6,94	7,91	7,57	7,52	7,49
4	6,89	7,95	7,51	7,53	7,49
5	6,86	7,90	7,40	7,38	7,30
6	6,92	8,00	7,50	7,50	7,41
7	7,02	7,91	7,60	7,62	7,56
MÉDIA	6,88	7,91	7,60	7,62	7,56

Fonte: Autora (2018)

7.5 Estudo da Cor Aparente

A cor de uma amostra indica presença de matéria orgânica ou inorgânica dissolvida e também se refere à presença de material em suspensão, sendo um parâmetro de rápida e fácil determinação. É apresentado na Figura 12 o estudo da cor aparente para os filtros lentos de areia. Observa-se que os resultados para os filtros lentos de areia irrigados com efluente têxtil (FLA2, FLA3 e FLA4) apresentaram faixa de valores próxima aos valores do filtro lento de areia irrigado com água destilada (FLA1), evidenciando que em nenhum dos filtros houve elevada lixiviação do solo presente nos tubos.

Figura 12. Resultados de Cor do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtragem



Fonte: Autora (2018)

Dos dados apresentados na Tabela 14 é possível perceber que os valores de cor para os Filtros 2, 3 e 4 foram menores que os valores apresentados no efluente têxtil, possuindo resultados próximos ao FLA1. A eficiência de remoção de cor aparente nos filtros lentos de areia 2, 3 e 4 foi de 61,24%, em média. Segundo resultados expostos por PATERNIANI *et al.* (2011), o filtro lento de areia utilizado no estudo, com 75 cm de camada de solo, apresentou eficiência de 26,01%, sendo possível a utilização em práticas para fertirrigação.

Tabela 14. Resultados de Cor para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtragem

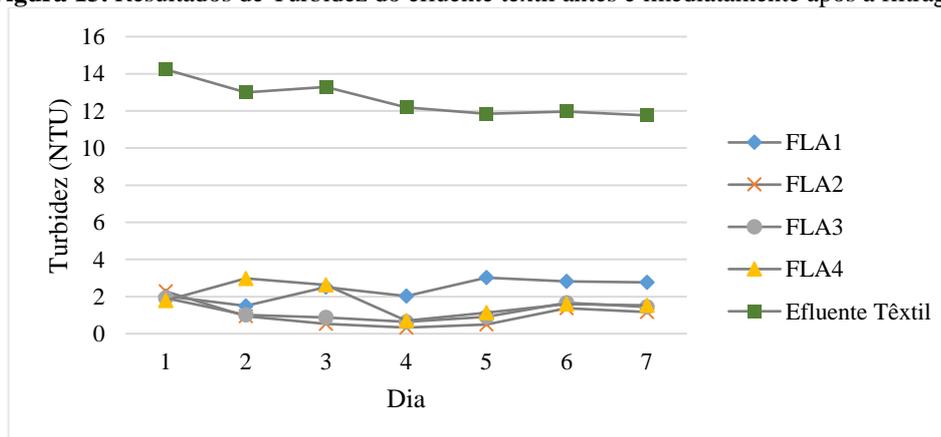
DIA	Cor (Hz)				
	VALORES ANTES DOS FILTROS	VALORES APÓS OS FILTROS			
		FLA1	FLA2	FLA3	FLA4
1	314,00	84,00	87,00	80,00	67,00
2	300,00	92,00	87,00	111,00	120,00
3	294,00	115,00	88,00	125,00	148,00
4	288,00	100,00	88,00	113,00	110,00
5	286,00	97,00	106,00	129,00	127,00
6	288,00	88,00	131,00	145,00	140,00
7	287,00	80,00	122,00	133,00	135,00
MÉDIA	293,86	93,71	101,29	119,43	121,00

Fonte: Autora (2018)

7.6 Estudo da Turbidez

A turbidez é causada pela presença de matéria orgânica e inorgânica na superfície das águas, sendo uma propriedade importante na irrigação localizada, pois a água com sedimentos pode causar entupimentos de emissores, alterando a vazão. Essa característica física pode ser reduzida por meio do processo de filtração.

A remoção da turbidez nas unidades experimentais mostrou-se eficiente no ensaio realizado, como pode ser observado na Figura 13, em que os valores para os filtros lentos de areia são bem inferiores aos valores do efluente têxtil.

Figura 13. Resultados de Turbidez do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtragem

Fonte: Autora (2018)

A partir dos dados presentes na Tabela 15, observa-se que o efluente têxtil antes da aplicação nos filtros apresentou turbidez média de 12,61 NTU. A turbidez para os Filtros 2, 3 e 4 apresentou média de 1,30 NTU, que pode ser considerado um valor aceitável para sistemas

de irrigação localizada com relação a problemas de entupimentos de acordo com estudos realizados por Paterniani *et al.* (2008), em que os autores obtiveram resultados de turbidez de água para irrigação de até 16,90 NTU, sem que fossem detectados problemas de entupimento em sistema de irrigação por gotejamento.

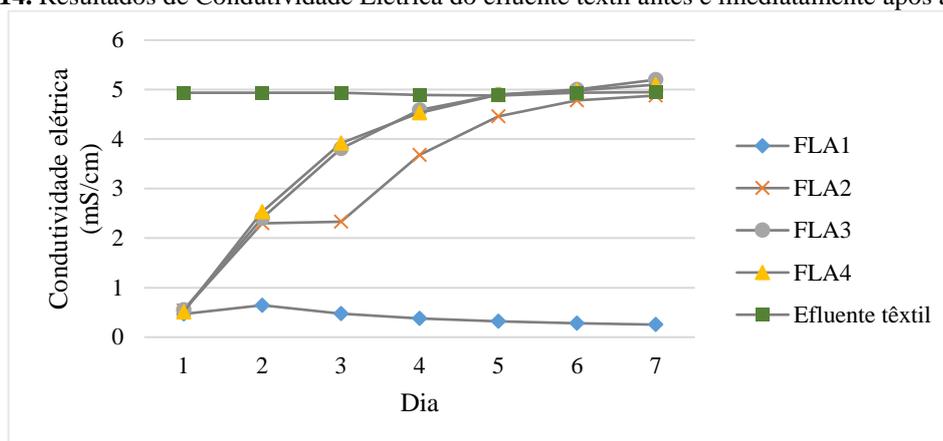
Tabela 15. Resultados de Turbidez para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtragem

DIA	VALORES ANTES DOS FILTROS	Turbidez (NTU)			
		VALORES APÓS OS FILTROS			
		FLA1	FLA2	FLA3	FLA4
1	14,24	2,02	2,28	1,92	1,79
2	13,00	1,50	0,94	1,02	2,98
3	13,30	2,51	0,53	0,87	2,62
4	12,19	2,02	0,33	0,64	0,70
5	11,84	3,02	0,50	0,91	1,14
6	11,96	2,82	1,38	1,66	1,60
7	11,76	2,77	1,16	1,45	1,52
MÉDIA	12,61	2,38	1,00	1,20	1,80

Fonte: Autora (2018)

7.7 Estudo da Condutividade Elétrica

Quanto maior a quantidade de sais presentes na água, maior será a capacidade da água em conduzir corrente elétrica. A presença de sais solúveis na água pode levar o solo a condições de salinização, prejudicando o crescimento de plantas, devendo-se assim evitar águas com altas concentrações de condutividade elétrica. A partir da Figura 14, observa-se que a condutividade elétrica no Filtro 1 (FLA1), alimentado com água destilada, deve-se, provavelmente, aos íons que foram carreados do solo juntamente com a passagem da amostra, dado que a água destilada utilizada para irrigar o filtro possui valor inferior a 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 14. Resultados de Condutividade Elétrica do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtragem

Fonte: Autora (2018)

Para os Filtros 2, 3 e 4 observa-se que a condutividade elétrica tende a alcançar os valores do efluente têxtil utilizado, elucidando o fato do solo ter atingido possível saturação em relação ao íons, lixiviando os íons presentes na amostra de efluente e alcançando o equilíbrio. De modo geral, como pode ser observado pela Tabela 16, a condutividade elétrica dos Filtros 2, 3 e 4 apresentou valor médio de 3610 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Segundo dados apresentados por Jeong *et al.* (2016), se a condutividade elétrica da água de irrigação estiver abaixo de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ não afetará o crescimento da cultura. Porém, se o valor de condutividade elétrica estiver acima de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pode causar danos graves, caracterizando a água de irrigação como imprópria.

Tabela 16. Resultados de Condutividade Elétrica para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtragem

DIA	Condutividade elétrica (mS/cm)				
	VALORES ANTES DOS FILTROS	VALORES APÓS OS FILTROS			
		FLA1	FLA2	FLA3	FLA4
1	4,94	0,47	0,54	0,55	0,51
2	4,94	0,65	2,30	2,40	2,53
3	4,94	0,48	2,33	3,81	3,92
4	4,89	0,38	3,68	4,59	4,53
5	4,88	0,32	4,46	4,90	4,90
6	4,94	0,28	4,78	5,00	4,98
7	4,95	0,25	4,88	5,20	5,10
MÉDIA	4,93	0,40	3,28	3,78	3,78

Fonte: Autora (2018)

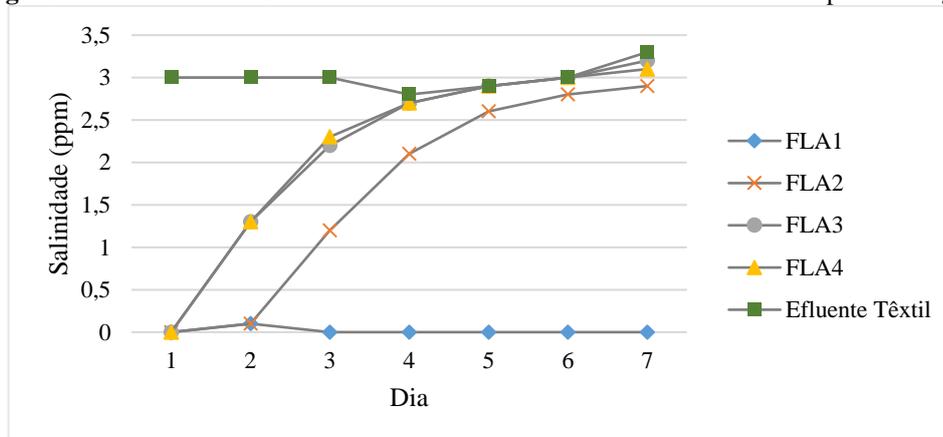
Segundo Paganini (2003), o valor médio da condutividade elétrica obtido nas amostras após os filtros caracteriza o efluente pós-tratado como Classe 4, ou seja, salinidade muito alta. No entanto, de acordo com o mesmo autor, se a água for usada para a disposição, os solos

devem ser permeáveis e com drenagem adequada. A irrigação deve ser feita em excesso, proporcionando considerável dissolução e a vegetação selecionada deve ser tolerante aos sais.

7.8 Estudo da Salinidade

Assim como a condutividade, a salinidade é um fator muito preocupante para a irrigação, uma vez que o desenvolvimento e crescimento das plantas pode ser prejudicado. Os resultados de salinidade apresentados representam a razão entre a massa total de sal dissolvido e a substância que é o solvente (efluente têxtil e os lixiviados dos filtros). A partir da Figura 15, observa-se que o FLA1 praticamente não apresentou registro de salinidade, evidenciando que o solvente (água destilada) e o solo utilizado nos filtros não manifestavam teores de salinidade. Os demais filtros irrigados com o efluente apresentaram comportamento igual aos resultados expressos pela condutividade elétrica. A salinidade dos Filtros 2, 3 e 4 aumentou durante o experimento, convergindo com o efluente utilizado.

Figura 15. Resultados de Salinidade do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtragem



Fonte: Autora (2018)

Dos dados expressados na Tabela 17, é evidente que os valores de salinidade para os lixiviados dos filtros irrigados com efluente têxtil não satisfazem os padrões estabelecidos para irrigação, comparando-se aos valores de condutividade elétrica, podendo deixar o solo irrigado salino e infértil, prejudicando a uniformidade das plantas.

Tabela 17. Resultados de Salinidade para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtragem

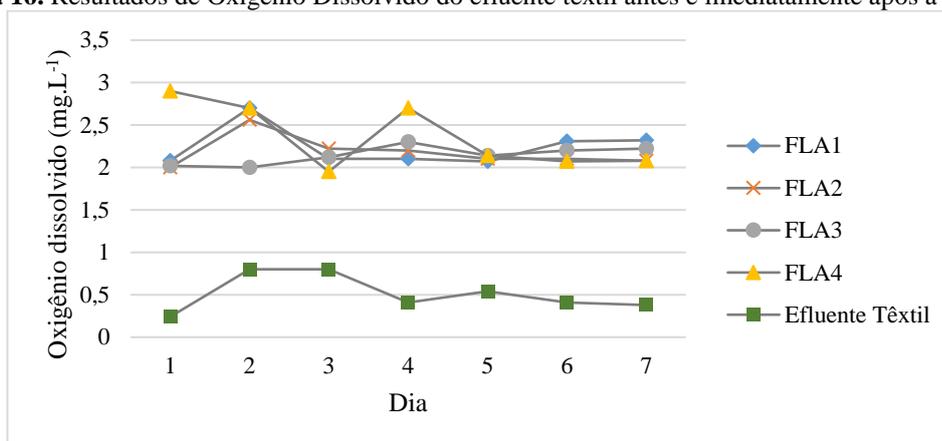
DIA	Salinidade (ppm)				
	VALORES ANTES DOS FILTROS	VALORES APÓS OS FILTROS			
		FLA1	FLA2	FLA3	FLA4
1	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	3,00	0,10	0,10	1,30	1,30
3	3,00	0,00	1,20	2,20	2,30
4	2,80	0,00	2,10	2,70	2,70
5	2,90	0,00	2,60	2,90	2,90
6	3,00	0,00	2,80	3,00	3,00
7	3,30	0,00	2,90	3,20	3,10
MÉDIA	3,00	0,01	1,67	2,19	2,19

Fonte: Autora (2018)

No entanto, segundo Armindo *et al.* (2015), é possível minimizar o risco de salinidade com um bom manejo do solo e também da cultura. Se o solo permanecer salino em consequência da irrigação, deve-se selecionar culturas que possam se desenvolver de maneira satisfatórias sob tais condições. Outra prática com a finalidade de reduzir os problemas com a salinidade é aplicar uma quantidade de água adicional para realizar lixiviação dos sais advindos da irrigação. Ainda assim, pode-se ajustar a frequência da irrigação e a lâmina de aplicação.

7.9 Estudo do Oxigênio Dissolvido

A concentração de oxigênio dissolvido em uma amostra está intimamente ligada à estabilização da matéria orgânica. De acordo com a Figura 16, percebe-se que o efluente têxtil apresentou concentrações muito menores de oxigênio dissolvido do que as amostras que passaram pela filtração. O baixo resultado de OD para o efluente pode ser explicado pela concentração de cor e turbidez, que são importantes fontes de sólidos suspensos e dissolvidos, causando rápido esgotamento de oxigênio dissolvido na amostra.

Figura 16. Resultados de Oxigênio Dissolvido do efluente têxtil antes e imediatamente após a filtragem

Fonte: Autora (2018)

Pela Tabela 18, o valor médio de OD para os filtros que receberam o efluente têxtil é de $2,23 \text{ mg.L}^{-1}$. Tonetti *et al.* (2012) elucidam que as águas com essas concentrações de oxigênio dissolvido podem ser empregadas na irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, além da aquicultura.

Tabela 18. Resultados de Oxigênio Dissolvido para as amostras de efluente antes e imediatamente após a filtragem

DIA	Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1})				
	VALORES ANTES DOS FILTROS	VALORES APÓS OS FILTROS			
		FLA1	FLA2	FLA3	FLA4
1	0,24	2,08	2,00	2,02	2,90
2	0,80	2,70	2,56	2,00	2,70
3	0,80	2,10	2,22	2,12	1,95
4	0,41	2,10	2,20	2,30	2,70
5	0,54	2,07	2,10	2,14	2,14
6	0,41	2,31	2,10	2,20	2,07
7	0,38	2,32	2,08	2,22	2,08
MÉDIA	0,51	2,24	2,18	2,14	2,36

Fonte: Autora (2018)

As altas concentrações de OD em relação aos valores expressos antes da passagem pelos filtros demonstram a elevada capacidade de aeração dos filtros lentos de areia com operação intermitente. A aeração pode ser explicada devido ao tempo de descanso dos filtros, entre uma aplicação e outra, já que as aplicações eram realizadas a cada 24 horas. Dessa forma, garantia-se a entrada de ar para o interior dos poros de areia, atendendo de forma positiva o metabolismo das bactérias aeróbias e permitindo diluição do oxigênio na massa líquida.

7.10 Remoção de Matéria Orgânica

Da Tabela 19, nota-se que o efluente têxtil possui DBO de 440 mg/L. Esse valor comparado aos resultados dos Filtros 2, 3 e 4 evidencia que o solo utilizado nesse experimento foi capaz de reduzir as concentrações de DBO da amostra de efluente significativamente, com eficiência de 98%, aproximadamente. A remoção se deu pela mineralização da matéria orgânica e seu acúmulo no solo. A Resolução CONAMA 430/2011 evidencia que a remoção permitida para lançamento em curso d'água deve ser de 60%. Ainda dos dados apresentados na Tabela 19, o FLA1, irrigado com água destilada, apresenta valor de DQO igual a 78,39 mg/L, indicando que uma fração da matéria orgânica do solo foi lixiviada.

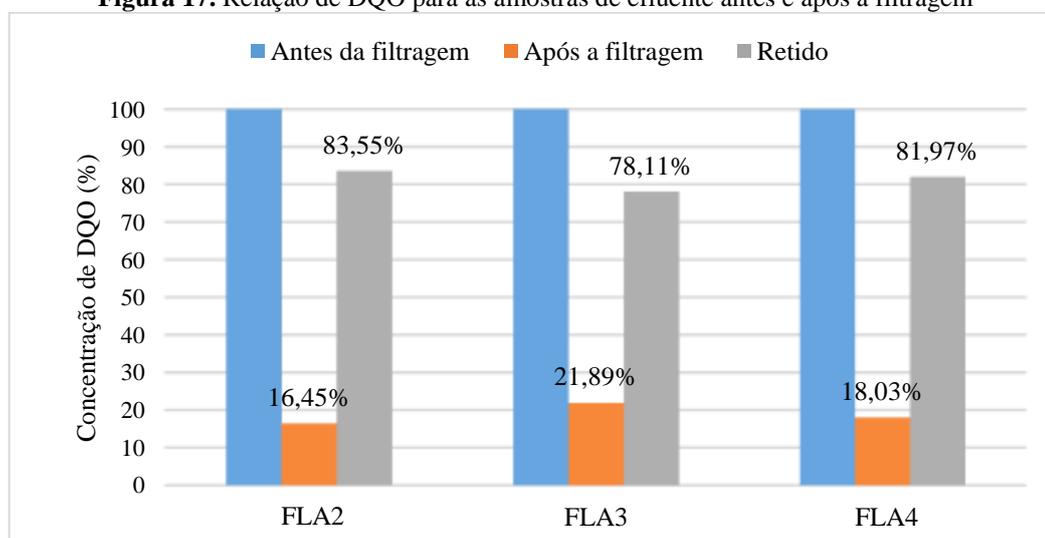
Tabela 19. Resultados médios de DBO e DQO para as amostras de efluente antes e após a filtragem

PARÂMETRO	VALORES ANTES DOS FILTROS	VALORES APÓS OS FILTROS			
		FLA1	FLA2	FLA3	FLA4
DBO (mg.L ⁻¹ de O ₂)	440	0	10	10	5
DQO (mg.L ⁻¹ de O ₂)	756,017	78,390	124,337	165,457	136,347

Fonte: Autora (2018)

A DQO dos Filtros 2, 3 e 4, comparada à do efluente têxtil utilizado para irrigá-los, comprova a incorporação da matéria orgânica ao solo de, aproximadamente, 81,17%, em média, como pode ser observado na Figura 17. Considerando que os valores de DQO sempre são superiores aos de DBO, segundo PATERNIANI *et al.* (2011), estes valores são considerados aceitáveis se a finalidade do reuso for fertirrigação de plantas consumidas cozidas, fertirrigação de plantas não comestíveis e reuso para melhoria ambiental.

Figura 17. Relação de DQO para as amostras de efluente antes e após a filtragem



Fonte: Autora (2018)

7.11 Remoção de Nitrogênio Amoniacal e Fósforo

A Tabela 20 apresenta os dados de nitrogênio amoniacal e fósforo do efluente têxtil utilizado e das amostras dos filtros após o processo de filtração lenta. A partir dos valores da Tabela 20, observa-se alta concentração de nitrogênio amoniacal e fósforo para o efluente têxtil, o que já era esperado devido aos produtos químicos utilizados nos processos industriais da lavanderia. Ainda dos resultados expostos pela Tabela 20, observa-se incorporação dos nutrientes ao solo devido à baixa concentração desses parâmetros logo após o efluente têxtil passar pelos filtros lentos de areia. Os valores de nitrogênio amoniacal e fósforo apresentados no FLA1 são devido às concentrações presentes no solo desses dois nutrientes, os quais foram lixiviados durante o processo de filtração.

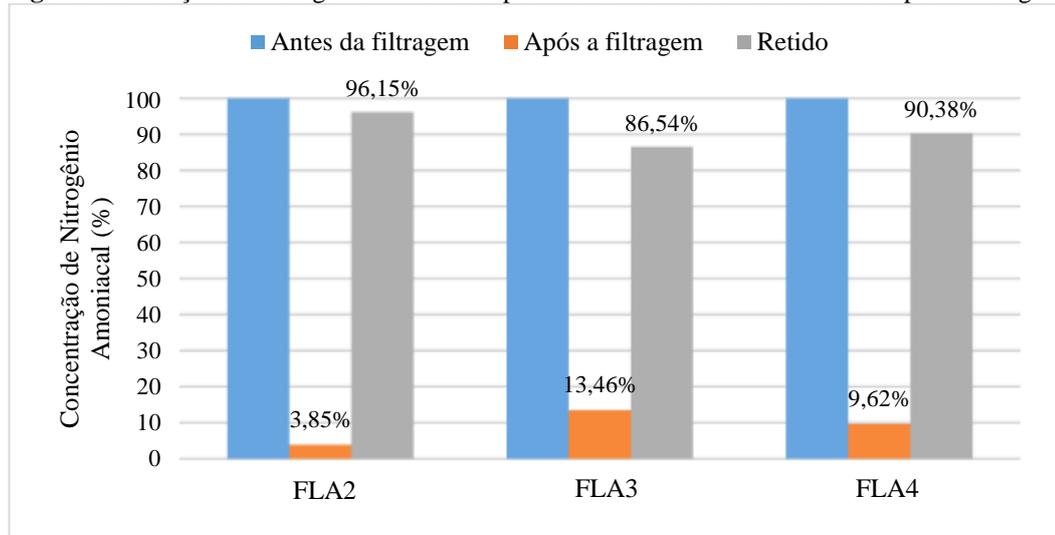
Segundo Sousa *et al.* (2005), valores de nitrogênio amoniacal acima de 30 mg.L⁻¹ não são recomendados para irrigação. Tratando-se de culturas sensíveis, concentrações de nitrogênio amoniacal acima de 5 mg.L⁻¹ resultam em efeitos negativos. A Resolução CONAMA 430/2011 indica que o valor máximo para nitrogênio amoniacal para efluentes lançados em corpos receptores deve ser de 20 mg.L⁻¹. Os valores de nitrogênio amoniacal apresentados na Tabela 20 indicam que o efluente pós-tratado alcançou resultados satisfatórios para irrigação e satisfizeram o valor exigido por norma.

Tabela 20. Resultados médios de Nitrogênio amoniacal e Fósforo para as amostras de efluente antes e após a filtração

PARÂMETRO	VALORES ANTES DOS FILTROS	VALORES APÓS OS FILTROS			
		FLA1	FLA2	FLA3	FLA4
N amoniacal (mg.L ⁻¹)	29,12	2,24	1,12	3,92	2,80
Fósforo (mg.L ⁻¹)	3,69	1,74	0,61	0,80	0,42

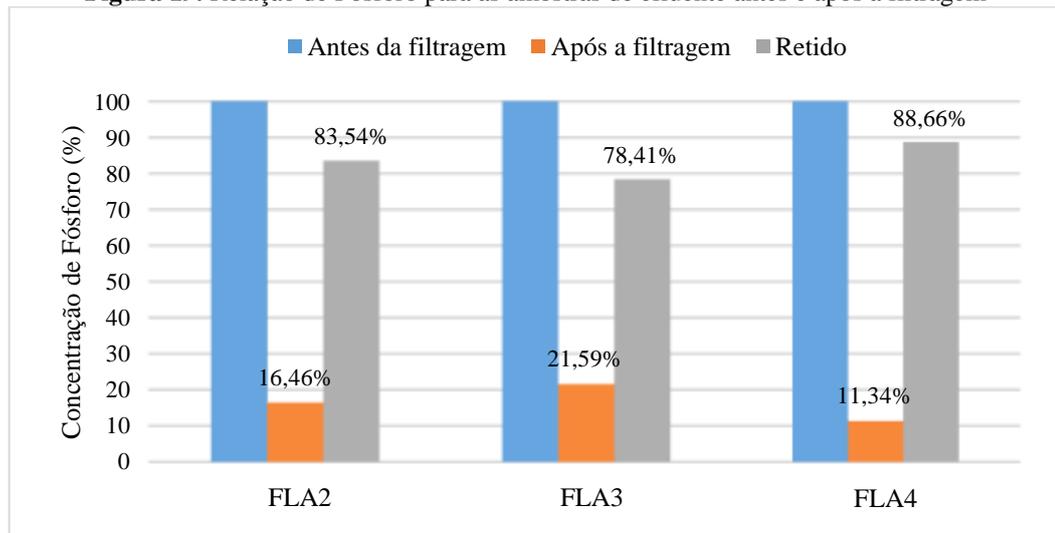
Fonte: Autora (2018)

Da Figura 18, vê-se que a média de remoção de nitrogênio amoniacal entre os filtros que receberam irrigação de efluente têxtil foi de 91%, aproximadamente. A remoção obtida por Brito-Pelegrini (2006) foi de 12%. A baixa porcentagem de remoção obtida por este autor é explicada devido ao efluente utilizado no trabalho consistir de percolado de aterro, um composto altamente tóxico.

Figura 18. Relação de Nitrogênio Amoniacal para as amostras de efluente antes e após a filtragem

Fonte: Autora (2018)

De acordo com os resultados expressados na Figura 19, a remoção de fósforo pelos filtros lentos de areia foi de 83,54%, em média. Provavelmente, essa redução foi em função da assimilação microbiológica de alguns gêneros de bactérias, contribuindo eficientemente para reduzir a concentração de fósforo na água residuária. Essa liberação do fósforo é importante ao reuso agrícola, pois este componente é fundamental para armazenar e transportar energia à planta. Ou seja, sem a presença desse não ocorre nenhum processo metabólico (SOUSA *et al.*, 2005).

Figura 19. Relação de Fósforo para as amostras de efluente antes e após a filtragem

Fonte: Autora (2018)

Segundo Jeong *et al.* (2016), os padrões estabelecidos pelas leis de Israel e Itália é de 25,0 e 5,0 mg.L⁻¹ para nitrogênio e fósforo, respectivamente. No caso de reuso indireto, os

valores são de 3,3 e 1,6 mg.L⁻¹ para nitrogênio e fósforo, respectivamente. Para água de irrigação contendo água residuária não tratada, confirma-se 14,0 e 2,8 mg.L⁻¹ para nitrogênio e fósforo, respectivamente.

8 CONCLUSÃO

- O resultado de pH para as amostras coletadas após a filtração apresentou valor médio de 7,59, ou seja, dentro da faixa de valor recomendada para água de reuso agrícola, tornando as amostras que passaram pelos filtros mais básicas que o efluente têxtil utilizado.
- Redução em média de 61,24% de coloração e 89,43% de turbidez, demonstrando que os filtros foram eficientes quanto à remoção de materiais particulados e dissolvidos, assim como matéria orgânica, promovendo a utilização da água de reuso em práticas de fertirrigação por sistemas de gotejamento sem que haja problemas com entupimento.
- Os valores de condutividade elétrica, bem como as concentrações de salinidade, não alcançaram a faixa permitida para irrigação, tendo que utilizar tipos de solos específicos e culturas selecionadas caso seja feita a irrigação com a água de reuso dos filtros lentos de areia. A alta concentração de sais presentes no efluente têxtil pode ser explicada pelo fato da lavanderia escolhida para esta pesquisa usar sal em seus processos de produção têxtil para fixação da cor nas peças de roupas.
- Em relação à concentração de oxigênio dissolvido, as amostras filtradas apresentaram média de 2,23 mg.L⁻¹, sendo possível a utilização para irrigação. Os filtros foram capazes de realizar a aeração entre os tempos de descanso de cada filtro lento.
- Quanto à remoção de matéria orgânica, houve remoção de 98,11% para DBO e 81,17% para DQO, ambos os valores em média, concluindo que os filtros lentos de areia apresentaram ótima eficiência em relação à incorporação da matéria orgânica no solo utilizado.
- Avaliando as concentrações de nutrientes nas amostras filtradas, houve redução de 91,03% para o nitrogênio amoniacal e 83,54% para o fósforo, concluindo que os filtros permitiram incorporação dos nutrientes no solo utilizado. Portanto, houve elevada remoção desses nutrientes, evidenciando possível diminuição de eutrofização caso haja lançamento em algum emissário, porém os valores obtidos para esses dois nutrientes após filtração ainda classificam as águas de reuso como próprias para irrigação de acordo com as leis internacionais.
- Conclui-se que o sistema simplificado de pós-tratamento de efluente da indústria têxtil por meio dos filtros lentos de areia com espessura de camada de areia de 20 cm mostrou-se eficiente, não apresentando sérios problemas durante sua operação.

REFERÊNCIAS

ABDEL-FATAH, M. A. et al. Textile wastewater treatment by chemical coagulation technology. **Global Journal of Advanced Engineering Technologies and Sciences**, v. 2, n. 12, p. 20-28, Dez 2015.

ABIOYE, O. P.; MUSTAPHA, O. T.; ARANSIOLA, S. A. Biological treatment of textile effluent using *Candida zeylanoides* and *Saccharomyces cerevisiae* isolated from soil. **Advances in Biology**, v. 2014, p. 4, Ago 2014.

ACHAK, M.; MANDI, L.; OUAZZANI, N. Removal of organic pollutants and nutrients from olive mill wastewater by a sand filter. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 2771-2779, Fev/Abr 2009.

ALZATE, E. Y. et al. Identificación de un consorcio microbiano en humedales construidos de flujo sub-superficial alimentados con aguas residuales industriales coloreadas. **Ingeniería Y Competitividad**, v. 18, n. 2, p. 53-64, Jul/Dez 2016.

AMARAL, M. C. et al. Reciclagem industrial e reuso têxtil no Brasil: estudo de caso e considerações referentes à economia circular. **Gest. Prod**, p. 1-13, Set/Jan 2018.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington, DC.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2005. Disponível em: <https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf>. Acesso em: 20 de Abril de 2018.

ARMINDO, R. A. et al. **Qualidade da água, métodos e manejo de irrigação para olericultura**. Curitiba: SENAR, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CON. **Relatório de Atividades 2017**, 2017. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/relatorio-de-atividades>>. Acesso em: 29 Maio 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969 - Tanques Sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6457 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

AUSLAND, G. et al. Intermittent filtration of wastewater – removal of fecal coliforms. **Water Research**, v. 36, n. 14, p. 3507-3516, Ago 2002.

BAËTA, B. E. L. et al. Influence of the applied organic load (OLR) on textile wastewater treatment using submerged anaerobic membrane bioreactors (SAMBR) in the presence of redox mediator and powdered activated carbon (PAC). **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 33, n. 4, p. 817-825, Out/Dez 2016.

BRITO-PELEGRINI, N. N. **Sistema de filtração lenta no tratamento de percolado do aterro sanitário de Limeira - SP**. Campinas: Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola; Água e Solo) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

CABANES, A. S. Tensioactivos en la industria textil. **3C Tecnología**, v. 3, n. 10, p. 137-151, Set/Dez 2014.

CHICATTO, et al. Decolorization of textile industry wastewater in solid state fermentation with Peach-Palm (*Bactris gasipaes*) residue. **Brazilian Journal of Biology**, p. 1-10, Nov 2018.

COELHO, E. R. C.; DI BERNARDO, L. Remoção de atrazina e metabólitos pela filtração lenta com leito de areia e carvão ativado granular. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 17, n. 3, p. 269-276, Jul/Set 2012.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE (CPRH). **Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização para tipologia têxtil**, 2008. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/roteiro-textil.pdf>>. Acesso em: 29 Maio 2018.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). **Resolução N° 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências**. Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 11 Abril 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 430, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 26 de Junho de 2018.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6ª. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DASGUPTA, J. et al. Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: A state of the art review. **Journal of Environmental Management**, p. 55-72, Jan 2015.

DIAS, I. D. N. **MBBR acoplado a filtro lento de areia e a osmose inversa para tratamento de efluente da indústria de petróleo visando reuso**. Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf>. Acesso em 29 de Maio de 2018.

FAZAL, et al. Bioremediation of textile wastewater and successive biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 1-20, Fev/Out 2017.

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. A indústria têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **ModaPalavra**, v. 8, n. 15, p. 153-174, Jan/Jul 2015.

HARRIS-LOVETT, S. et al. Beyond user acceptance: a legitimacy framework for potable water reuse in California. **Environmental Science & Technology**, v. 49, p. 7552-7561, Jun 2015.

HEALY, M. G.; RODGERS, M.; MULQUEEN, J. Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 2268-2281, Set 2007.

HOLKAR, C. R. et al. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 351-366, Mar/Jul 2016.

HU, Z.; GAGNON, G. A. Impact of filter media on the performance of full-scale recirculating biofilters for treating multi-residential wastewater. **Water Research**, v. 40, p. 1474-1480, Jan 2006.

IBGE. **Brasil/Pernambuco/Caruaru**. IBGE, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/caruaru/pesquisa/23/25207?tipo=ranking&ano=2010&indicador=25207>>. Acesso em: 14 Abril 2018.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO (ITEP). **Publicação bimestral da Associação Nacional das Empresas de Lavanderia - ano 32 - nº 186**, 2008. Disponível em: <http://www.itep.br/itep_midia_ler.asp?codigo_conteudo=941&codigo_categoria=8>. Acesso em: 29 Maio 2018.

JEONG, H.; KIM, H.; JANG, T. Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: a contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea. **Water**, v. 8, n. 4, p. 1-18, Jan/Abr 2016.

JIMENO, V. A. et al. Uso de la microalga *Chlorella* sp. viva en suspensión en la decoloración del agua residual de una empresa textil. **Prospect.**, v. 15, n. 1, p. 93/99, Jan/Jun 2017.

LI, W.; YU, H.; RITTMANN, B. Chemistry: reuse water pollutants. **Nature**, v. 528, p. 29-31, Dez 2015.

MARTINS, J. E. C. A. et al. Delineamento Box-Behnken para remoção de DQO de efluente têxtil utilizando eletrocoagulação com corrente contínua pulsada. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 6, p. 1055-1064, Nov/Dez 2017.

MELO, A. R. B. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativado**. Recife: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil; Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

MILAN, G. S.; VITTORAZZI, C.; REIS, Z. C. D. **A redução de resíduos têxteis e de impactos ambientais: um estudo desenvolvido em uma indústria de confecções do vestuário**. XIII SEMEAD. Caxias do Sul: UCS. 2010. p. 1-17.

NAIR, A. R. Post-treatment of UASB effluent by slow sand filtration. **International Journal of Latest Engineering and Management Research**, v. 2, n. 5, p. 62-67, Mai 2017.

NAWAZ, ; AHSAN,. Comparison of physico-chemical, advanced oxidation and biological techniques for the textile wastewater treatment. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, p. 717-722, Jun/Jul 2014.

NIEĆ, J.; SPYCHAŁA, M.; ZAWADZK, P. New approach to modelling of sand filter clogging by septic tank effluent. **Journal of Ecological Engineering**, v. 17, n. 2, p. 97-107, Fev/Abr 2016.

PAGANINI, W. S. **Reuso de água na agricultura**. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reuso de água. 1ª. ed. Barueri, SP: Manole, 2003.

PATERNIANI, J. E. S. et al. A importância da qualidade da água nos projetos de irrigação - um estudo de caso. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 2, n. 3, p. 223-230, Set/Dez 2008.

PATERNIANI, J. E. S. et al. Pré-filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 803-812, Jul/Ago 2011.

PETITJEAN, A.; FORQUET, N.; BOUTIN, C. Oxygen profile and clogging in vertical flow sand filters for on-site wastewater treatment. **Journal of Environmental Management**, v. 170, p. 15-20, Dez 2016.

PIZATO, E. et al. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 5, p. 1027-1035, Set/Out 2017.

PORTO, A. E. B.; SCHOENHALS, M. Tratamento de efluentes, reúso de água e legislação aplicada em lavanderia têxtil industrial. **Engenharia Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 68-80, Mar/Abr 2013.

SANTOS, E. M. et al. Reator anaeróbio tipo UASB conjugado com processo Fenton para remoção de cor e demanda química de oxigênio de água residuária sintética de indústria têxtil. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 2, p. 285-292, Mar/Abr 2017.

SANTOS, S. **Impacto ambiental causado pela indústria têxtil**. Florianópolis: UFSC - Engenharia de Produção e Sistemas, 2011.

SCHOUMANS, O. F. et al. **Mitigation options for reducing nutrient emissions from agriculture**. Wageningen: Alterra Wageningen UR, 2011. Disponível em: <<http://www.cost869.alterra.nl/report2141.pdf>>. Acesso em 15 de Abril de 2018.

SEBRAE. **Estudo Econômico do Arranjo Produtivo Local de Confeções do Agreste de Pernambuco**, 2012, 2013. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Estudo%20Economico%20do%20APL%20de%20Confeccoes%20do%20Agreste%20-%202007%20de%20MAIO%202013%20-%20docx.pdf>>. Acesso em: 29 Maio 2018.

SILVA, K. K. D. O. S. **Caracterização do efluente líquido no processo de beneficiamento do índigo têxtil**. Natal: Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

SILVA, M. V. A. et al. A questão ambiental no polo de confecções de Caruaru: um primeiro ensaio à luz dos instrumentos econômicos de proteção ambiental. **Revista Estudos do CEPE**, n. 35, p. 108-132, Jan/Jun 2012.

SOUSA, J. T. et al. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 10, n. 3, p. 260-265, Jul/Set 2005.

TONETTI, A. L. et al. Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 17, n. 3, p. 287-294, Jul/Set 2012.

TONIOLLO, M.; ZANCAN, N. P.; WÜST, C. **Indústria têxtil: sustentabilidade, impactos e minimização**. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre: IBEAS. 2015. p. 5.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Wastewater technology fact sheet intermittent sand filters**. Washington, D.C.: EPA, 1999. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/npdes/pubs/isf.pdf>>. Acesso em: 29 de Maio de 2018.

VERMA, A. K.; DASH, R.; BHUNIA,. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, p. 154-168, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. França: United Nations Environment Programme**, v. 1, Policy and regulatory aspects, 2006. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78265/9241546824_eng.pdf;jsessionid=2B014BDA39E8B2C351A4DC0E6D45F2C1?sequence=1>. Acesso em: 29 de Maio de 2018.