



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE FILTRAGEM PRESSURIZADO
PARA EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO.**

Jesus Manuel Perez Clara

BRASÍLIA/DF
AGOSTO DE 2019



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE FILTRAGEM PRESSURIZADO
PARA EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO.**

Jesus Manuel Perez Clara

ORIENTADOR: PROF. DR. DELVIO SANDRI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA/DF
AGOSTO DE 2019**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE FILTRAGEM PRESSURIZADO PARA
EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO.**

Jesus Manuel Perez Clara

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM AGRONOMIA.**

APROVADA POR:

DELVIO SANDRI, Doutor/FAV/UnB/ - Orientador

JOÃO JOSÉ DA SILVA JUNIOR, Doutor/FAV/UnB - Examinador interno

GERVÁSIO FERNANDO ALVES RIOS, Doutor/FAV/UnB - Examinador externo

**BRASÍLIA/DF
AGOSTO DE 2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

Clara, Jesus Manuel Perez

Desenvolvimento e avaliação de um sistema de filtragem pressurizado para efluente doméstico tratado. / Jesus Manuel Perez Clara, orientação de Delvio Sandri - Brasília, 2019.

77p.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2019.

CDD ou CDU

CLARA, J.M.P. Desenvolvimento e avaliação de um sistema de filtragem pressurizado para efluente doméstico tratado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2019, 77 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jesus Manuel Perez Clara

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Desenvolvimento e avaliação de um sistema de filtragem pressurizado para efluente doméstico tratado.

GRAU: Mestrado, ANO: 2019.

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Jesus Manuel Perez Clara

CPF: 085.755.671-10

Endereço: SRLN 712/713 Bloco H, E.42, Asa Norte, Brasília, DF, CEP: 70760-680

Tel. (05561) 99151- 7487, Email: chuy19832001@gmail.com

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
RESUMO	10
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 TRATAMENTO DE ESGOTO COM SISTEMAS NATURAIS	15
3.2 TRATAMENTO FÍSICO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO E TIPOS DE FILTRO	16
3.3 MATERIAL FILTRANTE E USO NA FILTRAGEM	18
3.4 ATRIBUTOS PRESENTES NA ÁGUA E INFLUÊNCIA NO SISTEMA DE FILTRAGEM.....	23
3.5 AVALIAÇÃO DE FILTROS PARA IRRIGAÇÃO	28
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
5.1 LOCAL DO EXPERIMENTO.....	30
5.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	30
5.2.1 Origem do esgoto bruto.....	30
5.2.2 Descrição da estação de tratamento do efluente.....	30
5.3 MÓDULO DE FILTRAGEM.....	33
5.3.1 Módulo experimental e equipamentos.....	33
5.3.2 Material filtrante	39
5.3.3 Avaliação do processo de filtração e retrolavagem dos filtros	44
5.3.4 Coleta de amostras e parâmetros avaliados no afluente e efluente ao filtro	44
5.3.5 Cálculo da carga do módulo de filtração.....	46
5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DOS FILTROS.....	46
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6.1 DESEMPENHO DOS FILTROS COM ÁGUA LIMPA.....	47
6.3 COMPOSIÇÃO DO AFLUENTE E EFLUENTE DO SISTEMA DE FILTRAGEM.....	50
7. CONCLUSÕES	71
8. REFERÊNCIAS	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Características de areias mais usadas em filtros de areia.....	18
TABELA 2. Remoção dos parâmetros orgânicos presentes em água decantada e pré-ozonizada, em diferentes meios filtrantes (%).	22
TABELA 3. Atributos para avaliação de água para irrigação.....	25
TABELA 4. Grau de restrição de uso de atributos da água para irrigação.....	26
TABELA 5. Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.....	27
TABELA 6. Combinações da espessura da manta não tecida (MSNT), camada de carvão ativado (CarAt) (0,30 m) e areia (CaAr) (0,30 m) na filtração do EET.....	35
Tabela 7. Combinações da espessura da manta não tecida (MSNT), camada de carvão ativado (CarAt) (0,15 e 0,30 m) e areia (CaAr) (0,30 m) na filtração do EET.	35
TABELA 8. Valores médios de massa (g), porcentual retido e do porcentual que passou pelas malhas das peneiras para a amostra de 1 kg de areia.....	39
TABELA.9. Módulo de finuras de agregado miúdo.....	39
Tabela 10. Manta sintética não tecida (MSNT) (Geotêxtil OP-60).....	40
TABELA 11. Manta sintética não tecida (MSNT) (Fabricante Mexichem), Geotêxtil Bimdim PP300..	41
TABELA 12. Manta sintética não tecida (MSNT) (Fabricante Mexichem), Geotêxtil Bimdim PP600..	42
TABELA 13. Características do carvão ativado de casca de coco.	43
TABELA 14. Parâmetros analisados no afluente e efluente aos filtros, unidade de medida e seus respectivos métodos de análise.	46

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Representação do processo de filtração em filtros de areia utilizados na irrigação. (Adaptado do Catálogo da empresa Flow-Guard, 2014).	16
FIGURA 2. Manta sintética não tecida utilizada para filtração de água.....	19
FIGURA 3. Localização de algumas dependências da FAL e planta baixa da estação de tratamento de esgoto (ETE/FAL/UnB).....	31
FIGURA 4. Vista dos três tanques sépticos (TS1, TS2 e TS3) e indicação do sentido de escoamento do esgoto e do sistema de zona de raízes.....	32
FIGURA 5. Caixa de passagem para os leitos cultivados (a), vertedouros triangulares no interior da caixa de passagem (b).	32
FIGURA 6. Componentes do Modelo de filtração construído.	34
FIGURA 7. A) Tubo de polietileno de vinila modificado (MPVC), B) Placa metálica de fechamento superior e inferior do módulo filtrante, C) Borracha com 5 mm de espessura para evitar vazamento do módulo filtrante posicionada entre o disco de ferro fundido e o tubo de PVC, D) Placa em alumínio superior com espessura de 6 mm com anel para prender as MSNT.	36
FIGURA 8. A) 1. Difusor para entrada do afluente e 2. Saída de retrolavagem, B). Difusor para entrada de água de retrolavagem e/ou saída de efluente tratado nos leitos.	37
FIGURA 9. A) Barra de ferro fundido roscável interna para fixar os discos de alumínio e os anéis de alumínio para fixar as MSNT, B) Barra de ferro roscável externa para realizar a vedação com os discos de ferro fundido externo.	37
FIGURA 10. A) Filtro pressurizado montado, B) 1. Registros de esfera para controle e direcionamento e do fluxo de água e efluente, C) Tomada de pressão na entrada e saída do módulo de filtração. ...	38
FIGURA 11. Sistema de tratamento de esgoto e filtros pressurizados instalados.	38
FIGURA 12. Areia de sílica utilizada nos ensaios.....	40
FIGURA 13. Manta sintética não tecida (MSNT) (Geotêxtil OP-60).	41
FIGURA 14. Manta sintética não tecida (MSNT) (Fabricante MacTex), Geotêxtil não-tecido em poliéster N 26.2.	42
FIGURA 15. Manta sintética não tecida (MSNT) (Fabricante Mexichem), Geotêxtil Bimdim PP600. .	43
FIGURA 16. Carvão ativado de casca de coco.....	44
FIGURA 17. Aparelho ColorQuest XE.	45
FIGURA 18. Perda de carga (hf) para diferentes taxas de filtração utilizando água limpa com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600, instaladas antes e depois da camada de carvão ativado de 0,15 m (CarAt).	47
FIGURA 19. Perda de carga (hf) para diferentes taxas de filtração utilizando água limpa com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600, instaladas antes e depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m.	48
FIGURA 20. Perda de carga (hf) com uma taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ EET após os SZR e uma camada MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600, antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m.	49

<i>FIGURA 21. Perda de carga (hf) na taxa de filtração de 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600, antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m).....</i>	<i>49</i>
<i>FIGURA 22. Condutividade Elétrica (μS cm⁻¹) do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>50</i>
<i>FIGURA 23. Condutividade Elétrica (μS cm⁻¹) do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.....</i>	<i>51</i>
<i>FIGURA 24. Condutividade Elétrica (μS cm⁻¹) do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 25. pH do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>53</i>
<i>FIGURA 26. pH do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>54</i>
<i>FIGURA 27. pH do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>54</i>
<i>FIGURA 28. Sólidos Suspensos totais do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>55</i>
<i>FIGURA 29. Sólidos Suspensos totais do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>56</i>
<i>FIGURA 30. Sólidos Suspensos totais do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>56</i>
<i>FIGURA 31. Sólidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT c antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.....</i>	<i>57</i>
<i>FIGURA 32. Sólidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>58</i>

<i>FIGURA 33. Sólidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>59</i>
<i>FIGURA 34. Sólidos Dissolvidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 35. Sólidos Dissolvidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>60</i>
<i>FIGURA 36. Sólidos Dissolvidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 37. Valores de Turbidez do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>61</i>
<i>FIGURA 38. Valores de Turbidez do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>62</i>
<i>FIGURA 39. Valores de Turbidez do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>62</i>
<i>FIGURA 40. Valores de Cor padrão APHA (adimensional) do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>63</i>
<i>FIGURA 41. Valores de Cor padrão APHA (adimensional) do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>64</i>
<i>FIGURA 42. Valores de Cor padrão APHA (adimensional) com uma taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando efluentes, uma camada de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m.</i>	<i>65</i>
<i>FIGURA 43. Valores de ferro total do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>65</i>
<i>FIGURA 44. Valores de ferro total do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>66</i>

<i>FIGURA 45. Valores de ferro total do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.....</i>	<i>66</i>
<i>FIGURA 46. Valores de Nitrogênio amoniacal do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>67</i>
<i>FIGURA 47. Valores de nitrogênio amoniacal do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.....</i>	<i>68</i>
<i>FIGURA 48. Valores de Nitrogênio amoniacal do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.....</i>	<i>68</i>
<i>FIGURA 49. Teores de Sódio do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>69</i>
<i>FIGURA 50. Teores de Sódio do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.</i>	<i>70</i>
<i>FIGURA 51. Teores de Sódio e do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.....</i>	<i>70</i>

RESUMO

Existem várias opções de tratamento de águas residuárias (convencionais e biológicos), e o método utilizado vai depender das características físicas, químicas e biológicas das águas residuais, também dos recursos naturais e financeiros disponíveis. A filtração é um processo barato e eficiente para tratamento de água, no qual os filtros construídos em escala piloto podem servir de base o aperfeiçoamento da eficiência para sistema de tratamento em escala real. Assim, o objetivo do trabalho foi desenvolver e avaliar as características hidráulicas de um filtro pressurizado com diferentes taxas de filtração e eficiência na filtração de efluente de esgoto tratado (EET) em Sistema de Zona de Raízes (SZR), utilizando como meio filtrante manta sintética não tecida, carvão ativado e areia na taxa de filtração de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Na filtragem do EET avaliou-se três tipos de manta sintética não tecida (MSNTs) com uma camada de espessura sendo M1OP60 de 0,001 m, M1PP300 de 0,003 m, M1PP600 de 0,006 m e duas camadas de espessura M2OP60 de 0,002 m, M2PP300 de 0,006 m, M2PP600 de 0,012 m, mais 0,30 m de carvão ativado (CarAt); e mais 0,60 m de areia (CaAr). Foram construídos três módulos do filtro, cada um composto por um tubo de PVC para esgoto com diâmetro interno de 0,1925 m com 1,20 m de altura. Avaliou-se na afluente e efluente filtrado a condutividade elétrica (CE), pH, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), turbidez (Tur), cor, ferro total (Fetot), nitrogênio amoniacal, potássio (K) e sódio (Na). Usando água limpa, quanto maior a espessura da MSNT, maior foi a perda de carga do módulo de filtragem, independente da taxa de filtração. A perda de carga com o uso de efluente de esgoto tratado utilizando uma ou duas camadas de MSNT antes e depois da camada de carvão ativado, foi maior nas MSNT de espessura de 0,003 e 0,006 m. O uso de uma ou duas camadas de MSNT com espessura de 0,006 m instaladas antes e depois da camada de areia foi eficiente na remoção de sólidos totais e sólidos totais dissolvidos.

Palavras-chave: Gotejamento, emissores, sistema de zona de raízes, macrófitas, águas residuárias, irrigação.

ABSTRACT

There are several options for wastewater treatment (conventional and biological), and the method used will depend on the physical, chemical and biological characteristics of wastewater, as well as available natural and financial resources. Filtration is an inexpensive and efficient water treatment process where pilot scale filters can serve as the basis for improved efficiency for full scale treatment system. Thus, the objective of this work was to develop and evaluate the hydraulic characteristics of a pressurized filter with different filtration rates and filtration efficiency of Tatatodo sewage effluent (TSE) in Root Zone System (SZR), using synthetic blanket as a filtering medium. nonwoven, activated carbon and sand at a filtration rate of $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. In the TSE filtering, three types of non-woven synthetic blanket (MSNTs) were evaluated, with a layer thickness being 0.001 m M1OP60, 0.003 m M1PP300, 0.006 m M1PP600 and 0.002 m M2OP60 two layers. M2PP600 of 0.012 m plus 0.30 m activated carbon (CarAt); and another 0.60 m of sand (CaAr). Three filter modules were constructed, each consisting of a PVC sewer pipe with an internal diameter of 0.1925 m and 1.20 m of height. In the tributary and filtered effluent were evaluated the electrical conductivity (EC), pH, total dissolved solids (SDT), total solids (ST), total suspended solids (SST), turbidity (Tur), color, total iron (Fetot), ammonia nitrogen, potassium (K) and sodium (Na). Using clean water, the larger the thickness of the MSNT, the greater the filter module's pressure drop, regardless of the filtration rate. The pressure drop with the use of treated sewage effluent using one or two layers of MSNT before and after the activated carbon layer was higher in the 0.003 and 0.006 m thick MSNT. The use of one or two 0.006 m thick MSNT layers installed before and after the sand layer was efficient in removing total solids and total dissolved solids.

Key-words: Drip, emitters, root zone system, macrophytes, wastewater, irrigation.

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água potável é um problema de interesse global pelas organizações e governantes. Isso é agravado, em muitos locais, pela limitação do tratamento dos esgotos, como relatado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades, que divulgou o diagnóstico dos serviços de esgoto referente no ano 2018, onde o país chegou ao 44,9% nos tratamentos dos esgotos e o 74,9% de esgotos só coletados (BRASIL, 2018).

Os principais fatores responsáveis degradação da qualidade do ambiente aquáticos, são os lançamentos de esgotos de origem urbana em cursos de água. Para atingir os objetivos ambientais são necessários investimentos em conjuntos de medidas que visa preservar as condições do meio ambiente, adaptando e propondo sistemas de tratamento alternativos viáveis, em termos financeiros, de legislação e sociais.

O sector da agricultura contra o sector industrial e domestico utiliza mais água em termos de volume captado de fontes superficiais, por tanto, pode ser beneficiado pela reutilização de água de qualidade inferior, como efluente de esgoto tratado. Porém, o seu uso necessita de tratamento adequado em estação de tratamento de esgoto, bem como adequar a composição do efluente ao sistema de irrigação que será utilizado. Assim, no caso do uso da irrigação por gotejamento, o sistema de filtragem com diferentes meios filtrantes, tem sido a alternativa pesquisada e utilizada em campo. As eficiências de remoção dos parâmetros de maior relevância, no filtro lento para um sistema de irrigação localizada em meio filtrante são a areia, mantas sintéticas, carvão ativado (PATERNIANI et al., 2011).

Segundo Mesquita et al. (2012) a operação adequada de um filtro de areia depende da estimativa correta da sua perda de carga, que é causada pela passagem da água de irrigação pelo seu interior, resultante tanto da resistência das partículas do meio filtrante ao movimento do fluido como das perdas de carga resultante da estrutura hidráulica dos filtros.

Os filtros pressurizados de areia são efetivos na remoção de partículas compreendidas a partir do diâmetro correspondente à areia fina ($> 60 \mu\text{m}$), e, dentro dessa faixa de remoção, a influência da taxa de filtração aumenta com a diminuição do diâmetro da partícula contida na água (PONCIANO et al., 2015). Os filtros de areia operam pressurizados, retêm no meio granular partículas orgânicas presentes na água, são eficientes na retenção de material orgânico, são indicados para água com elevado teor de material orgânico e águas ferrosas.

Atualmente o uso da irrigação localizada vem crescendo cada vez mais, devido ao avanço tecnológico na agricultura irrigada, que procura, sempre, métodos de irrigação que tenham grande eficiência aliada à redução nos custos de produção e consumo de água e energia; isto tem causado grande crescimento no desenvolvimento de materiais e equipamentos que tendem a melhorar o desempenho nos sistemas de irrigação localizada (RIBEIRO et al. (2005).

O processo de filtração lenta em areia é uma alternativa tecnológica de tratamento de água com potencial de uso em países em desenvolvimento, devido a uma série de fatores, com o baixo custo de instalação e manutenção, menor complexidade operacional e à dispensa da utilização de produtos químicos, (SILVEIRA et al., 2019).

Silveira et al., (2015) mostrou o desempenho e eficiência do Filtro de Múltiplas Camadas (FMC) e sua aplicação em locais que não possuem uma Estação de Tratamento de Água (ETA). Além disso, os autores demonstraram a facilidade de construção de um FMC com materiais de fácil acesso e baixo custo e ainda uma baixa manutenção. A eficiência de remoção de turbidez foi da ordem de 95%, ausência de sólidos totais dissolvidos e valores de pH e condutividade elétrica (CE) estavam de acordo com os parâmetros da Portaria de consolidação nº 05/2017 para água de abastecimento.

O filtro com carvão ativado apresentou eficiência média global de 84%, atribuído uma área superficial maior número de poros e de maior tamanho (BAETTKER et al., 2018). O carvão ativado possui características adsorptivas, que ocorre devido a adesão de moléculas ou partículas a uma superfície ou o preenchimento de poros em um sólido (diferente da absorção que é feita no volume). A capacidade adsorptiva do carvão ativado é influenciada por fatores como volume, distribuição de poros, forma dos poros, existência de grupos funcionais de superfície, pH, temperatura, tempo de contato, entre outros. Quanto mais tempo o efluente ficasse retido no filtro em filtração lenta, teria que ter absorvido mais íons e diminuído a condutividade, o que de fato ocorreu (HOEHNE et al., 2015)

Silva et al. (2003) o filtro de manta sintética não tecida e de discos em tratamento de irrigação, o filtro de manta sintética não tecida apresentou uma evolução mais acentuada da perda de carga que o filtro de disco durante o período do experimento e necessitou de limpezas mais frequentes.

Neste estudo avaliou-se o comportamento dos filtros com os leitos (areia, manta sintética não tecida e carvão ativado) para a remoção de condutividade elétrica, pH, sólidos dissolvidos totais, sólidos totais, sólidos suspensos totais, turbidez, cor, ferro total, nitrogênio amoniacal, potássio e sódio.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e avaliar um sistema de filtração utilizando como meios filtrantes areia e manta sintética não tecida associado ao uso de carvão ativado, como forma de melhorar composição de efluente de esgoto tratado em Sistema de Zona de Raízes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a perda de carga do sistema de filtração, com camada de carvão ativado e uma de areia para três tipos mantas sintéticas não tecidas com uma e duas camadas de mantas.
- Quantificar a remoção dos poluentes nos meios filtrantes areia, manta sintética não tecida e carvão ativado dos atributos físicos, químicos e microbiológicos do efluente de esgoto tratado em sistema de zona de raízes e após dos tanques sépticos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Tratamento de esgoto com sistemas naturais

A qualidade de uma água é definida por sua composição química, física e bacteriológica. As características desejáveis de uma água dependem de sua utilização. Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos de 2014, realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 49,8% dos esgotos gerados no país são coletados. Destes, 70,9% são tratados (BRASIL, 2016). Considerando tal situação, e sabendo que dois terços da população mundial enfrentam uma severa escassez de água ao menos um mês por ano, sendo que 500 milhões de pessoas sofrem com a escassez o ano todo (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2016), é imperativa a adoção de atitudes para reduzir o consumo e o desperdício dos recursos hídricos disponíveis, através da conscientização da população e da adoção de hábitos de conservação da água.

Atualmente existem tecnologias para o pós-tratamento das águas residuárias têm sido desenvolvidas e estudadas para que possam, por fim, serem aplicadas nas Estações de Tratamentos de Esgotos (ETE's) com a eficiência requerida para atender as legislações ambientais e reduzir impacto negativo causado no meio ambiente. A filtração em meio granular, principalmente em areia e carvão ativado, tem ganhado destaque no meio científico por se apresentar como uma alternativa de baixo custo de instalação, fácil operação e boa eficiência para remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica, nutrientes, microrganismos e micropoluentes, adequando o efluente final aos padrões legais de lançamento em corpos d'água e/ou reúso (PAREDES et al., 2016).

No Brasil para o tratamento de efluentes são mais comumente utilizadas as estações de tratamento de esgoto (ETE) que coletam todos os efluentes de uma cidade para que os tratam em um único local. Este sistema impõe a necessidade de construções de grandes estações de tratamento, com redes coletoras muito extensa. Este sistema impõe a necessidade de construção de grandes estações de tratamento, com redes coletoras muito extensas, que potencializam danos e prejuízos ao meio ambiente e a contaminação das águas e solo.

Neste sentido, ressalta-se a importância de estudos que promovam alternativas mais ecológicas e sustentáveis para o tratamento do esgoto doméstico, realizadas localmente, de forma que os efluentes possam ser devolvidos sem risco à natureza ou até reutilizados para fins não potáveis (SCHERER et al., 2010).

Ansari et al., (2016) relatam que o tratamento de esgoto doméstico pode ser realizado de diversas formas e utilizando diferentes materiais, como o sistema *wentland* construído (WC) ou sistema de zonas de raízes (SZR), que se utiliza de plantas, microrganismos e material filtrante, onde ocorrem processos físicos, químicos e biológicos.

Uma dessas alternativas, que se destaca pela eficiência e simplicidade de construção, é o chamado tanque de zona de raízes ou *wentlands*. Neste sistema, os efluentes, após passarem por um pré-tratamento na fossa séptica, são conduzidos ao tanque, onde camadas alternadas de pedras, solo e areia funcionam como filtro, e as espécies cultivadas potencializam o tratamento do esgoto.

Zuse et al., (2017), utilizando unidades compostas por material filtrante tipo areia ($d_{10} = 0,29$ e $U = 4,05$), com camadas de brita na entrada e saída, de acordo com o fluxo hidráulico, com o uso da macrófita *Typha domingensis*, observaram que o sistema foi capaz de gerar um efluente com

concentrações médias de DQO, $N-NH_4^+$ e $P-PO_4^{3-}$ iguais a 12, 6 e 1 $mg L^{-1}$, respectivamente. Porém, a limitação se deu devido à presença considerável de $N-NO_3^-$ no afluente final.

Duarte et al. (2018) relatam grande eficiência em relação às macrófitas capim *Tifton-85* e a *Typha sp.*, para sólidos sedimentáveis com remoções médias de 93% e 79% e para sólidos totais (ST) remoções médias de 34% e 32%. Remoção de nitrogênio amoniacal atingiu uma eficácia para duas espécies de 42% e relação fósforo inorgânica (ortofosfato) a eficiência foi de 72,9% no tratamento com capim *Tifton-85* e 49,7% para a *Typha sp.*

4.2 Tratamento físico da água para irrigação e tipos de filtro

O tratamento de águas residuais para irrigação na maioria das vezes é com sistema biológico, para remoção de sólidos biológicos denominado como processo físico (ÁLVARES et al., 2010).

Os filtros de areia são dispositivos que contêm uma camada de material filtrante para reter partículas orgânicas e inorgânicas presentes na água, sendo recomendados na presença de contaminação orgânica e de algas, devido a sua capacidade de retenção que ocorre entre o meio granular do material filtrante (SALCEDO et al., 2011).

Para Testezlaf et al., (2014) definem a filtração como a remoção de material em suspensão nas águas para a irrigação, pelo sistema de filtragem do filtro de areia (Figura 1).

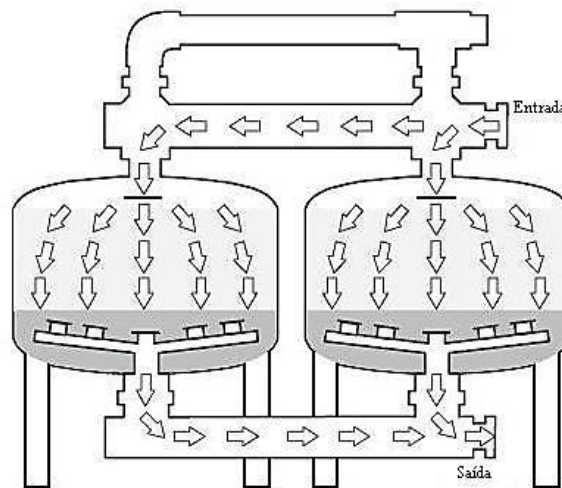


FIGURA1. Representação do processo de filtração em filtros de areia utilizados na irrigação. (Adaptado do Catálogo da empresa Flow-Guard, 2014).

Testezlaf et al. (2014) os avanços tecnológicos para a agricultura irrigada, os métodos que resultam em redução nos custos de produção e consumo de água e energia vêm crescendo cada vez mais. Por enquanto, os problemas frequentes no sistema de irrigação que se apresentam são o entupimento dos emissores que está diretamente relacionado com a qualidade da água e a eficiência dos sistemas de filtragem e às mudanças população de algas que apresentam um risco ao sistema se não houver um tratamento eficiente da água de irrigação.

Assim, uma das soluções para ao agricultor o emprego de filtros de areia pressurizados, que apresentarem desempenho na retenção de partículas orgânicas e de algas (DEUS et al., 2015). O emprego de tecnologia simples e de baixo custo, segundo PATERNIANI et al. (2011), é o emprego da

filtração lenta, pois traz a possibilidade de viabilizar o aproveitamento de efluentes e minimizar os impactos ambientais sobre os recursos hídricos.

Existe uma variedade de filtros, já que a filtração é a remoção de sólidos suspensos dissolvidos, coloidais e em suspensão, através da passagem da água por meio poroso, que durante o processo de filtração ocorre os fenômenos de absorção, sedimentação, coagem e floculação assim, os filtros de areia são equipamentos que funcionam atendendo a diversos fundamentos da mecânica de fluido, sendo necessário o conhecimento do efeito dos componentes estruturais sobre o funcionamento para os parâmetros de projeto e de sua operação em campo (MESQUITA et al., 2012).

O filtro de areia é uma das tecnologias mais comuns de tratamento de águas cinza no Reino Unido, o filtro de areia seguida por desinfecção é a técnica mais utilizada para o tratamento de águas cinza residenciais e no Brasil se recomenda o filtro de areia como pós- tratamento simplificado. Sabe-se que a eficiência do filtro de areia varia de acordo com a taxa de aplicação, com a qualidade do efluente, com a espessura e granulometria das camadas filtrante, etc., havendo necessidade de construção de uma planta piloto para sua certificação (MARTINS e USBOA 2016).

Para Testezlaf (2008), os filtros de areia consistem basicamente em tanques ou reservatórios cilíndricos metálicos ou de poliéster cujo interior se coloca espessa camada de areia através da qual se filtra a água de irrigação, operando pressurizado quando é utilizado em sistema de irrigação localizada, necessitando de dimensionamento mecânico correto, baseado na teoria de vasos de pressão, para evitar a ruptura de suas paredes devido às pressões de trabalho. Os filtros são efetivos para retenção de sólidos em suspensão, como algas, outros materiais orgânicos e, esses filtros podem remover quantidades significativas de sólidos em suspensão com diâmetros equivalentes de até 20 μm , sendo recomendada para tratamento de águas residuárias.

A perda de carga localizada ocorre quando o fluido sofre alguma perturbação brusca em seu escoamento, por algum elemento inserido no tubo. No dimensionamento do sistema de irrigação por gotejamento, é imprescindível determinar as perdas totais de cargas que ocorrem ao longo da tubulação (perda de carga linear mais perdas localizadas). As perdas localizadas, provocadas pelos emissores dentro da tubulação, muitas vezes, são desprezadas (AL-AMOUD, 1995). Entretanto, elas são significativas e de grande importância para se dimensionar o comprimento máximo das linhas laterais (KELLER & KARMELI, 1974; BAGARELLO et al., 1997; RETTORE NETO et al., 2009a), sobretudo quando se deseja otimizar o custo total do projeto.

A perda de carga localizada, causada pelo emissor, depende da área que ele ocupa na tubulação e de sua forma geométrica, existindo, comumente, três tipos de conexões: sobre a linha (on-line), na linha (in-line) e emissores integrados dentro da linha (BAGARELLO et al., 1997; ALVES & PORTO, 2002; CARDOSO & FRIZZONE, 2007; RETTORE NETO et al., 2009b) propuseram equações, através de modelagem matemática, para calcular a perda de carga localizada provocada por emissores inseridos e integrados no tubo. Os modelos basearam-se no teorema de Bélanger, utilizando relações geométricas do tubo e dos emissores.

4.3 Material filtrante e uso na filtragem

4.3.1 Areia

A utilização de filtros de meio poroso, tendo como meio filtrante a areia é, recomendada quando a água possui contaminação orgânica e de algas, sendo o seu correto dimensionamento e operação essenciais para reduzir os problemas de obstruções, os filtros de areia pressurizados são maiores na faixa de remoção que os filtros de tela e de disco, em reter partículas maiores que 12,5 μm (parte do silte) e de acumular quantidade de contaminante dentro da camada de areia, antes da realização da limpeza (TESTEZLAF, 2008).

DEUS et al. (2015) avaliou a eficiência de filtros de areia com diferentes granulometrias na remoção de impurezas da água de irrigação, bem como a perda de pressão em função da taxa de filtração e da granulometria de areia do leito filtrante. O material filtrante utilizado foi a areia de sílica, em três granulometrias: G1, areia fina ($D_{10}=0,55$ mm, isto é, 10% das partículas com diâmetro ≤ 55 μm , e coeficiente de uniformidade $CU = 1,34$); G2, areia média ($D_{10} = 0,77$ mm e $CU = 1,28$); e G3, areia grossa ($D_{10} = 1,04$ mm e $CU = 1,36$), para uma altura fixa de 0,35 m, de acordo com as recomendações do fabricante dos filtros. Os valores de taxa de filtração avaliados foram de 20, 40, 60 e 75 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$, denominados de TF20, TF40, TF60 e TF75, os quais abrangem as recomendações de (TESTEZLAF, 2008). A avaliação foi efetiva na remoção de partículas a partir do diâmetro correspondente à areia fina (> 60 μm), e, dentro dessa faixa de remoção, a influência da taxa de filtração aumenta com a diminuição do diâmetro da partícula contida na água. Com o incremento de taxa de filtração associada com à diminuição da granulometria de areia no filtro aumenta a eficiência de remoção, mas a perda de pressão com tempo diminui a remoção das menores partículas ao longo dos ciclos.

PINCHO e OLIVEIRA (2011) os filtros de areia são chamados de filtros de profundidade, já que existe múltipla possibilidade para reter a sujeira nas interseções de grânulos de areia, sendo adaptadas de HERNANDEZ et al. (1997) e TESTEZLAF (2008) (Tabela 1).

TABELA 1. Características de areias mais usadas em filtros de areia.

Material	Classe N°.	Diâmetro efetivo (mm)	Tamanho do poro (mm)	Equivalente em <i>mesh</i>	Tamanho de partículas removidas (μm).
Granito moído	8	1,50	0,214	70	> 160
Granito moído	11	0,79	0,111	140	> 80
Areia de sílica	16	0,66	0,094	170	> 60
Areia de sílica	20	0,46	0,066	230	> 40
Areia de sílica	30	0,27	0,039	400	> 20

Recomendando o filtro de areia para um pré-tratamento com separador centrífugo para os contaminantes orgânico/inorgânico ou inorgânicos em concentrações de leve, moderada, media, alta e muito alta, OLIVEIRA (2005), relata que os filtros de areia podem oferecer condições favoráveis para reter partículas com tamanho de 25 a 100 μm .

]

4.3.2 Manta sintética não tecida

O estudo de novos materiais filtrantes e mais econômicos como as mantas geotêxteis que são constituídas por estruturas de fibra aleatórias, geralmente na forma de folhas, e por sobreposição que criam múltiplos poros conectados. E ainda devido às suas propriedades particulares como alta porosidade, permeabilidade, baixo peso e durabilidade (SOUSA, 2018).

O processo de separação por membranas segundo METCALF & EDDY (2016), pode ser entendido como uma operação em que o fluxo de alimentação é dividido em dois: o permeado, contendo o material que passou através da membrana, e o concentrado, que contém o material que não passou através da membrana.

De acordo com Judd (2016), em relação à composição das membranas, existem três matérias-primas: polimérica (polietileno, polipropileno e fluoreto de polivinilideno - PVDF), cerâmica e metálica. A matéria prima polimérica, principalmente a PVDF, é a que mais prevalece e representa quase metade de todos os produtos utilizados atualmente. Com relação aos tamanhos de poros, estes classificados geralmente estão na faixa entre 0,03 e 0,4 μm . O autor relata ainda que há também um número crescente de produtos cerâmicos, com destaque para a folha plana.

As mantas sintéticas não tecidas (MSNT) são estruturas compostas por fibras cortadas ou filamentos contínuos distribuídos aleatoriamente e consolidadas por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) e combinação destes (COSTA et al., 2008). Para Albino (2013), as mantas estão formadas por fibras poliéster, poliamida, propileno, polietileno e polivenil, sendo as com predominância de fibras de polipropileno, as que apresentam mais resistência à abrasão, ao calor, à radiação ultravioleta, ao ataque de ácidos, aos alcalinizantes e aos agentes oxidantes. A Figura 2 ilustra MSTN com características similares das utilizadas para filtração de água.

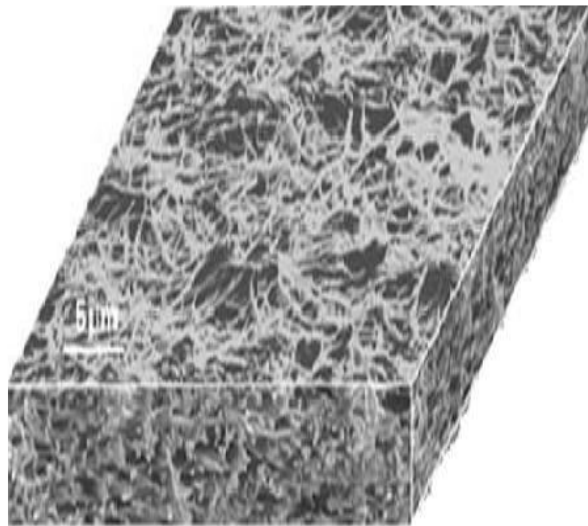


FIGURA 2. Manta sintética não tecida utilizada para filtração de água.
Fonte: SATO et al. (2011)

As propriedades das fibras/filamentos somadas às fornecidas pelo processo de fabricação/consolidação/transformação definem as características finais das MSNT e o seu desempenho. As propriedades das fibras ou filamentos representam um dos principais fatores na determinação das características das MSNT, tais como: comprimento, tipo de seção transversal

(circular, triangular, oca, trilobal), título (decitex ou denier = massa em gramas por 10.000 m ou 9.000 m de comprimento), matéria-prima, ponto de amolecimento e fusão, afinidade tintorial, frisagem e acabamento (ALBINO, 2013).

Oliveira (2005), com base aos resultados obtidos concluiu que a perda de carga nos filtros de tela e discos é em função da variação da vazão e os filtros de tela proporcionam menor perda de carga que os filtros de discos.

Na aplicação da MSNT, Albino (2013), relata que os materiais sintéticos não se diferem dos materiais granulados; os granulados quando as mantas têm poros (vazios) e filamentos ou fibras (partículas) e ambos devem atender a duas necessidades básicas: 1ª - Manter uma capacidade drenante eficiente de forma a permitir uma adequada capacidade de fluxo e sem elevar significativamente a carga hidráulica e; 2ª - Proporcionar uma retenção das partículas contidas na água que se objetiva remover.

No experimento de comparação entre meios filtrantes de areia e não tecidas sintéticas, SOUZA (2015), os níveis médios de remoção de turbidez, cor aparente, bactérias heterotróficas, coliformes totais e *E. coli*, pelo filtro de não tecido foram maiores quando adotada a taxa de filtração de $6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, na superfície do meio filtrante (10 cm). Concluiu ainda que quanto maior a quantidade de bactérias na água bruta, maiores serão os níveis de remoção dessas bactérias e maior será a espessura de não tecido sintético requerida como meio filtrante.

4.3.3 Carvão ativado

O carvão ativado é o termo genérico usado para descrever uma família de adsorvente com uma área elevada e estrutura porosa resultante de processo de ativação física ou química. O carvão ativado é o adsorvente mais utilizado devido à habilidade de absorver a uma ampla variedade de componentes e por apresentar custos muito menores em relação a outros produtos similares (RAIMUNDO, 2018). O uso de carvão ativado possui destaque por ser um adsorvente eficaz na remoção de uma variedade de contaminantes, seja industrial, agrícolas ou de origem urbana, mesma que pode ser obtido a partir de materiais minerais (carvão mineral), osso de bovinos e também de materiais vegetais como madeira, castanhas e sementes de diferentes frutos (SHIMABUKU et al., 2013).

Segundo Fangmeier et al., (2012) o carvão ativado é muito utilizado em tratamento de água, tendo um papel fundamental na purificação, para fins potáveis ou industriais, e elimina cor, odor, mau e substâncias orgânicas dissolvidas através do mecanismo de adsorção, bem como pode atuar como barreira de bactérias e vírus, sendo muito utilizado como pré-tratamento da água utilizada em indústrias. Sua principal característica, e que o define, é a grande área superficial interna desenvolvida durante a ativação, formada por milhares de poros, classificados em micro, médio e macroporos. Essa área superficial varia normalmente de $500 \text{ a } 1200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Devido a essas características, a aplicação de carvão ativado no tratamento de efluentes industriais tem sido uma prática adotada por algumas indústrias.

Grings (2011) quando o diâmetro interno do carvão ativado é de 22 mm, diminui a remoção de cloro pela a espessura da parede dos filtros. Portanto, o uso de carvão ativado de granulometria fina

prensadas a 10 e 20 kN para remoção de cloro (Cl) ajustada em 2 ppm, apresentaram 100% de remoção de cloro durante todo o teste.

Fernández et al., (2018) empregou carvão ativado em pó em um reator aeróbico de lodos ativados para tratamento de esgoto doméstico, observando que pode promover a remoção de cor, odor, nitrogênio amoniacal e compostos tóxicos presentes em alguns efluentes. Por tanto, nos experimentos realizados na remoção da cor no tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico, indicou as melhores eficiências de remoção de cor, que são em reatores que operam a 5% de lixiviados em 0, 2, 4 e 6 g L⁻¹ de CAP (concentração de carvão ativado em pó) no qual a eficiência de remoção de cor máxima se aproximou de 80% para 4 g L⁻¹ de CAP.

Araújo et al., (2017) estudaram o desempenho da remoção de óleo com carvão ativado, sendo usados água produzida (água destilada, cloreto de sódio e querosene comercial) a uma concentração de 100 mg L⁻¹ de cloreto de sódio e de 400 mg L⁻¹ de querosene comercial e de modo simular uma água produzida com teor de óleos e graxas próximos à 400 ppm ou mg L⁻¹, os valores das capacidades adsorvidas obtidas foram muitos próximos, isto se dá fato dos modelos de Thomas e Yoon-Nelson serem matematicamente iguais, diferindo apenas no significado das constantes envolvidas, e também é de importância destacar que o valor da capacidade adsorvida predita pelos modelos estão próximos dos valores obtidos pela isoterma de Freundlich e pela curva de ruptura, então a capacidade adsorvida da coluna $q_{col} = 442,34$ mg/g, o modelo adsorvido de Freundlich $q_{FR} = 389,06$ mg/g, o modelo adsorvido de Thomas $q_{TH} = 410,30$ mg/g e o modelo adsorvido de Yoon-Nelson $q_{YN} = 410,28$ mg/g. Por tanto os dados experimentais foram de 90% pelos modelos de absorção de cinético de Thomas e Yoon-Nelson.

Brito et al., (2015) avaliaram a absorção de carvão ativado granular para remoção de microcistina-LR, apresentou alta remoção de turbidez e cor aparente e pouca remoção de microcistina-LR, 13 a 14% após a sedimentação e de apenas 6 a 7 % após a filtração em areia no tratamento convencional. Ao contrário do sistema convencional sem a adição de cloro o uso do carvão ativado promoveu a remoção média de 75 a 85% de MC-LR durante as 72 h de monitoramento.

Seisdedos et al., (2015) utilizando o adsorvente de carvão vegetal produzido a partir de casca de coco ativado para remoção de Fe (III) em volume de 200 mL de três diferentes concentrações do íon Fe (III), 50, 30 e 10,8 mg. L⁻¹, e 3 g de adsorvente, submetidos à agitação à 140 rpm e a temperatura de 25 °C, em determinados períodos de tempo. Os resultados apresentaram o melhor resultado de absorção um pH 0,5 na solução a diferentes temperaturas 25, 30 e 35 °C, no modelo utilizado para descrever o equilíbrio entre o adsorvente e adsorbato foi o modelo de isoterma de Freundlich e a absorção se amostrou exotérmica porque a absorção diminui conforme é aumentada a temperatura com liberação de calor durante a adsorção. Quanto menor for a porosidade do leito, maior será o tempo para se atingir a saturação da coluna, isso porque uma menor porosidade implica em partículas menores e uma área superficial maior, possuindo assim maior quantidade de sítios ativos disponíveis.

Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 1982), os poros podem ser classificados em função do diâmetro (1 nanômetro, nm = 10⁻⁷, mm):

- Macroporos: maior que 50 nm
- Mesoporos: entre 2 e 50 nm
- Microporos secundários: entre 0,8 e 2 nm
- Microporos primários: menor que 0,8 nm

O artigo de revisão de Westphalen et al., (2016) abordou a utilização de carvão ativado biológico para o tratamento de água potável pelos compostos orgânicos presentes nas águas antes do consumo humano, foi demonstrando que o emprego do carvão ativado granular apresenta eficiência levemente superior à areia. Por outra parte, na Tabela 2 inclui os resultados observados por Wang et al., (1995) ao remover parâmetros orgânicos em água de manancial superficial (rio Ohio), com o uso de diferentes meios filtrantes. Os autores recomendam o filtro de carvão ativado biológico para remover partículas em suspensão, matéria orgânica e na redução de microrganismos a concentração de protozoários *Cryptosporidium parvum* e *Giardia lamblia* em 1,3 a 2,7 unidades logarítmicas e demanda de cloro residual.

TABELA 2. Remoção dos parâmetros orgânicos presentes em água decantada e pré-ozonizada, em diferentes meios filtrantes (%).

Parâmetros	Antracito	Areia	Carvão ativado granular		
			Macroporoso	Mesoporoso	Macroporoso
COT	16	20	29	27	21
COA-XON	39	43	51	47	42
PFTHM	23	23	40	34	27
PFXOT	28	25	52	44	31

COT: carbono orgânico total; COA: carbono orgânico assimilável; XON: halogênios orgânicos naturais; PFTHM: potencial de formação de trihalometanos; PFXOT: potencial da formação de halogênios orgânicos totais. Fonte: Wang et al. (1995).

O uso de carvão ativado granuloso de 6 a 10 mm, PM = 12,01 da marca Synth para tratamento de amostras contendo metais e corantes alimentícios, foi colocado sobre o algodão umedecido de 5 g em um filtro para amostras brutas, amostra tratada vazão rápida (100 mL/min) e amostras tratadas vazão lenta (30 mL min⁻¹). Por tanto, o fato ocorreu quanto maior mais tempo o efluente ficasse retido no filtro em filtração lenta mais íons e diminuído a condutividade e após tratamento houve aumento na concentração de Na, acredita-se que pode ser contaminação no carvão ativado ou saturação do carvão ativado. Com relação à turbidez, oxigênio dissolvidos todas as amostras ficaram dentro dos parâmetros exigidos pela legislação. Os metais também foram reduzidos com exceção do Na. Dentro desse contexto, o presente estudo apresentou grande contribuição para o desenvolvimento e a continuidade de estudos em nova fase de desenvolvimento para a aplicação de técnicas de remoção dos poluentes via processos de filtração por meio de carvão ativado. Propõem-se para testes posteriores lavagens do carvão ativado, processos de reativação dele e nova avaliação das amostras, uma vez que o carvão usado neste trabalho provavelmente estava saturado (HOEHNE et al., 2015).

Na avaliação de dois tipos de granulometrias de carvão ativado granular (CAG) para remoção de microcistina-LR (MC-LR) de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular, sendo CAG1 0,42-1,40 mm e CAG2 0,60-2,36 mm, (BRITO et al., 2015), concluíram que o transpasse no carvão de maior granulometria (CAG 2) ocorreu em menor tempo de contato (2 h), resultando em menor volume de transpasse (6 L) e menor massa adsorvida por

unidade de massa de carvão ($Q_{\text{máx}} = 35,5 \text{ mg g}^{-1}$), onde $Q_{\text{máx}}$ é capacidade máxima de soluto adsorvido pelo sólido adsorvente, quando comparado ao de menor granulometria (CAG1); o CAG 1, por sua vez, apresentou melhor desempenho tanto em relação ao volume de transpasse (16 L) como pelo Q_{max} ($62,3,3 \text{ mg g}^{-1}$), que garantiu efluente com concentração inferior ao estabelecido pela Portaria 2914 por mais tempo e despendendo menor massa de carvão.

Uma pesquisa importante foi de Fangmeier & Hoehne (2012) o trabalho teve por objetivo, avaliar tratamentos de amostras contendo corante e sódio por meios filtrantes de areia e de carvão ativado e avaliou-se características físico-químicas como pH, concentração de Na, K, Li e Ca, turbidez e condutividade, a adsorção dos compostos carvão ativado e sílica, submeteu-se a amostra a três diferentes filtrações com 2 g de carvão ativado, e a três diferentes filtrações com 2 g de sílica (areia): os resultados dos filtros com uso de carvão foram para a prática P1 e P2; Condutividade P1=13,03 μ S e P2=550,2 μ S, Concentração de Na P1 = 2,2 mg/L e P2 = 7,0 mg/L, Concentração de Li P1 = 0,0 mg/L e P2 = 0,0 mg/L, Concentração K mg L⁻¹ P1 = 0,1 mg L⁻¹ e P2 = 107,5 mg L⁻¹, Concentração de Ca P1 = 0,0 mg L⁻¹ e P2 = 1,9 mg L⁻¹, Turbidez 0,07 NTU e P2 = 5,53 NTU e pH P1 = 7,45 e P2 = 6,59. Neste estudo, os resultados do carvão ativado não foram eficientes pela contaminação de metais e a areia também pode ter presença de metais, uma vez que nos dois filtros a condutividade aumentou. Por outra parte a areia sílica foi relativamente mais adequado para este tipo de amostras.

4.4 Atributos presentes na água e influência no sistema de filtragem

O desenvolvimento do conhecimento científico para buscar novas estratégias metodológicas para o controle da qualidade da água, com o intuito de melhorar a qualidade de vida da população, fornecendo bases para o desenvolvimento dos países. Tornou-se assim, estabelecer normas paramétricas que determinassem as características mínimas de água para os diferentes tipos de riscos: microbiológico, físico, químico e radiológico. O risco físico está representado pelos contaminantes que alteram a preferência do uso da água, os quais podem ser apreciados imediatamente fomentando, nos consumidores, questionamentos relacionados à sua segurança. O risco microbiológico associa-se à presença dos patógenos como bactérias, vírus e protozoários na água de consumo os quais acarretam efeitos agudos nos indivíduos expostos. O risco químico, na água de consumo, associa-se à presença de metais pesados, diversas substâncias orgânicas e inorgânicas, agrotóxicos, cianotoxinas e subprodutos de desinfecção. Os riscos radiológicos podem gerar efeitos agudo os crônicos à população, dependendo da radioatividade presente (BERNARDO & SADOGLI, 2008).

A qualidade da água para irrigação nem sempre é definida com perfeição. Refere-se a sua salinidade com relação à sua quantidade de sólidos dissolvidos totais (sódio, cálcio e magnésio) (NUNES et al., 2011).

A ação mecânica de eliminação dos sólidos nos filtros está baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impureza de dimensões menores que os poros da camada filtrante, a interferência para o sistema de irrigação é a presença da perda de carga que apresenta um crescimento contínuo até no momento de uma queda abrupta, pelas concentrações de algas, matéria

orgânica; perda de pressão é em função da retenção de impurezas nos filtros e é determinado em função do volume filtrado. Por tanto, quando o sistema de filtração entra em operação, as partículas vão sendo retidas nos poros do meio filtrante, proporcionando se acúmulo e, com isso, perda de carga (MAGALHÃES et al., 2005).

De acordo com Deus et al., (2015), os dados da perda de pressão são em função do tempo de filtração, onde utilizou a análise de variância a 5% de probabilidade para determinar a significância e eficiência dos tratamentos dos filtros de areia. A operação adequada de um filtro de areia depende da estimativa correta de sua perda de carga características, que é causada pela passagem da água de irrigação pelo seu interior, resultante tanto da resistência das partículas do meio filtrante ao movimento do fluido como das perdas de atrito resultante da estrutura hidráulica dos filtros (MESQUITA et al., 2012).

Mesquita et al., (2012), relata que os drenos ou crepinas são os responsáveis por determinar maior efetividade da camada filtrante, aumentando-se volume disponível para a filtração, e por permitir a passagem de água filtrada para o sistema de irrigação, impedindo a passagem de grãos de camada filtrante para o seu interior, e por distribuir, uniformemente, o fluxo contrário no leito, durante o processo de retrolavagem. Um dos problemas que esse sistema pode apresentar é sua ruptura física do elemento, causada pelo seu entupimento e crescimento da pressão interna de filtragem. Essa ruptura determina redução no diferencial de pressão no filtro e a passagem de impurezas para o sistema de irrigação.

A prevenção do entupimento dos emissores é a melhor alternativa para o sucesso no uso de sistema de irrigação localizada. Neste sentido, o investimento em sistema de tratamento da água é um item fundamental, no qual se destaca o filtro de areia considerado a opção mais indicada para os padrões de qualidade dos recursos hídricos disponíveis para utilização no Brasil (DEUS, 2014).

O processo de retrolavagem é a limpeza da camada do filtro para diminuir a perda de pressão associado com a diminuição de remoção de partículas no processo (DEUS et al., 2015). Paterniani et al., (2011) realizou a limpeza dos filtros quando a qualidade do afluente foi inadequada ou perda de carga excessiva, sendo feita com a retirada das mantas sintéticas não tecidas que recobrem o meio filtrante e a limpeza dessas com jato d'água pressurizada. Nos ensaios com diferentes taxas de filtração, algumas impurezas mantiveram-se aderidas aos fios da manta não tecida. Ou seja, a camada biológica que envolve os fios do não tecidas não é totalmente removida durante a lavagem, que é o aumento da eficiência da manta não tecida, e tem a desvantagem da possibilidade de causar rápido entupimento devido saturação do meio filtrante (SOUZA, 2015).

Os filtros de areia, manta e carvão ativado, tem capacidades diferentes em separar mecanicamente as partículas sólidas de uma suspensão líquida com auxílio de seus leitos porosos. Araújo et al., (2017) relatam que o carvão ativado no processo em leito fixo foi alcançado percentuais de remoção na ordem de 90% do óleo presente na água produzida sintética a temperatura constante (25 °C) durante um tempo de 5 h. Para remoção de microcistina – LR, (BRITO et al., 2015), avaliaram a remoção de microcistina em água natural por adsorção em colunas de carvão ativado granular de casca de coco, após as etapas de clarificação e filtração em areia e os resultados mostraram que o transpasse no carvão de maior granulometria ocorreu em menor tempo de contato (2 h), quando comparado ao de menor granulometria.

Cabral et al., (2013), empregou do carvão ativado para remoção de atrazina (herbicidas) em água de abastecimento público e removeu 74% quando foi avaliada a competição de atrazina e 1,4 diclorobenzeno, devido à competição dos compostos nos microporos. Luiza et al., (2016) empregou o carvão ativado para remoção de cafeínas na planta de tratamento obtendo 99,2% com pH 6 em um tempo 50 min e 10 g L⁻¹. Parteniani et al., (2011), no experimento para a remoção dos parâmetros de maior relevância, no filtro lento, tendo como meio filtrante a areia e mantas sintéticas e areia, carvão ativado e mantas sintéticas, foram respectivamente: 27,2 e 34,2% para sólidos em suspensão; 26,01 e 39,3% para turbidez; 33,7 e 44,01% para cor aparente; 57,5 e 74,6% para coliformes totais e 70,7 e 72,6% para *E. coli*.

Existem vários critérios de qualidade da água, como exemplo, em águas residuárias são fundamentais os aspectos sanitários, e em caso da irrigação localizada, um fator de qualidade essencial é o risco de obstruções. A presença de alguns constituintes como o sódio (Na) e metais pesados é indesejável por ser nocivo ao meio ambiente e a saúde humana (MARQUES et al., 2006).

No que se refere a qualidade da água para irrigação, um conjunto de parâmetros devem ser considerados na avaliação, compostos por atributos físicos, químicos e biológicos, que irão definir a adequação e possibilidade de uso dessa fonte. São eles: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Total de Sais Dissolvidos (TSD), Sódio (Na⁺), Potássio (K⁺), Cálcio (Ca⁺⁺), Magnésio (Mg⁺⁺), Cloretos (CL⁻), Sulfatos (SO₄⁺⁺), Carbonatos (CO₃⁻) e Bicarbonatos (HCO₃⁻), por sua toxidez é conveniente a análise do íon Boro (B⁺) (Tabela 3).

TABELA 3. Atributos para avaliação de água para irrigação

Atributos	Símbolo	Unidade	Intervalo usual na água de irrigação
Salinidade			
Condutividade Elétrica	CEa	dS m ⁻¹	0 – 3
Total de Sais Dissolvidos	TSD	mg L ⁻¹	0 - 2.000
Cátions e Ânions			
Cálcio	Ca ²⁺	meq L ⁻¹	0 – 20
Magnésio	Mg ²⁺	meq L ⁻¹	0 - 5
Sódio	Na ⁺	meq L ⁻¹	0 - 40
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	meq L ⁻¹	0 - 0.1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq L ⁻¹	0 - 10
Cloretos	CL ⁻	meq L ⁻¹	0 - 30
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	meq L ⁻¹	0 – 20
Nutrientes			
Nitrato	NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	0 - 10
Amoníaco	NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹	0 - 5
Fosfato	PO ₄ ³⁻	mg L ⁻¹	0 - 2
Potássio	K ⁺	mg L ⁻¹	0 – 2
Vários			
Boro	B ³⁺	mg L ⁻¹	0 – 2
Acidez	pH		6 - 8.5
Razão de Adsorção de Sódio	RAS	(mmolL ⁻¹) ^{1/2}	0 – 15

Fonte: Adaptado ALMEIDA (2010).

No que se refere a irrigação com águas residuárias de maneira direta ou indireta, o principal limitante de sua utilização em quantidades são os tipos de sais nela dissolvidos e o seu potencial de salinização, correspondentes a alterações nos efeitos osmóticos com diminuição de rendimentos dos cultivos e deterioração da estrutura do solo (AYERS & WESTCOT, 1991).

Na irrigação, o principal limitante da água é a quantidade e o tipo de sais nela dissolvidos, sendo que quanto mais sais, maior o problema para o solo e para as culturas, pois este irá se acumular ao longo do tempo (AYERS e WESTCOT, 1991). Problemas resultantes de atributos inadequados da água dependem do clima, do solo e do manejo do sistema, não existindo limite único de atributos da água. Tais problemas podem ser divididos em quatro mais comuns: a salinização, que pode reduzir a disponibilidade de água para as culturas; altos teores de sódio (Na) somado a baixos teores de cálcio (Ca), que podem afetar a infiltração de água; excesso de íons como Na, cloretos e boro (B) (Tabela 4) e outros problemas referentes ao excesso de nutrientes que podem reduzir o rendimento da cultura.

TABELA 4. Grau de restrição de uso de atributos da água para irrigação

Problema potencial	Unidade	Grau de restrição para uso		
		Nenhuma	Ligeira ou moderada	Severa
Salinidade				
CEa	dS m ⁻¹	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
TSD**	mg L ⁻¹	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltração				
RAS*** entre 0 – 3	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS entre 3 – 6	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
RAS entre 6 – 12	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS entre 12 – 20	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
RAS entre 20 – 40	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Íons Tóxicos				
Na (por superfície)	mg L ⁻¹	< 29	29 – 207	> 207
Na (por aspersão)	mg L ⁻¹	< 29	> 29	
Cl (por superfície)	mg L ⁻¹	< 142	319,5 – 355	> 355
Cl (por aspersão)	mg L ⁻¹	< 106,5	> 106,5	
B	mg L ⁻¹	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Outros				
N	mg L ⁻¹	< 5,0	5,0 – 30	> 30
HCO ₃	mg L ⁻¹	< 91,5	91,5 – 518,5	< 518,5
pH	Faixa normal entre 6,5 e 8,4.			

*CEa – Condutividade Elétrica em água. **TSD – Total de Sólidos Dissolvidos ***RAS – Relação de adsorção de Sódio, definida em revisão bibliográfica.Fonte: (AYERS e WESTCOT, 1991).

Marouelli et al., (2014) a uniformidade de distribuição de água pelos sistemas de irrigação tem sido um dos fatores que mais tem recebido atenção, buscando melhorar o aproveitamento do uso da água e dos sistemas de irrigação. Os fatores relacionados a este aspecto são variados, alguns comuns a todos os métodos de irrigação e outros específicos para cada caso, porém, todos de grande importância e que devem ser considerados no manejo da irrigação. Como modernos processos de fabricação dos emissores, reduziu-se de forma significativa a variação de fabricação, porém, o entupimento dos emissores, decorrente de fatores físicos, químicos ou biológicos, ainda é o principal fator que leva a desuniformidade.

Portanto, para Testezlaf (2008), o entupimento de emissores na irrigação localizada por contaminantes físicos, químicos e biológicos afeta o desempenho hidráulico, amplia os problemas de manutenção e, conseqüentemente os custos de operação do sistema, reduzindo a uniformidade de distribuição da água e, a perda de carga ou a diferença de pressão que é causada pela passagem da água de irrigação pelo interior do filtro.

Para Ravina et al., (1997), este problema se agrava ainda mais quando estes sistemas de irrigação utilizam água residuárias, principalmente se estocadas em reservatórios superficiais, devido à presença de partículas suspensas, algas, zooplânctons entre outros organismos

Nakayama e Bucks (1986) apresentam uma classificação de caráter quantitativo para alguns parâmetros da água, indicando critérios para avaliação do risco de entupimento de emissores (Tabela 5).

TABELA 5. Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação

Tipo de problema	Reduzido	Médio	Alto
Físicos			
Sólidos suspensos, mg L ⁻¹	<50	50 – 100	>100
Químicos			
pH	<7,0	7,0 - 8,0	>8,0
Sólidos dissolvidos, mg L ⁻¹	<500	500 - 2,000	>2,000
Manganês, mg L ⁻¹	<0,1	0,1 - 1,5	>1,5
Ferro total, mg L ⁻¹	<0,2	0,2 - 1,5	>1,5
Sulfeto de hidrogênio, mg L ⁻¹	<0,2	0,2 - 2,0	>2,0
Dureza*	<150	150 – 300	>300
Biológico			
População bacteriana	<10,000	10,000 - 50,000	>50,000

Fonte: Nakayama e Bucks (1986). *Dureza como mg. L⁻¹ de CaCO₃, Todd *apud* PITTS et al. (1990).

A dureza é medida como mg L⁻¹ de CaCO₃, determinada pela presença de cálcio e magnésio, sendo este outro indicador do entupimento de gotejadores devido a qualidade da água, Todd *apud* PITTS et al. (1990). O Ca e Mg são dados em mg L⁻¹ e pode ser estimada pela Equação 1.

$$\text{Dureza} = (2,5 \times \text{Ca}) + (4,1 \times \text{Mg}) \quad (1)$$

4.5 Avaliação de filtros para irrigação

Os trabalhos realizados as pesquisas para melhorar a qualidade da água de irrigação pela absorção dos diferentes tipos de filtros foram realizados por diversos pesquisadores.

O trabalho desenvolvido por Souza (2015) foi para avaliar o comportamento do filtro lento de manta não tecidas sintético com diferentes espessuras e compará-lo com o filtro lento de areia em termos de remoção dos parâmetros de qualidade de água, o filtro lento de não tecida sintético proporcionou carreira de filtração com maior duração do que o filtro lento de areia; a atuação dos mecanismos de remoção de impurezas diminui ao longo da profundidade de não tecidas sintética, os níveis de remoção de turbidez, cor aparente bactérias heterotróficas, coliformes totais e *E. coli* pelas espessuras ótimas foram semelhantes aos níveis de remoção alcançados pelo filtro lento de areia; a espessuras de não tecido sintético a partir de 25 cm e 0,15 m, são respectivamente, capazes de produzir água com qualidade de turbidez e cor aparente, que atenda os padrões de potabilidade designados pela Portaria Nº. 2914 do Ministério da Saúde.

Deus et al., (2015) avaliaram a eficiência de filtros de areia com diferentes granulometrias na remoção de diferentes partículas da água de irrigação, sendo efetivo na remoção de partículas compreendidas a partir do diâmetro da areia fina ($> 60 \mu\text{m}$), mas dentro dessa faixa de remoção das partículas em suspensão, a influência de taxa de filtração aumenta com a diminuição do diâmetro da partícula contida na água; e no incremento da taxa de infiltração, associado à diminuição da granulometria de areia no filtro, aumenta a eficiência da remoção, mas apresenta perda na pressão com tempo, o que diminui a remoção das pequenas partículas no processo.

Parteniani et al., (2011) compararam a eficiência de remoção entre os filtros, onde constatou que o filtros lentos de carvão ativados e areia foi mais eficaz. A pré-filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado apresentaram acúmulo de impurezas retidas em os filtros de carvão e areia, a pré-filtração e filtração lenta reduziram a concentração de sólidos suspensos, em média de 21,64%, 20,95 % e 12,38%, na remoção da turbidez apresentou de 32,1 NTU que é considerado um valor aceitável para sistema de irrigação localizada e nas eficiências de remoção da cor aparente, pelas unidades do sistema de filtração, foram de 0,1%, 39,31% e 26,01%, respectivamente, no pré-filtro, no filtro lento com carvão e areia e no filtro lento somente com areia.

O dimensionamento do diâmetro de filtro adequado para um determinado sistema de irrigação é realizado pela aplicação do critério da taxa de filtração máxima para a qualidade de água encontrada na propriedade. Pesquisas mostram que a utilização de taxas de filtração na faixa de 20 a $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ oferece os melhores resultados em termos energéticos e de menor movimentação da superfície da camada filtrante. A taxa de filtração deve ser escolhida em função da qualidade da água presente na propriedade e que será tratada para ser utilizada na irrigação. O valor-limite para taxa de filtração de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ pode ser utilizado quando a concentração de contaminantes da água for menor que 10 mg L^{-1} de material em suspensão. Valores menores de taxa devem ser aplicados quando na água o valor de concentração for igual ou maior a 100 mg L^{-1} de material em suspensão, evitando com isso retrolavagens frequentes dos equipamentos (LAWRENCE, 2003).

Para taxa de filtração recomendada de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (condições de qualidade de água média), sendo possível a área de filtração requerida pela equação:

$$A_{\text{filtração}} = \frac{\text{Vazão do sistema } (\text{m}^3 \text{ h}^{-1})}{\text{Taxa de filtração requerida } (\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1})}$$

$$\text{Taxa de filtração} = \frac{\text{Vazão do sistema}}{\text{área total de filtração}}$$

$$Q_{\text{Vazão do sistema}} = \frac{\text{Área de filtração } (\text{m}^2)}{\text{Taxa de filtração } (\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1})}$$

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB) (15°57'16"S, 47°55'89"W e altitude de 1.103 m), para o tratamento do esgoto e para a avaliação do sistema de filtragem. O clima local é caracterizado como tropical estacional (Aw), segundo Köppen-Geiger, que tem como característica a sazonalidade do regime de chuvas, com um período chuvoso de outubro a abril e um período seco de maio a setembro (SANTANA et al., 2010).

5.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

5.2.1 Origem do esgoto bruto

Na FAL/UnB, são gerados esgotos, prioritariamente de descargas e do refeitório, que, pela sua composição é caracterizado essencialmente como esgoto doméstico, sendo estas as únicas fontes de esgoto destinadas ao tratamento, não sendo derivado à ETE/FAL/UnB nenhum efluente de laboratórios. O volume diário gerado na FAL/UnB é muito variável, devido à frequência de uso pela oscilação de pessoas que frequentam a FAL, e também não é equânime entre os dias da semana, sendo que no final de semana, feriados e períodos de férias da UnB, a geração de esgoto é insignificante.

5.2.2 Descrição da estação de tratamento do efluente

A ETE/FAL/UnB é constituída por dois níveis: tratamento primário e secundário. O tratamento primário é constituído de um conjunto de três tanques sépticos (TS) em série, os quais estão em funcionamento desde abril de 2015, não sendo realizada a remoção de sólidos nenhuma vez, e o tratamento secundário por três unidades de SZR, chamado comumente Água pé (SZRAp), um com papiro-brasileiro (SZRpb) e outro com taboa (SZRt) e um sistema na cultivado (SnC), todas de fluxo subsuperficial, preenchido com brita # 2 (Figura 3). O efluente gerado no refeitório da FAL passa inicialmente por uma caixa de gordura antes de ser conduzido à ETE/FAL/UnB. A condução do esgoto bruto desde os pontos de geração até a ETE/FAL/UnB foi feita por tubulação de Policloreto de Vinila (PVC), de 0,15 m de diâmetro.

O efluente após passar pelo sistema de zona de raízes (SZR) é direcionado até uma caixa de fibra de vidro (reservatório) com volume total de 5000 L e útil de 4750 L. Desse reservatório, o efluente será utilizado para avaliar o sistema de filtragem.

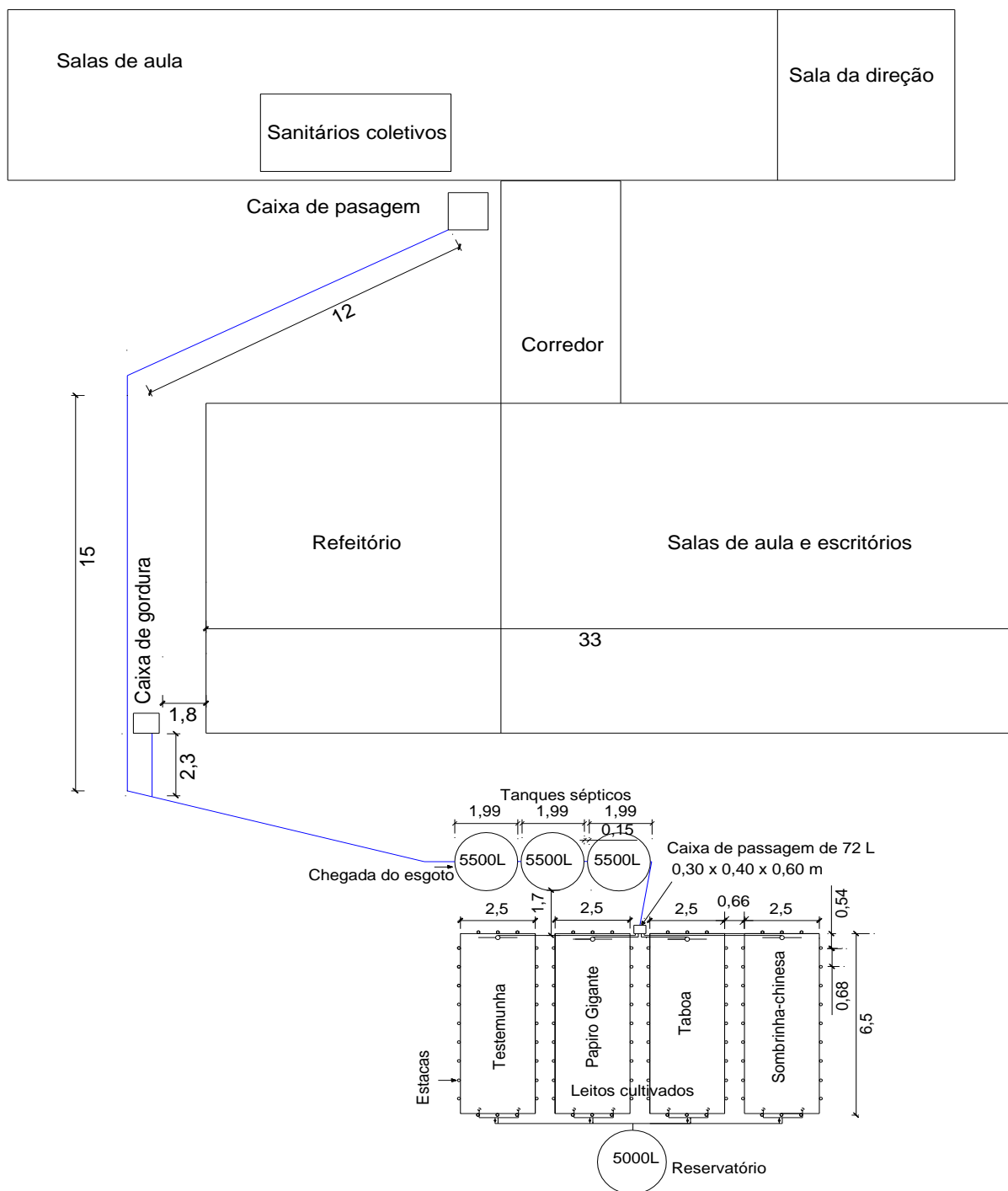


FIGURA 3. Localização de algumas dependências da FAL e planta baixa da estação de tratamento de esgoto (ETE/FAL/UnB).

O conjunto de três tanques sépticos em série (Figura 4), é destinado ao tratamento primário do esgoto gerado na FAL/UnB, e constituídos de caixas de PVC, com tampa roscável, com volume total individual de 5500 L e volume total dos três tanques (V_t) de 16500 L, porém, considerando os pontos de entrada e saída de esgoto em cada tanque, o volume útil de cada tanque é de 5100 L, ou seja, 15300 L de volume útil total.

O controle do nível do efluente nos leitos foi feito a partir de um tubo de PVC com 0,050 m de diâmetro, que sai da base de cada leito (saída do efluente) e se eleva até uma altura de 0,047 m, mantendo o nível do efluente aproximadamente de 0,003 m abaixo da superfície das caixas utilizadas como LC (folga), e, na sequência, retorna ao nível do solo.

Informações de dimensionamento do SZR e funcionamento da ETE/FAL são apresentados em (REIS, 2016).



FIGURA 4. Vista dos três tanques sépticos (TS1, TS2 e TS3) e indicação do sentido de escoamento do esgoto e do sistema de zona de raízes.

A caixa de passagem do efluente para os leitos cultivado foi construída em fibra de vidro com capacidade total de 72 L (0,30 m, 0,40 m, 0,60 m – largura, comprimento e altura) (Figura 5a), de onde saem quatro tubos de PVC para esgoto com diâmetro de 0,040 m, um para cada leito de cultivo (Figura 5b). Para melhorar o controle da vazão de entrada em cada leito cultivado, implantou-se vertedouro triangular, com ângulo interno de 38° , sendo a distribuição das vazões independente da inclinação dos tubos de condução do efluente para cada leito de cultivo, já que não funcionam afogados.



FIGURA 5. Caixa de passagem para os leitos cultivados (a), vertedouros triangulares no interior da caixa de passagem (b).

5.3 MÓDULO DE FILTRAGEM

5.3.1 Módulo experimental e equipamentos

O módulo experimental foi composto de três filtros constituídos de um tubo de policrotoleto de vinila modificado (MPVC), com 0,20 m de diâmetro e interno de 0,1925 m (Figura 6).

Para controle do fluxo de água foram utilizados registros de gaveta (RG), de forma que quando os registros de número 1 e 3 estiverem abertos, o filtro estava em processo de filtragem, já quando os registros 2 e 4 estiverem abertos e o 1 e o 3 fechados, o filtro estará em processo de retrolavagem. Porém, quando somente os registros 1 e 5 estiverem abertos, ocorria a limpeza de fundo do filtro (Figura 6). A abertura e fechamento dos registros será realizado de forma manual.

Nas tubulações de entrada e saída do filtro foram instaladas tomadas de pressão do tipo integral para monitoramento da perda de carga. Para vedação das extremidades serão utilizados discos de ferro fundido de 4 mm e 5 cm maiores que o diâmetro externo do tubo Defofo, que foram de 0,20 m, tendo entre estes e o tubo, anéis de borracha para vedação contra vazamentos. Para manter estáveis o sistema de vedação, foram utilizadas 4 barras metálicas de aço inoxidável roscáveis 3/8” em cada filtro, ligando as placas metálicas de fechamento superior e inferior do filtro. Para os dois discos de alumínio internos que serviram de “abrigo” ao carvão ativado foram presos, também por barras metálicas roscáveis e presas na placa metálica de fechamento inferior, permitindo, assim, ajustar a espessura das camadas de carvão ativado no interior do filtro, a partir da movimentação das porcas de sustentação com arruelas, que foram instaladas na parte superior e inferior de cada disco de alumínio (Figura 6).

No interior do fundo falso do filtro, foram instalados uma cruzeta com prolongamentos dos tubos até a parede do filtro, e, nestes foram confeccionados orifícios de 6 mm voltados para cima. A intenção foi homogeneizar a distribuição da água no processo de retrolavagem na base do filtro e com isso, evitar a formação de fluxo preferencial e distribuir a energia do jato de água, evitando, com isso, danos à manta sintética não tecida.

As tubulações e conexões hidráulicas dos filtros foram todas de 40 mm de diâmetro.

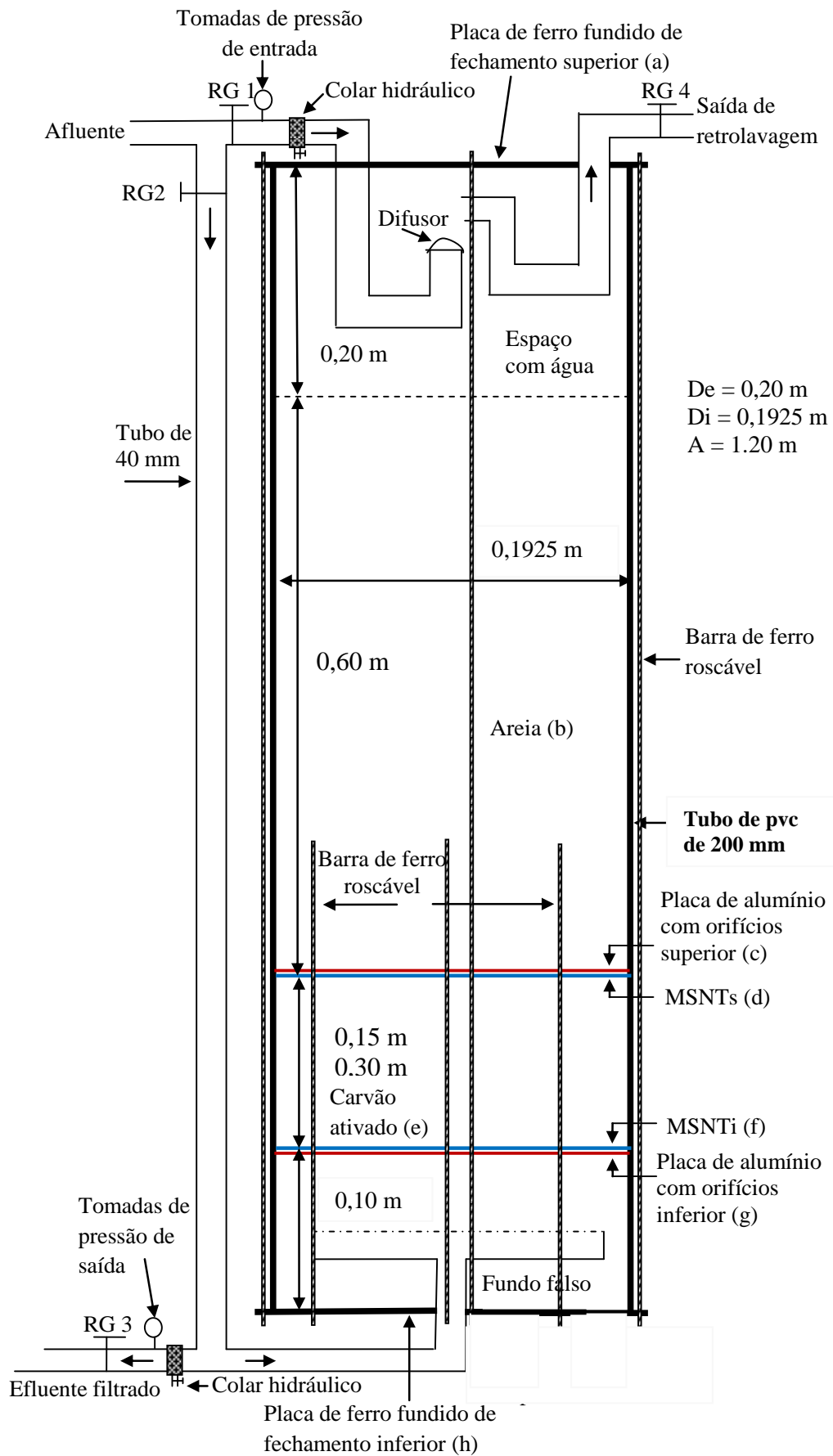


FIGURA 6. Componentes do Modelo de filtragem construído.

A sequência dos constituintes do módulo do filtro, incluindo os meios filtrantes, será conforme Figura 6 e descritos abaixo:

- a) Placa metálica de fechamento superior do módulo filtrante;
- b) Camada de areia (CaAr) de 0,60 m;
- c) Placa em alumínio superior com espessura de 5 mm perfurada com orifícios de 6 mm;
- d) Manta sintética não tecida superior (MSNTs) a camada de carvão ativado CaAt;
- e) Camada de carvão ativado (CarAt) de 0,30 m;
- f) Manta sintética não tecida inferior (MSNi) à camada de CarAt;
- g) Placa em alumínio superior com espessura de 5 mm e perfurada com orifícios de 6 mm;
- h) Placa metálica de fechamento inferior do módulo filtrante.

Na avaliação do desempenho hidráulica do sistema de filtragem foram com camadas de 0,30 m de carvão ativado em conjunto com a manta sintética não tecida e com camada de areia de 0,60 m. A avaliação foi de três tipos de mantas sintética não tecida antes e depois da camada do carvão ativado, para determinar a perda de carga em função de diferentes taxas de filtração do afluente após do sistema de zona de raiz e dos tanques sépticos e a remoção de poluentes (Tabela 6).

TABELA 6. Combinações da espessura da manta não tecida (MSNT), camada de carvão ativado (CarAt) (0,30 m) e areia (CaAr) (0,30 m) na filtração do EET.

Espessura Carvão ativado CarAt (m)	Mantas (m)	Camadas de MSNT	Areia CaAr (m)
0,30	M1OP60 (0,001)	2	0,60
0,30	M1PP300 (0,003)	2	0,60
0,30	M1PP600 (0,006)	2	0,60
0,30	M2OP60 (0,001)	4	0,60
0,30	M2PP300 (0,003)	4	0,60
0,30	M2PP600 (0,006)	4	0,60

Na avaliação do desempenho hidráulica do sistema de filtragem, com camadas de 0,15 m e 0,30 m de carvão ativado em conjunto com a manta sintética não tecida sim e com camada de areia de 0,60 m. A avaliação foi de três tipos de mantas sintética não tecida antes e depois da camada do carvão ativado, para determinar a perda de carga em função de diferentes taxas de filtração com água limpa (Tabela 7).

Tabela 7. Combinações da espessura da manta não tecida (MSNT), camada de carvão ativado (CarAt) (0,15 e 0,30 m) e areia (CaAr) (0,30 m) na filtração do EET.

Espessura Carvão ativado CarAt (m)	Mantas (m)	Camadas de MSNT	Areia CaAr (m)
0,15	M1OP60 (0,001)	2	
0,15	M1PP300 (0,003)	2	
0,15	M1PP600 (0,006)	2	
0,30	M2OP60 (0,002)	4	0,60
0,30	M2PP300 (0,006)	4	0,60
0,30	M2PP600 (0,012)	4	0,60

Foram utilizadas duas camadas de MSNT em cada unidade de filtro, tendo o carvão ativado confinado entre as mesmas, com o objetivo de evitar que o mesmo se misture com a areia ou que, ao mesmo tempo, seja conduzido para o exterior do compartimento do filtro. Um dos objetivos das

placas de alumínio foram dar sustentação às mantas sintéticas não tecidas, tanto no processo de filtração como no de retrolavagem e confinar o carvão ativado (Figura 7).

Os discos de alumínio foram confeccionados com diâmetro exatamente igual ao diâmetro interno do tubo, que é 0,1925 m, então, a MSNT foi posicionada de forma que ficasse entre a placa de alumínio e o tubo e presa no lado oposto ao disco de alumínio em relação ao lado de instalação a MSNT.

Na Figura 8 são apresentados os difusores utilizados para entrada e saída de água no módulo de filtração. “Já na Figura 9 apresenta-se as barras de aço zincado de ¼” para fixação dos discos de alumínio internamente ao tubo de PVC e externas para permitindo a vedação do módulo de filtração. A Figura 10 apresenta detalhes do módulo montado em laboratório e detalhes das tomadas de pressão e dos registros de controle de fluxo da água e do efluente. A Figura 11 mostra os três módulos de filtração instalados em campo, funcionando em paralelo, possibilitando que 1, 2 ou os 3 módulos pudessem ser acionados.

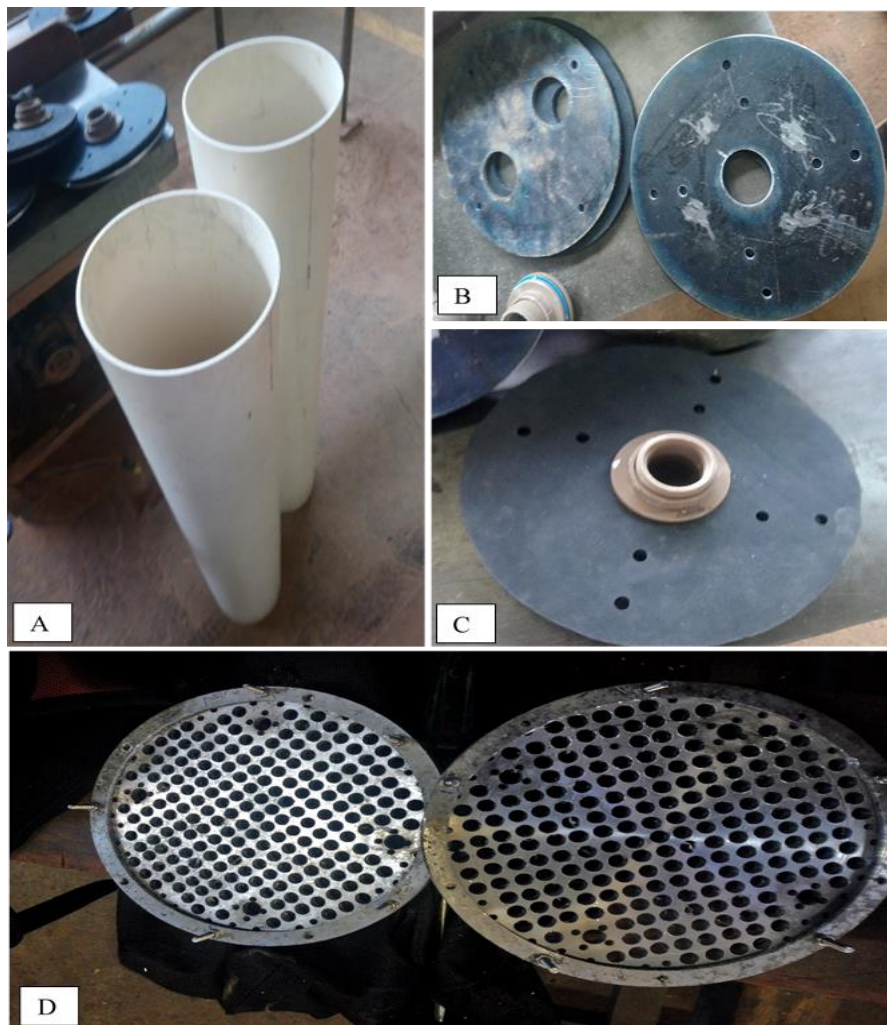


FIGURA 7. A) Tubo de polietileno de vinila modificado (MPVC), B) Placa metálica de fechamento superior e inferior do módulo filtrante, C) Borracha com 5 mm de espessura para evitar vazamento do módulo filtrante posicionada entre o disco de ferro fundido e o tubo de PVC, D) Placa em alumínio superior com espessura de 6 mm com anel para prender as MSNT.

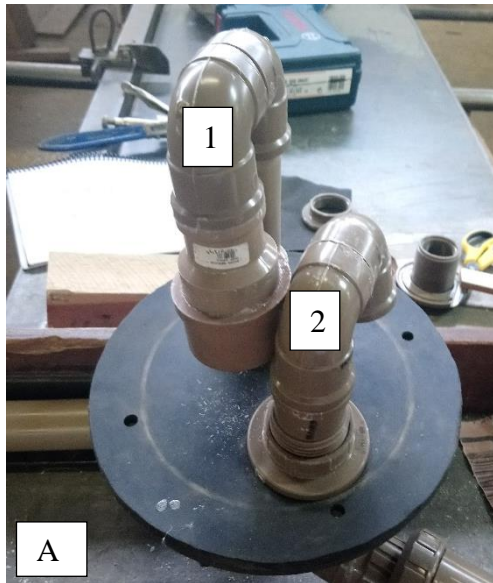


FIGURA 8. A) 1. Difusor para entrada do afluente e 2. Saída de retrolavagem, B). Difusor para entrada de água de retrolavagem e/ou saída de efluente tratado nos leitos.

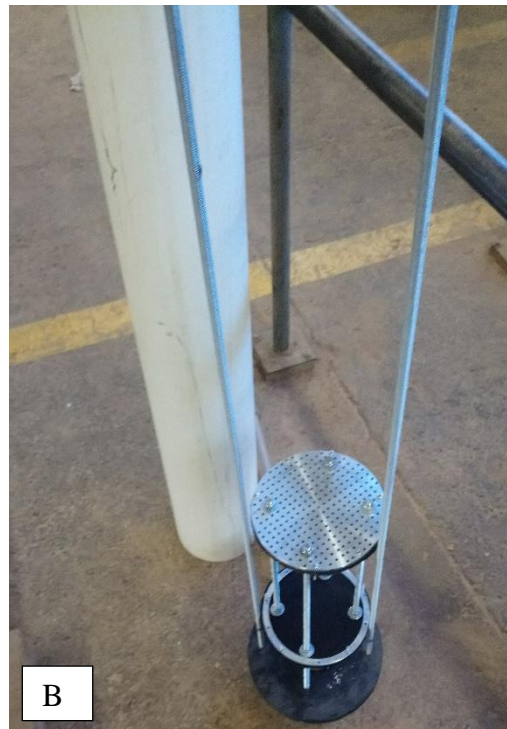


FIGURA 9. A) Barra de ferro fundido roscável interna para fixar os discos de alumínio e os anéis de alumínio para fixar as MSNT, B) Barra de ferro roscável externa para realizar a vedação com os discos de ferro fundido externo.

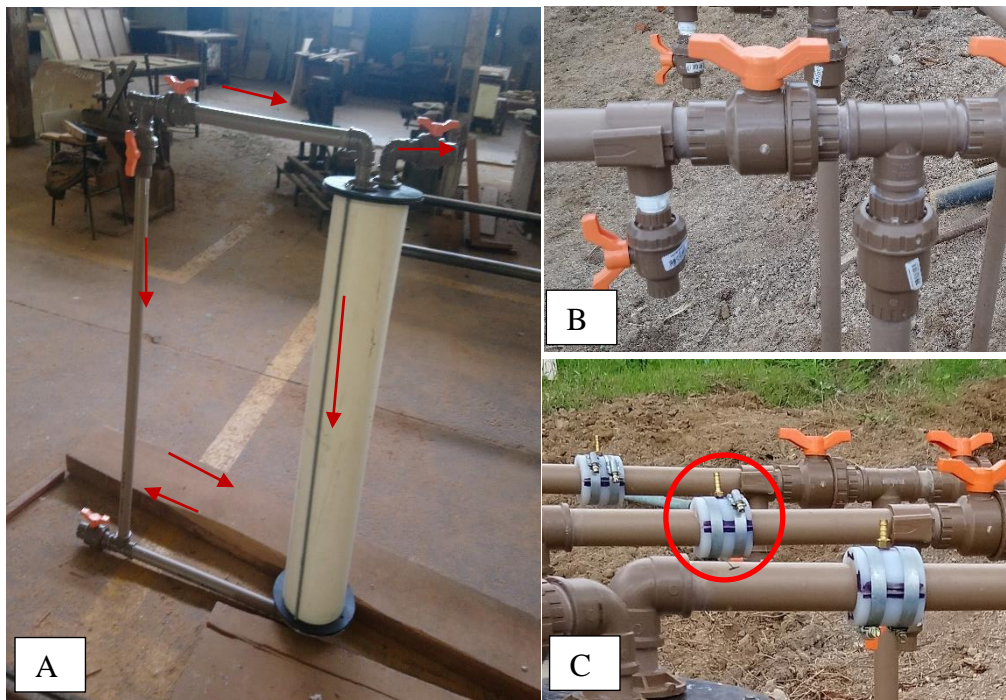


FIGURA 10. A) Filtro pressurizado montado, B) 1. Registros de esfera para controle e direcionamento e do fluxo de água e efluente, C) Tomada de pressão na entrada e saída do módulo de filtragem.



FIGURA 11. Sistema de tratamento de esgoto e filtros pressurizados instalados.

5.3.2 Material filtrante

5.3.2.1 Areia

Ensaio granulométrico da areia realizado obteve as características conforme Tabela 8 e Figura 12.

Para o experimento de índice da filtrabilidade e remoção de partículas foram usados 0,60 m de espessura de areia para taxa de filtragem de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

TABELA 8. Valores médios de massa (g), porcentual retido e do porcentual que passou pelas malhas das peneiras para a amostra de 1 kg de areia

Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
4,00	0,17	0,017	0,017
2,00	394,67	39,46	35
1,40	153,50	15,35	55
1,0	435,75	43,59	98
0,50	15,54	1,55	99
0,25	0,37	0,037	100
Total	1000	100	

Modulo de finura é a soma das porcentagens retida acumulada nas peneiras de série normal dividido por 100 (Equação 1), obtendo-se MF de 2,87

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenido}_{\text{acumulado}}}{100}$$

O modulo de finura é a característica mais expressiva para areia (Tabela 9)

TABELA.9. Módulo de finuras de agregado miúdo.

Zona	Areia	Modulo de Finura
1	Fina	< 2,00
2	Média fina	2,00 – 2,49
3	Média grossa	2,50 – 2,85
4	Grossa	> 2,85

Por outro lado, a classificação das partículas do solo vai depender do diâmetro, menor de 2,0 e área e maior de 2,0 -20,0 mm é brita (Figura 12). A determinação do diâmetro da areia foi em correlação com a ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7217 Agregados – Determinação da composição granulométrica e o resultado do módulo de finura (Tabela 9).

O diâmetro máximo da areia de sílica é 2,87 mm.



FIGURA 12. Areia de sílica utilizada nos ensaios.

5.3.2.2 Manta sintética não tecida (MSNT)

As características das 3 mantas sintéticas não tecidas usadas para os filtros são mostrados nas Tabelas 10, 11 e 12.

M1- Geotêxtil OP-60, cor cinza com espessura de 0,001 m (Figura 13).

M2 – Fabricante Mexichem PP300, cor preta fina com espessura de 0,003 m (Figura 14).

M3 - Fabricante Mexichem PP600, cor preta grossa com espessura de 0,006 m (Figura 15).

No experimento do filtragem do efluente foram testadas as MSNT nas medias geral estadísticos de remoção das particulas, para o índice da filtrabilidade e taxa de filtragem de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para MSNTs e MSNTi.

Tabela 10. Manta sintética não tecida (MSNT) (Geotêxtil OP-60).

Característica	Unidades	
Modelo		G5
Geotêxtil		2*OP-60
Material		PET
M_A	(g m^{-2})	600
t_{gt}	(mm)	4,0
O_{95}	(mm)	0,800
K_n	(cm/s)	0,20
ψ	(S^{-1})	0,9

Onde: M_A = massa por unidade de área (gramatura), t_{gt} = espessura nominal (ABNT NBR 12569), O_{95} = abertura de filtração, K_n = permeabilidade normal ao plano, ψ = permissividade. Valores de M_A , t_{gt} , O_{95} , K_n , ψ são dados fornecidos pelos fabricantes.



FIGURA 13. Manta sintética não tecida (MSNT) (Geotêxtil OP-60).

TABELA 11. Manta sintética não tecida (MSNT) (Fabricante Mexichem), Geotêxtil Bimdim PP300

Propriedades		Normas	Unidades	Valores	
Propriedades mecânicas	Tração na ruptura - T		kN m ⁻¹	14	
	Resistência a tração faixa larga	NBR 12824	%	> 50	
			Ruptura elástica - L	kN m ⁻¹	13
			Alongamento - L	%	> 50
				Resistência ao puncionamento CBR	NBR 13359
Propriedades físicas	Gramatura	NBR 12568	g m ⁻²	300	
	Largura	-	m	3,50	
	Matéria prima	100% polipropileno aditivado anti UV			
	Resistencia ao raio ultravioleta (% de resistência retida após 500 horas)	ASTM D 4355	%	>70	



FIGURA 14. Manta sintética não tecida (MSNT) (Fabricante MacTex), Geotêxtil não-tecido em poliéster N 26.2.

TABELA 12. Manta sintética não tecida (MSNT) (Fabricante Mexichem), Geotêxtil Bimdim PP600

Propriedades		Normas	Unidades	Valores	
Propriedades mecânicas	Tração na ruptura - T		kN m ⁻¹	30	
	Resistência a tração faixa larga	Alongamento - T	NBR 12824	%	> 50
		Ruptura elástica - L		kN m ⁻¹	28
		Alongamento - L		%	> 50
		Resistência ao puncionamento CBR		NBR 13359	kN
Propriedades físicas	Gramatura	NBR 12568	g m ⁻²	600	
	Largura	-	m	3,50	
	Matéria prima	100% polipropileno aditivado anti UV			
	Resistencia ao raio ultravioleta (% de resistência retida após 500 horas)	ASTM D 4355	%	>70	



FIGURA 15. Manta sintética não tecida (MSNT) (Fabricante Mexichem), Geotêxtil Bimdim PP600.

5.3.2.3 Carvão ativado

O carvão ativado selecionado tem características conforme laudo técnico de análise, n. 4333/16 do produto Material filtrante (8 x 30) mesh de casca de coco da empresa BALASSA e BOFATTI (Tabela 13 e Figura 16).

TABELA 13. Características do carvão ativado de casca de coco.

Análise	Unidade	Método	Especificação	Resultado
Teor de umidade.	%	ASTM D-2867-99	8,0 (Máximo)	6,1
Índice de iodo:(CA base)	mgI ² / gCA	ASTM D-4607-94	850 (Mínimo)	861
Dureza.	%	ASTM D-3802-79	90 (Mínimo)	96
Densidade aparente.	g cm ⁻³	ASTM D-2854-96	0,45 à 0,55	0,53
Teor de cinzas	%	ASTM D-2866-94	10,0 (Máximo)	8,6
Granulometria: Maior # 8 mesh	%	AWWA B-604-96	5,0 (Máximo)	4,6
Menor # 30 mesh	%	AWWA B-604-96	5,0 (Máximo)	4,2

Fonte: BALASSA e BOFATTI MAGAZINE LTDA EPP



FIGURA 16. Carvão ativado de casca de coco.

5.3.3 Avaliação do processo de filtração e retrolavagem dos filtros

A obstrução dos filtros foi confirmada a partir da diferença de pressão medida na entrada e saída dos mesmos, sendo realizada a retrolavagem com abertura manual dos registros quando a diferença de pressão entre a entrada e saída do filtro atingir próximo a 5 m.c.a.

Os ensaios de filtração do efluente foram realizados considerando a vazão constante para todas as alternativas de combinação de areia versus manta sintética não tecida, em que, para cada uma destas combinações foi fixada taxa de filtração em $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (para água considerada suja), segundo TEZTESLAF (2014), sendo a área de filtragem de $0,03142 \text{ m}^2$ – para diâmetro do filtro de $0,1925 \text{ m}$ - resulta em: Vazão do sistema (Q) = área de filtragem (m^2) * taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, assim, $Q = 1,88 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, que corresponde o tempo de funcionamento de 40 min dia^{-1} , por um período de 24 dias de ensaio, totalizando $45,12 \text{ m}^3$ de água filtrada por módulo de filtragem. Os ensaios foram realizados de segunda, quarta e sexta-feira em função da indisponibilidade de esgoto nos finais de semana.

Para minimizar os efeitos da variação na composição do afluente ao filtro, os ensaios foram realizados a partir das 9:00 h.

5.3.4 Coleta de amostras e parâmetros avaliados no afluente e efluente ao filtro

Os parâmetros pH e condutividade elétrica (CE) foram analisados *in loco*, já os demais atributos (Tabela 14) foram determinados em laboratório. Para a realização das análises laboratoriais, foram utilizados os Laboratórios de Análise de Água da FAV/UnB e outros laboratórios disponíveis na FAV e de outras faculdades e institutos da UnB, utilizando as metodologias de análise do (APHA, 2005).

As amostras foram coletadas em frascos de plástico de volume de 1,5 L, acondicionadas em caixa de isopor com gelo, transportadas para o laboratório e conservadas em geladeira, conforme

recomendações do Standard Methods, com exceção dos parâmetros que exigem determinação no mesmo dia.

As coletas do afluente e efluente para análise foram realizadas nas tubulações de entrada e saída de cada filtro, sendo analisados os atributos apresentados na Tabela 14.

Amostras de água para análise foram coletadas aos 3, 20 e 40 min após o início do ensaio ou carreira de filtragem, tanto no afluente como no efluente, sendo misturadas para formar uma amostra composta em cada um dos três módulos de ensaio. As coletas de amostras de afluente e efluente foram realizadas nas segundas, quartas e sextas da semana para cada carreira de ensaio em cada combinação de espessura da camada de areia carvão ativado e dos tipos de MSNT (Tratamento).

Nos últimos 5 dias de ensaio utilizou-se efluente dos tanques sépticos (TS), que apresentam maior concentração de sólidos em suspensão, visando acelerar o processo de obstrução do filtro e analisar a eficiência da retrolavagem

Na medição da cor foi realizada a escala APHA (também conhecida como Pt-Co e Hazen) pelo aparelho ColorQuest, ver a Figura 17. Esta é uma escala visual utilizada para determinar o grau de amarelamento em amostras líquidas claras. A escala possui a faixa 24 de 0 a 500, e os valores padrões são obtidos através de uma solução padrão de Pt-Co de 500 ppm conforme descrito pelas ASTM D1209 e ASTM D5386. O instrumento não calcula a medição de concentração em ppm, apenas faz a medição da cor e correlaciona o índice de amarelamento com a escala visual APHA (APHA, 2012).



FIGURA 17. Aparelho ColorQuest XE.

TABELA 14. Parâmetros analisados no afluente e efluente aos filtros, unidade de medida e seus respectivos métodos de análise.

Atributo	Símbolo	Unidade	Método de análise
Potencial hidrogeniônico	pH	-	Eletroquímico
Condutividade elétrica	CE	$\mu\text{S m}^{-1}$	Condutivímetro
Sólidos dissolvidos totais	SDT	mg L^{-1}	Gravimétrico
Sólidos totais	ST	mg L^{-1}	Gravimétrico
Sólidos suspensos totais	SS	mg L^{-1}	Gravimétrico
Turbidez	Turb	NTU	Colorimétrico de refluxo fechado
Cor	Cor	Adimensional	Escala visual APHA*
Ferro total	Fe	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Nitrogênio amoniacal	N-NH ₄ ⁺	mg L^{-1}	Fotocolorimétrico
Potássio	K	mg L^{-1}	Fotômetro de chama
Sódio	Na	mg L^{-1}	Fotômetro de chama

* APHA - American Public Health Association, SDT (mg L^{-1}) = CE (dS m^{-1}) x 640

SS = ST – SDT

5.3.5 Cálculo da carga do módulo de filtragem

A perda de carga é a energia perdida pelo líquido por unidade de peso, entre dois pontos de escoamentos. Utilizou-se a equação de Bernoulli considerando os pontos antes e depois do módulo filtrante.

$$h_{f_{\text{total}}} = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

em que:

$$\frac{V_1^2}{2g} \text{ e } \frac{V_2^2}{2g} = \text{altura ou energia cinética ou taquicarga (m);}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} \text{ e } \frac{P_2}{\gamma} = \text{altura estática ou piezométrica ou de pressão (m.c.a.);}$$

Z_1 e Z_2 = altura geométrica ou de posição em relação a um PHR (m);

$h_{f_{\text{total}}}$ = perda de carga total ou gasto médio de energia para o líquido ser transportado do ponto P_1 para o ponto P_2 (seção 2).

5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DOS FILTROS

O análise dos atributos avaliados no afluente e efluente foram feitos com as medias aritméticas de remoção dos poluentes dos matérias (areia, tipos das manta sintética não tecida e carvão ativado) e equação de regressão para perda de carga para água limpa e afluente.

Na discussão a qualidade da água tratada para irrigação bem como para lançamento em cursos de água em atendimento nas resoluções Conama n. 357 de 2005 (BRASIL, 2005) e a Resolução Conama n. 430 de 2011 (BRASIL, 2011) e com a literatura especializada relacionada ao uso em irrigação por gotejamento e lançamento em cursos de água, bem como para outros usos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Desempenho dos filtros com água limpa

A perda de carga (hf_{total}) utilizando água limpa com uma camada de manta sintética não tecida (M1) instaladas antes e uma depois da camada de CaAt de 0,15 m foram maiores na MSNT com espessura de 0,006 m (M1PP600) em todas as vazões, seguido pela MSNT com espessura de 0,003 m (M1PP300), já no filtro com espessura da MSNT de 0,001 m (M1OP60), foi inferior às demais, em todas as taxas de filtração, sendo que nesta última hf_{total} permaneceu estável e próximo a 1,25 m, enquanto que no M36, para taxa de filtração de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ chegou a 1,9 m, contra 1,5 m na M23 (Figura 18). O Coeficiente de correlação foi considerado baixo, sendo de no máximo $R^2 = 0,7717$ quando do uso da M1OP60, que deve-se a dificuldade de estabilizar a vazão nos filtros, uma vez que os mesmos funcionaram em paralelo e ao mesmo tempo.

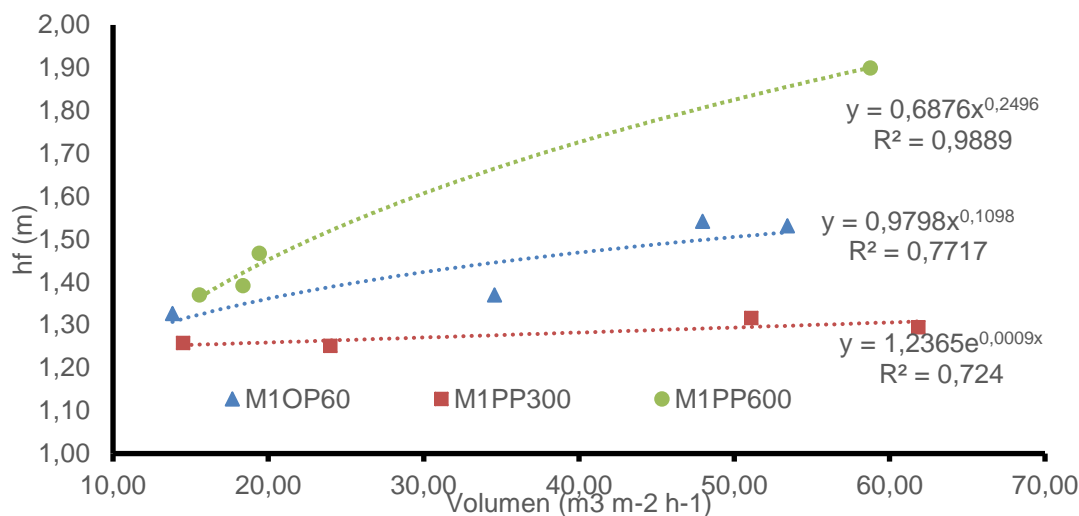


FIGURA 18. Perda de carga (hf) para diferentes taxas de filtração utilizando água limpa com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600, instaladas antes e depois da camada de carvão ativado de 0,15 m (CarAt).

Os resultados de perda de carga com uma e duas camadas de mantas sintéticas não tecidas e da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m, indicaram a tendência de perda de carga e entupimento pelo comportamento. O experimento tem uma relação com a perda de carga (RIBEIRO et. al., 2008), uma maior tendência de entupimento foi na não-sintético filtro de fibra tecida, que apresentou maior valor de o coeficiente angular (0,3677 contra 0,2936 para o filtro de disco).

A hf utilizando água limpa com duas camadas de MSNT instaladas antes e depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m observa-se que na taxa de filtração de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ chegou 2,8 m nas MSNT M2OP60 e M2PP300 2,9 m.

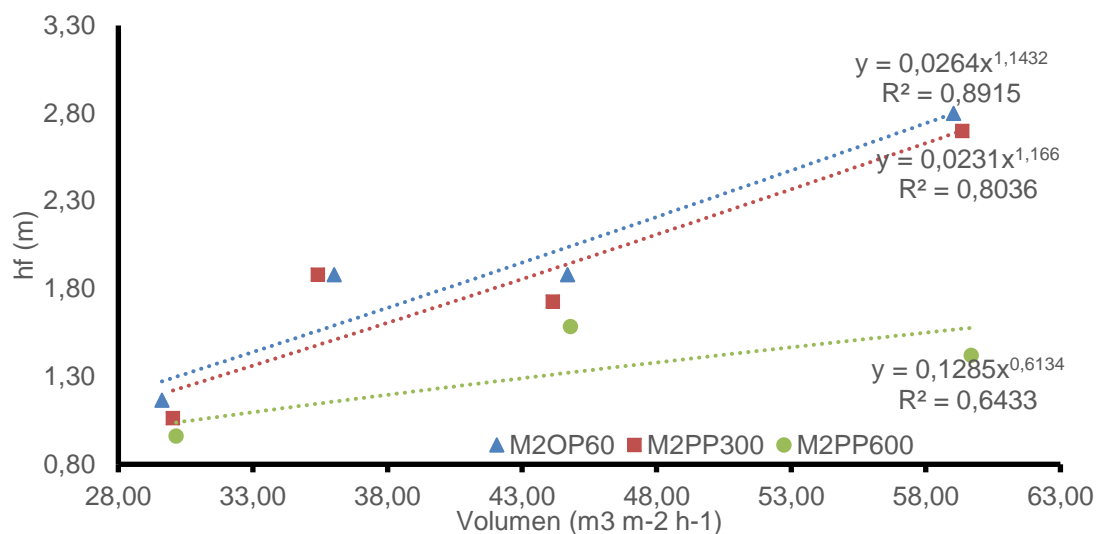


FIGURA 19. Perda de carga (hf) para diferentes taxas de filtragem utilizando água limpa com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600, instaladas antes e depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m.

6.2 Perda de carga nos filtros para o fluxo de efluente.

Quando do uso de uma camada de MSNT antes e uma depois da camada de carvão ativado e 0,60 m de areia, observa-se que a perda de carga (hf) com uma taxa de filtração constante de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$, mudaram pouco, sendo de 1,3 m no primeiro dia de ensaio (13/05/19) e chegando a 1,7 m após 1.6 m acionamentos de 40 minutos cada (7/06/19) para a MSNT M1OP60 com espessura de 0,001 m, demonstrando que houve reduzida obstrução dos meios filtrantes. Já para as MSNT 1PP300 com 0,003 m de espessura e a M1PP600 com 0,006 m foram maiores, sendo hf de de 2,0 m no início, chegando a 3,0 m e 3,3 m (7/06/19) (Figura 20), respectivamente, portanto, retendo mais impurezas e elevando mais hf em relação ao MSNT com 0,001 m de espessura, mesmo assim, nenhuma exigiu retrolagem, que deveria ser realizada caso a hf chegasse a 5 m.

Os resultados retenção de impurezas tem relação com (RIBEIRO et al., 2005), nas quatro etapas do experimento de variação da perda de carga versus volume filtrado para filtros de disco e manta sintética não- tecida, houve redução da qualidade da água evidenciada pelo aumento dos valores médios obtidos para as concentrações dos parâmetros sólidos suspensos, turbidez e algas analisadas. Mas a manta sintética não tecida mostrou-se melhor remoção de partículas orgânicas e inorgânicos presentes na água.

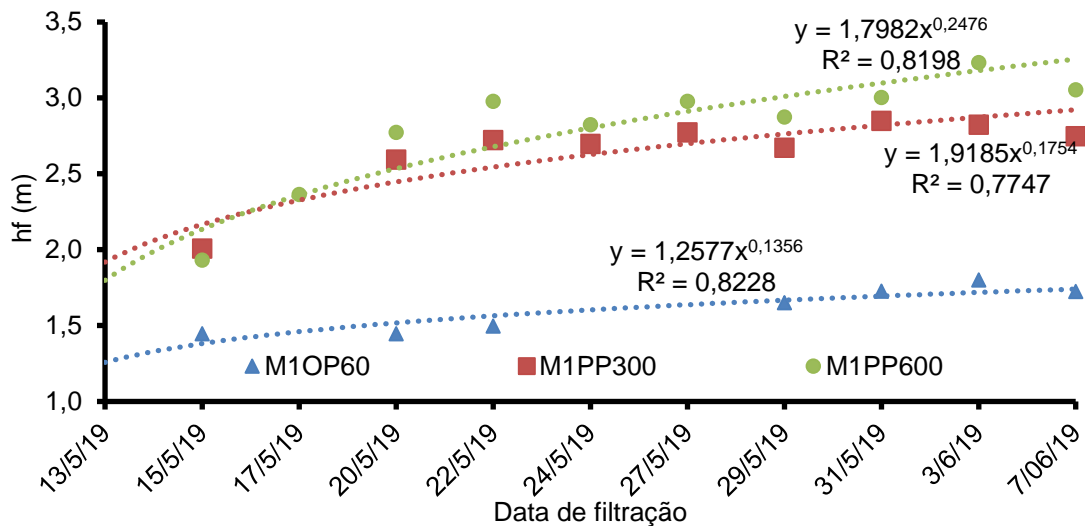


FIGURA 20. Perda de carga (hf) com uma taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ EET após os SZR e uma camada MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600, antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m.

Utilizando duas camadas de MSNT antes de duas depois da camada de carvão ativado, o comportamento de hf foi similar se comparado ao uso de uma camada de MSNT, sendo menor na de espessura de 0,001 m, esta com menor variação após 5 dias de filtragem (12/06/19 a 28/06/19) em relação aos modelos de MSNT M2PP300 com 0,003 m e M2PP600 com 0,006 m de espessura, sendo que estas atingiram 4,0 m de perda de carga e com comportamento muito similar em todas as datas de medida.

Considerando a amplitude de variação de hf, tanto com uma como com duas camadas de MSNT antes e depois da camada de carvão ativado, houve maior retenção de impurezas do EET.

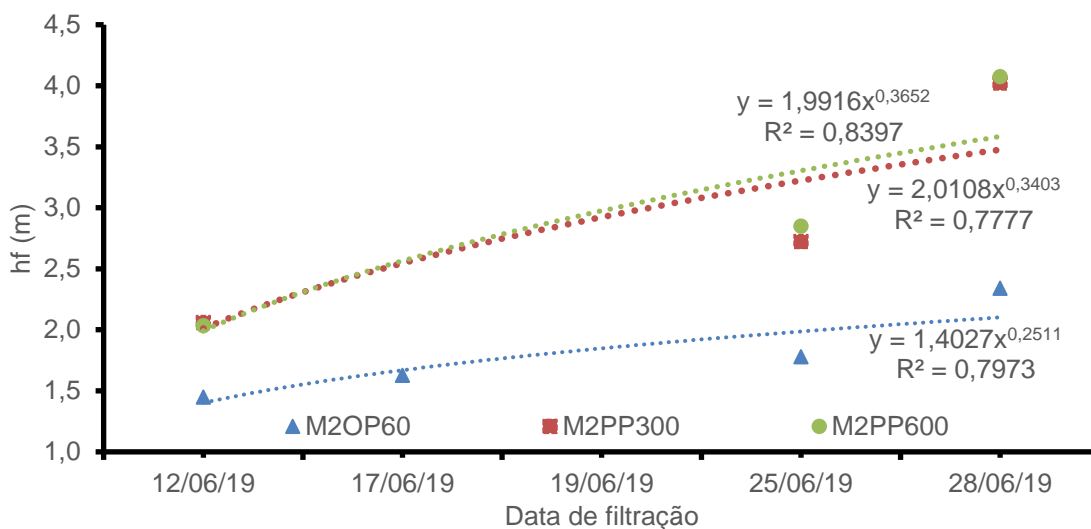


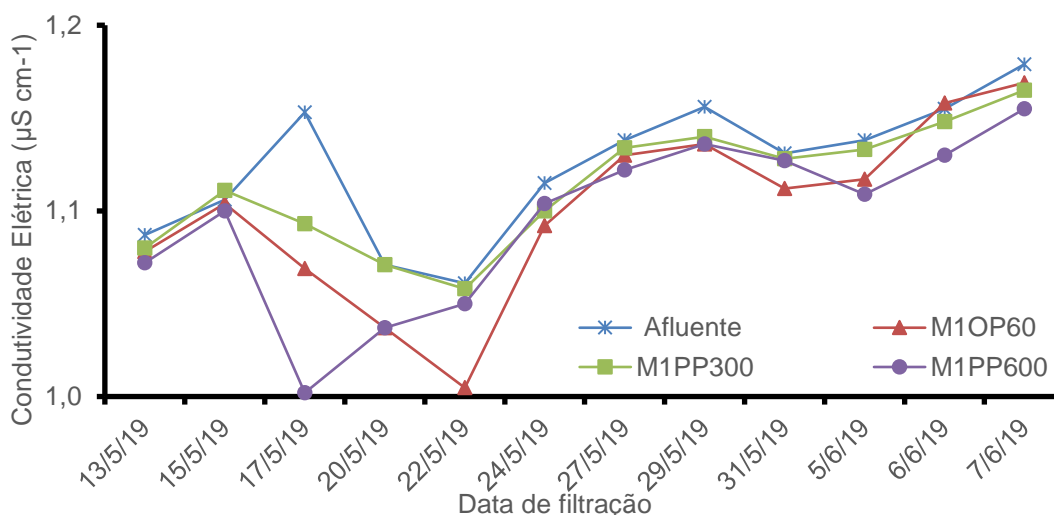
FIGURA 21. Perda de carga (hf) na taxa de filtração de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600, antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m).

Segundo Ribeiro et al., (2005), a turbidez é um indicador de sólidos suspensos, porém, isoladamente, não é um parâmetro preciso para se determinar o grau de risco de entupimento de emissores para fontes de água superficial, este parâmetro deveria ser analisado conjuntamente em teste de filtração para se determinar a concentração de sólidos suspensos e assim mensurar o potencial de risco de entupimento de emissores.

6.3 Composição do afluente e efluente do sistema de filtração

Condutividade eléctrica (CE).

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente eléctrica, indicando a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representando uma medida indireta da concentração de poluentes. A condutividade eléctrica (CE) no efluente tratado apresentou baixos coeficiente de variação (CV). A CE do afluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m foi maior em relação ao efluente em todas as datas de análise (Figura 22), justificando a redução de ST, SDT. Ao longo das datas de análise diárias com tempo de filtração de 40 min. a CE oscilou de forma regular tanto do afluente quanto do efluente, sendo função basicamente da composição inicial da CE derivado dos SZR. Quando do uso de duas camadas de MSNT antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m (Figura 23) houve maior CV entre as datas de medida, devido a variação na composição do esgoto neste período, sendo hora maior nun tipo de manta hora em outro.

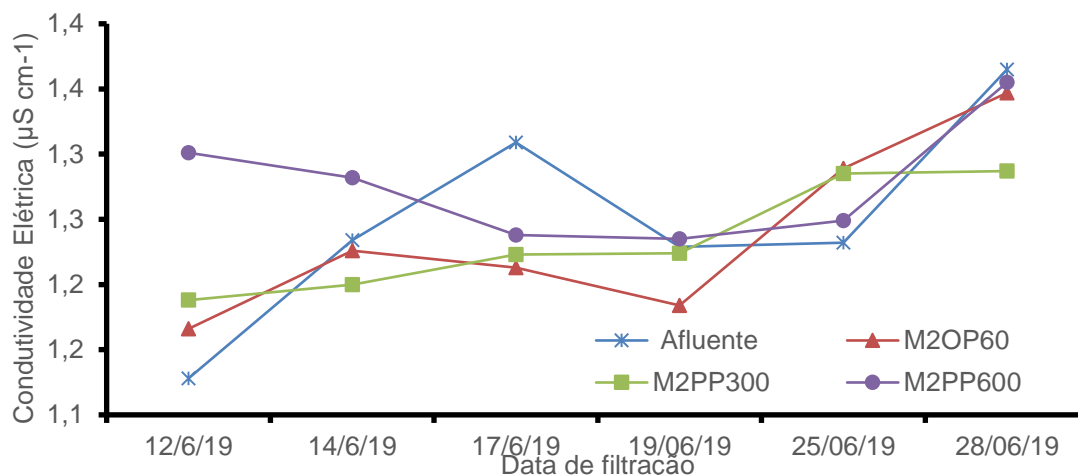


	Afluente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	1,124	1,101	1,113	1,095
Desvio Padrão	0,037	0,048	0,033	0,046
CV (%)	3,3	4,4	3,0	4,2

FIGURA 22. Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Os resultado das medias aritméticas dos filtros contra afluente foram pela obsorção de sólidos dissolvidos pela camada de carvão ativado e a retenção de resíduos orgânicos e inorgânicos da

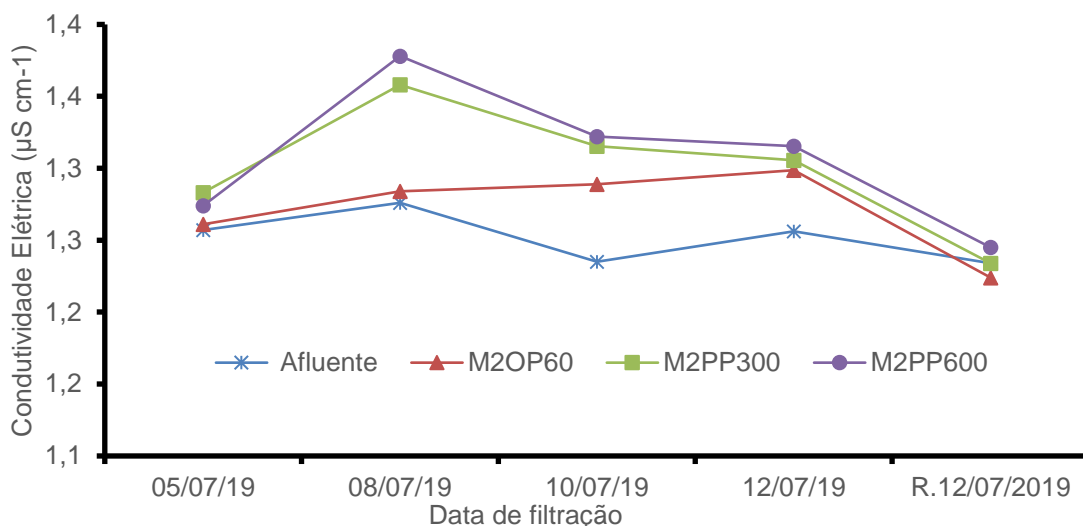
manta sintética não tecida. Dantas et al. (2019), condutividade apresentou alta correlação positiva significativa com os sólidos dissolvidos. Segundo Silva (2016) os valores dos sólidos totais, fixos e voláteis tem conexão com os sólidos dissolvidos no meio, o que favorece a concentração de íons e consequente aumento da condutividade elétrica.



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	1,250	1,238	1,235	1,277
Desvio Padrão	0,081	0,068	0,042	0,046
CV (%)	6,5	5,5	3,4	3,6

FIGURA 23. Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

A CE no afluente coletado após o tanque sépticos (TS), portanto, sem passar pelo SZR apresentou baixos coeficiente de variação (CV), o mesmo ocorreu com o efluente do sistema de filtragem (Figura 24). A CE do afluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os TS, com duas camadas de MSNT M2OP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m foi menor em relação ao efluente do sistema de filtragem em todas as datas de análise (Figura 24). Na figura 24 se apresentaram concentrações de poluentes que afetam a condutividade elétrica, devido ao desprendimento de carvão ativado com as partículas orgânicas e inorgânicas absorvidas e também das MSNT. Em geral, níveis superiores a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, onde altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2016).



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	1,251	1,271	1,299	1,307
Desvio Padrão	0,016	0,030	0,045	0,051
CV (%)	1,3	2,3	3,5	3,9

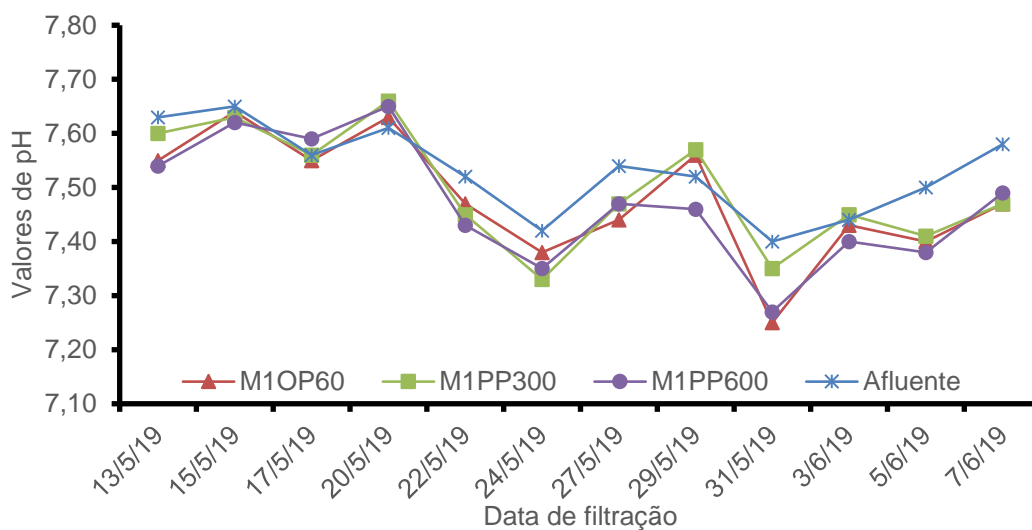
FIGURA 24. Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH refere-se a uma medida que indica se uma solução líquida é ácida ($\text{pH} < 7$, a 25°C), neutra ($\text{pH} = 7$, a 25°C), ou básica/alcalina ($\text{pH} > 7$, a 25°C). Uma solução neutra só tem o valor de $\text{pH} = 7$ a 25°C , o que implica variações do valor medido conforme a temperatura, (FERNANDEZ, 2011).

Os resultados obtido nos sistemas de filtragem, tem uma relação com a qualidade do efluente para entupimento. De acordo com a classificação citada (ALMEIDA, 2010) e, com estudos sobre a influência da qualidade da água no entupimento de sistemas de irrigação localizada, realizados por RIBEIRO et al., (2005), os autores encontraram valores com maiores médias de pH entre 7,5 e 7,3, respectivamente, que indicam risco moderado de entupimento, mas Nakayama e Bucks (1986) o risco de entupimento > 7 pH. Na RESOLUÇÃO CONAMA no 396 o valor permitido para ser lançado é nos valores de 6,0 a 9,0.

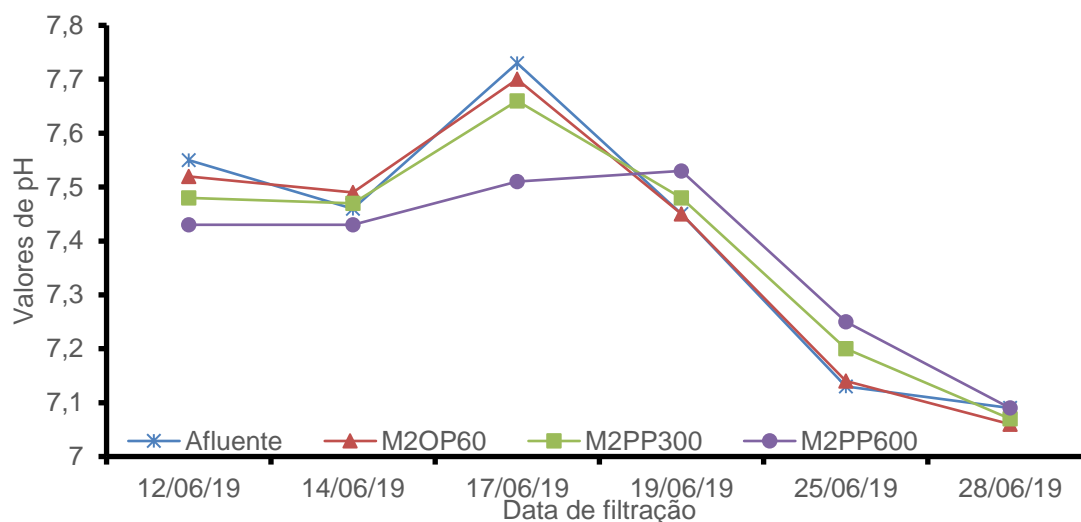
O pH não foi influenciado de maneira importante pelos sistema de filtragem proposto, mantendo valores no afluente e efluente praticamente estáveis, embora levemente superior em valor absoluto no afluente dos SZR. No entanto, observa-se que houve redução em ao longo dos dias, possivelmente devido a variação da qualidade do esgoto bruto derivado à ETE, com valores de cerca de 7,7 em 13/05/19 para 7,5 em 7/06/19 no afluente (Figura 25).



	Afluyente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	7,531	7,481	7,496	7,471
Desvio Padrão	0,078	0,107	0,103	0,109
CV (%)	1,03	1,43	1,37	1,46

Figura 25. pH do afluyente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

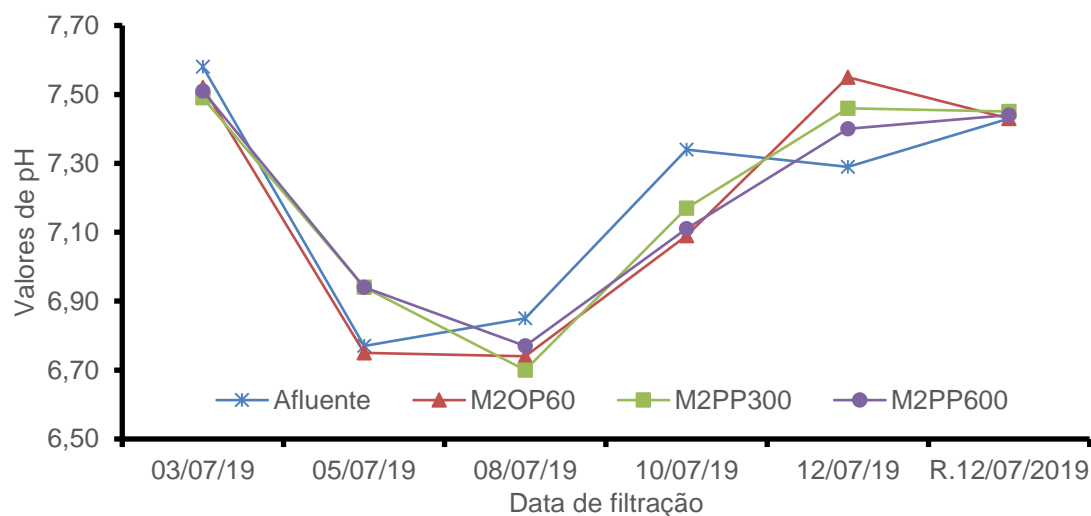
Aumentando para duas camadas de MSNT antes e duas depois da camada de carvão ativado, observou-se que todo os valores de pH do afluyente oriundo do SZR e do efluente do sistema de filtragem não apresentaram variações ao longo das datas de análise (Figura 26), sendo que a MSNT M2PP600 com 0,012 m de espessura houveram menores valores nas três primeira datas de análise (Figura 26). O valor de pH após 17/06/19 reduziu tanto no afluyente de origem do SZR como no efluente do sistema de filtragem, iniciando em torno de 7,6 e terminando em 7,1, que se deve a redução na geração de esgoto no refeitório da FAL em função de coincidir com o término do 1º semestre letivo de 2019.



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	7,40	7,39	7,39	7,37
Desvio Padrão	0,25	0,24	0,22	0,17
CV (%)	3,34	3,30	2,93	2,31

FIGURA 26. pH do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Quando do uso de duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado, os valores de pH do afluente oriundo do TS e do efluente do sistema de filtragem não apresentaram variações das medias aritméticas importantes ao longo das datas de análise, apenas oscilações em função da variação da composição do esgoto bruto (Figura 27).



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Média	7,21	7,18	7,20	7,19
Desvio Padrão	0,326	0,375	0,326	0,301
CV (%)	4,52	5,22	4,53	4,19

FIGURA 27. pH do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

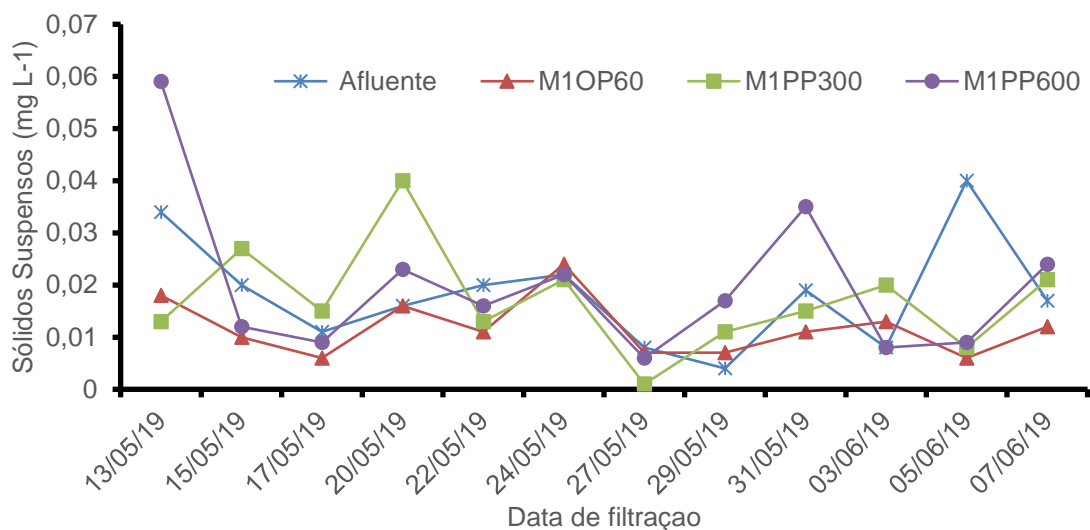
Sólidos suspensos totais (SST).

Os SST representam o grau de mineralização da matéria orgânica e tem uma relação com a turbidez. A turbidez e os sólidos suspensos fornecem indicações sobre o teor de partículas e colóides que podem, na presença de detergentes, solidificar-se e comprometer a eficiência do tratamento ou causar o entupimento das tubulações (SARNAGLIA, 2014).

A remoção de Sólidos suspensos totais (SST) foram instáveis nos filtros, com CV está acima dos 20% e das medias aritméticas dos filtros contra o afluente. A maior concentração de SST foi $0,0196 \text{ mg L}^{-1}$ na MSNT M1PP600 com espessura de 0,006 m. Porém, observa-se leve tendência de menores valores de SST no efluente utilizando espessura da MSNT M1POP60 de 0,001 m (Figura 28).

Os SST representam o grau de mineralização da matéria orgânica e tem uma relação com a turbidez. A turbidez e os sólidos suspensos fornecem indicações sobre o teor de partículas e colóides que podem, na presença de detergentes, solidificar-se e comprometer a eficiência do tratamento ou causar o entupimento das tubulações (SARNAGLIA, 2014).

Urashima & Vidal (1999), quando se utiliza um geotêxtil não tecido com sentido de fluxo único as mantas reterá as partículas, ou seja, as primeiras partículas finas atravessam a manta no início do processo, porém gradualmente vai ocorrendo a formação do pré-filtro, que acontece devido a dois mecanismos: formação reticulada em arco e formação reticulada em abóboda.



	Afluente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	0,0184	0,0117	0,0167	0,0196
Desvio Padrão	0,011	0,005	0,010	0,015
CV (%)	57,21	46,30	59,32	75,94

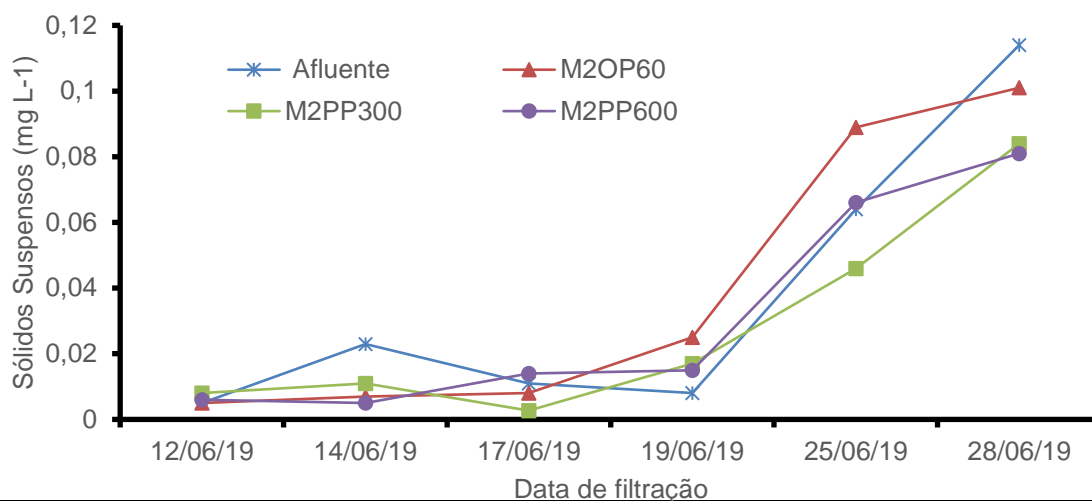
FIGURA 28. Sólidos Suspensos totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1OP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Utilizando duas camadas de MSNT antes e duas depois da camada de carvão ativado, os valores de SST do afluente oriundo do TS e do efluente do sistema de filtragem se elevaram ao longo das datas de análise, mas deve-se em função da variação da composição do esgoto bruto (Figura 29), ou seja, não houve diferença entre as medias aritméticas das MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600.

A filtragem EET dos TS para a remoção de SST (Figura 30), apresentou média no efluente de $0,096 \text{ mg L}^{-1}$ utilizando MSNT M2PP600 com espessura de 0,012 m, seguido $0,100 \text{ mg L}^{-1}$ no uso de MSNT com espessura de 0,002 m M2OP60 e 0,006 m M2PP300. Na data de 12/7/19 foi realizada a filtragem e após uma retrolavagem, observando que houve redução dos SST nas três MSNT, assim, observa-se que após saturação por impurezas o sistema de filtragem tende a liberar impurezas em quantidade maior em relação ao filtro limpo (Figura 30).

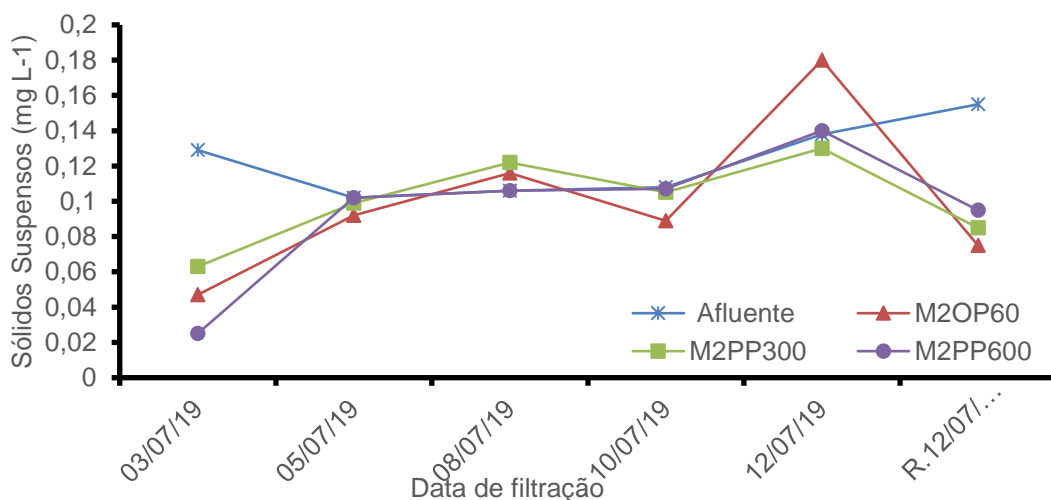
Os problemas apresentados no sistema de filtragem dos filtros foram ao desprendimento de carvão ativado com as partículas orgânicas e inorgânicas absorvidas e também das partículas mais finas retidas da MSNT, mas os valores dos efluentes tratados não atingem os 500 mg/L máximos

permitidos na Resolução CONAMA N° 357/2005 e tampouco o intervalo usual para irrigação de 2,000 mg L⁻¹ e entupimento de emissores >50 mg L⁻¹, Nakayama e Bucks (1986).



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	0,0375	0,0392	0,0281	0,0312
Desvio Padrão	0,043	0,044	0,031	0,033
CV (%)	115,58	112,35	111,45	107,10

FIGURA 29. Sólidos Suspensos totais do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	0,123	0,100	0,101	0,096
Desvio Padrão	0,021	0,045	0,025	0,038
CV (%)	17,2	45,4	24,3	39,7

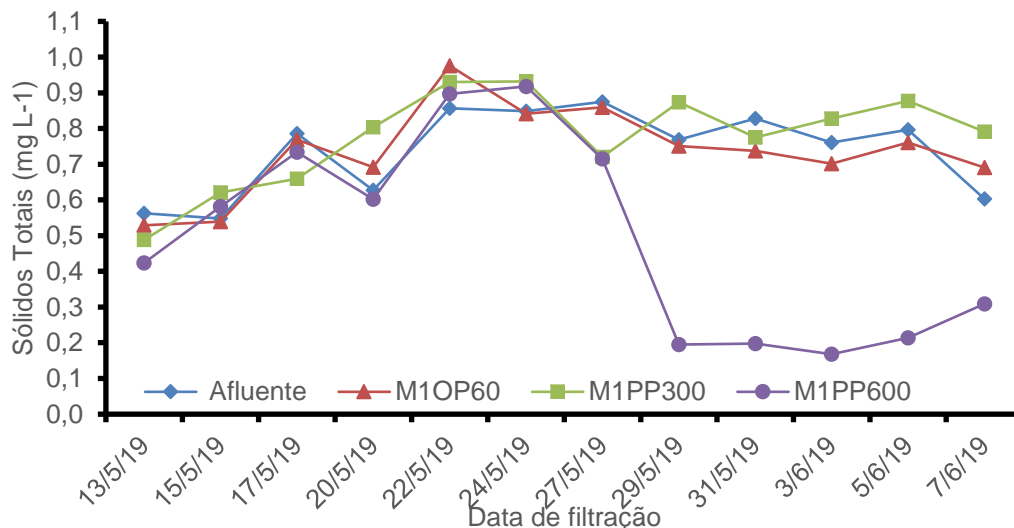
FIGURA 30. Sólidos Suspensos totais do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Sólidos totais (ST)

Os ST são todas as substâncias que permaneçam após a total secagem de um determinado volume de amostra e, é um parâmetro importante nos processos de filtragem no tratamento de efluentes, porque podem interferir nos processos de colmatação nos leitos. O filtro de areia é uma das tecnologias mais comuns de tratamento de águas cinza (Allen, Christian-Smith & Palaniappan, 2010).

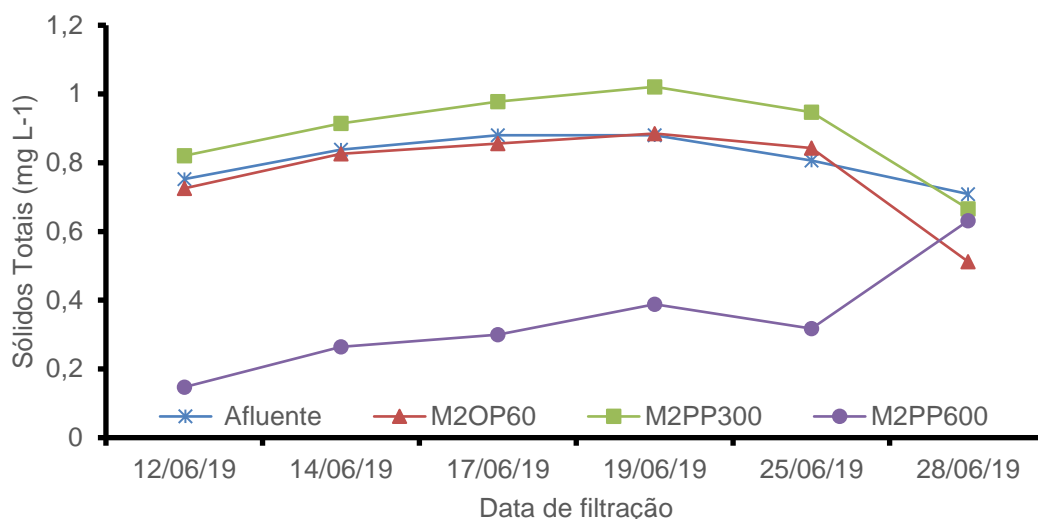
Os sólidos totais é um parâmetro importante nos processos de filtragem no tratamento de efluentes, porque podem interferir nos processos de colmatação nos leitos. Usando uma camada de MSNT antes e uma depois CarAt, o comportamento da remoção de ST foram instáveis nos filtros com MSNT de espessura de 0,001 M1OP60 e 0,003 m M1PP300. A média de remoção foi maior no filtro com MSNT 1PP600 de 0,006 m de espessura, sendo significativamente maior nas últimas seis datas de análise (Figura 31).

O aumento para duas camadas de MSNT antes e depois da camada de CarAt (Figura 32), apresentou maior concentrações de ST, 0,891 mg L⁻¹ (M2PP300), contra 0,811 mg L⁻¹ de afluente. O filtro 3 da M2PP600 foi melhor a remoção de ST. O aumento de concentrações de ST foi pelo desprendimento de partículas de carvão ativado e partículas orgânicas e inorgânicas obsorvidas e das mantas sintéticas não tecidas.



	Afluente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	0,739	0,737	0,775	0,496
Desvio Padrão	0,120	0,125	0,133	0,281
CV (%)	16,22	16,98	17,20	56,63

FIGURA 31. Sólidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT c antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

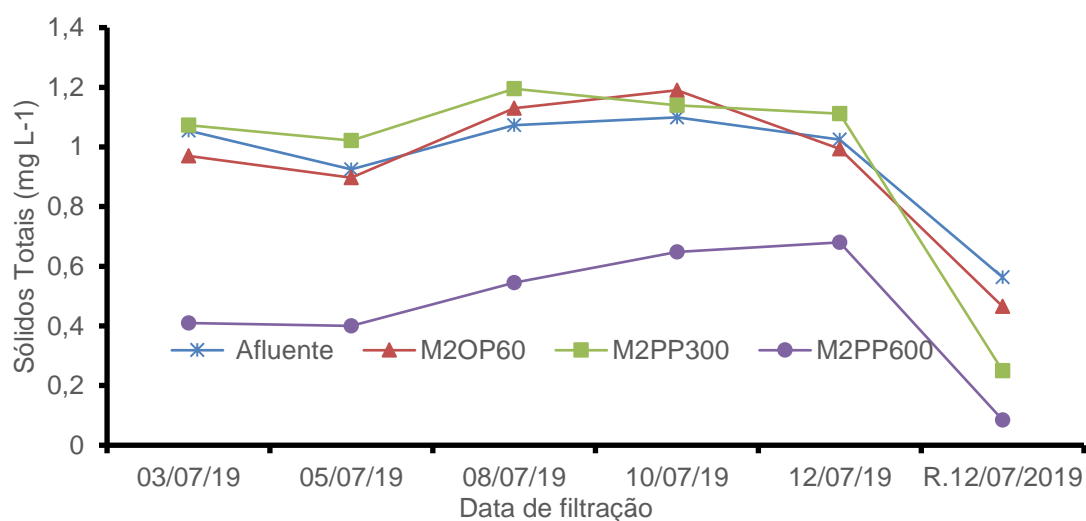


	Afluentes	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	0,811	0,775	0,891	0,341
Desvio Padrão	0,070	0,140	0,129	0,163
CV (%)	8,57	18,03	14,53	47,65

FIGURA 32. Sólidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

O uso de EET vindo dos TS (Figura 33), foram instáveis para MSNT com espessuras de 0,002 m M2POP60 e 0,006 m M2PP300, pelo desprendimentos das partículas do carvão ativado e das partículas absorvidas e das mantas sintéticas não tecidas. O retrolavagem feito nos filtros reduziu as concentrações de ST no efluentes tratados. Durante as 5 datas de medidas o filtro com espessura de 0,012 m M2PP600 foi mais eficiente na remoção de sólidos totais. Após a retrolavagem, reduziu-se a concentração de ST no efluente em relação às análises antes da retrolavagem.

O uso de afluente após dos tanques sépticos, apresentaram partículas grosseiras que foram retidas na camada de 0,60 m e as mais finas pelas manta sintética não tecidas M2PP600. Martin & Lisboa (2016), a eficiência do filtro de areia varia de acordo com a taxa de aplicação, com a qualidade do efluente, com a espessura e granulometria das camadas filtrante, etc.



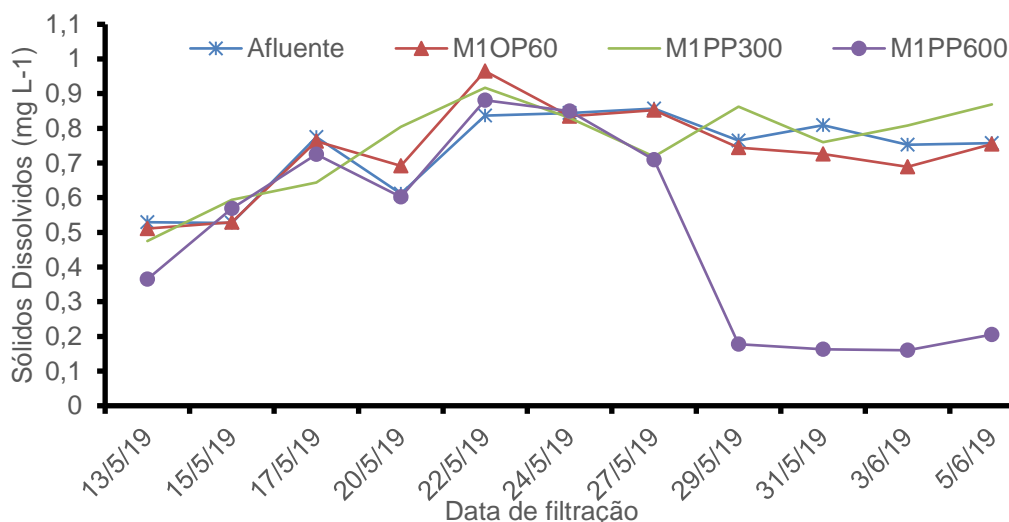
	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	0,957	0,941	0,965	0,461
Desvio Padrão	0,202	0,257	0,355	0,218
CV (%)	21,12	27,30	36,81	47,26

FIGURA 33. Sólidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Sólidos dissolvidos totais (SDT).

Segundo RIBEIRO & PATERNIANI (2013), a determinação dos valores de sólidos dissolvidos na água, é uma razão de proporcionalidade entre os valores de condutividade elétrica medidos relativos a este parâmetro. Por tanto, os valores da condutividade elétrica indicaram que o efluente tratado para a irrigação tem salinidade muito baixa (índices de não entupimentos), de modo que ocorreram poucas variações ao longo de todas as etapas.

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) tiveram correlação com a CE pela presença de sais e metais no efluente. Na Figura 34, os filtros com M1OP60 e M1PP300 foram instáveis na remoção de SDT, onde observou-se a maior remoção com média no efluente de $0,456 \text{ mg L}^{-1}$ no M1PP600 contra $0,711 \text{ mg L}^{-1}$ no afluente.



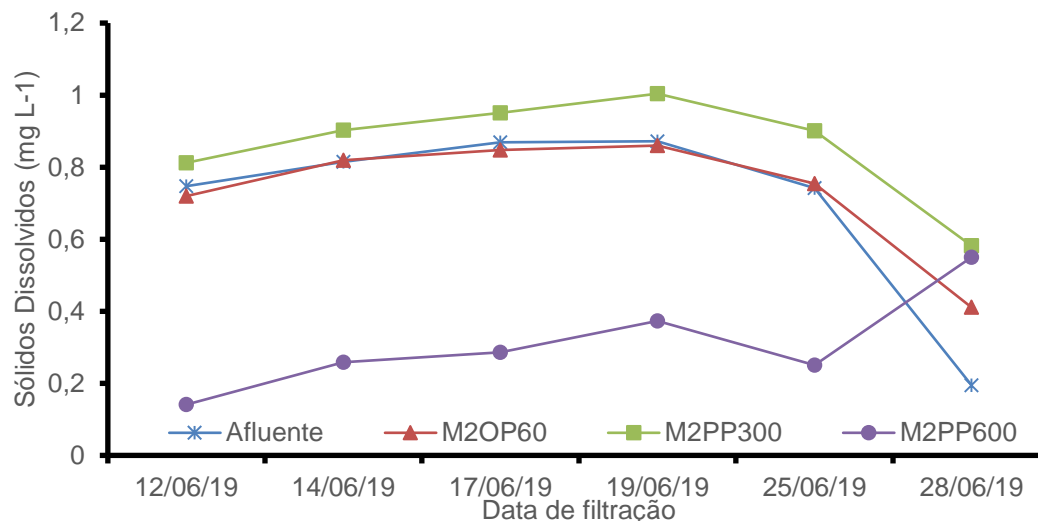
	Afluente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	0,711	0,719	0,721	0,456
Desvio Padrão	0,139	0,135	0,169	0,299
CV (%)	19,55	18,71	23,44	65,65

FIGURA 34. Sólidos Dissolvidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Na Figura 35 e 36, se usou duas camadas de MSNT M2PP600 antes e depois do CarAt houve maior redução de de SDT na maioria das datas, seja com o uso de afluente vindo do TS e do SZR. Acredita-se que o aumento do número de camadas de MSNT pode melhorar a remoção de alguns atributos no efluente, especialmente os sólidos.

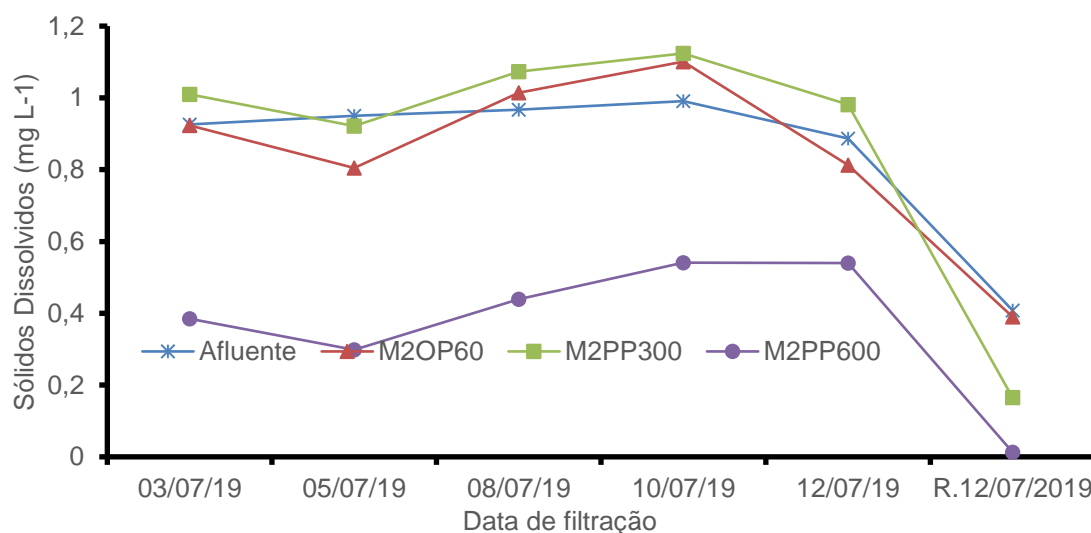
O comportamento dos filtros F1M2POP60, F2M2PP300 e CarAt para a retenção e adsorção foram maior ao afluente, devido ao desprendimento de partículas do carvão ativado e das partículas

adsorvidas e das retidas pelas mantas sintéticas não tecidas. Sim embargo, os valores de sólidos dissolvidos são bastante baixos, visto que para um risco médio de entupimento dos gotejadores este parâmetro deve ser maior que 500 mg L^{-1} (Nakayama & Bucks, 1986). Sendo este o grande motivo pela reduzida influencia do sistema de filtragem na maioria dos atributos avaliados.



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	0,707	0,735	0,859	0,310
Desvio Padrão	0,257	0,168	0,150	0,139
CV (%)	36,36	22,83	17,43	44,88

Figura 35. Sólidos Dissolvidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	0,855	0,841	0,879	0,369
Desvio Padrão	0,222	0,249	0,357	0,198
CV (%)	11,993	29,59	40,59	53,57

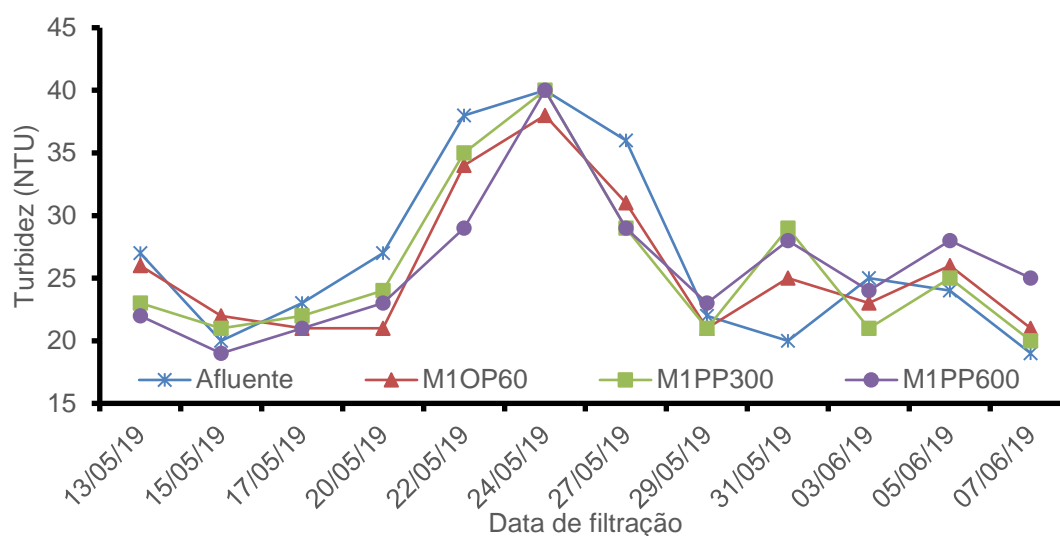
FIGURA 36. Sólidos Dissolvidos Totais do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Turbidez.

Observa-se pelas Figuras 37, 38 e 39, que a turbidez estão abaixo do valor máximo permitido de 100 NTU da classe II da Resolução No. 357, de 17 de março de 2005, demonstrando elevada eficiência da ETE/FAL/UnB.

A turbidez é utilizada nas ETAs para o controle e o monitoramento operacional da remoção de material particulado, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc. Os efluentes sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas, um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração.

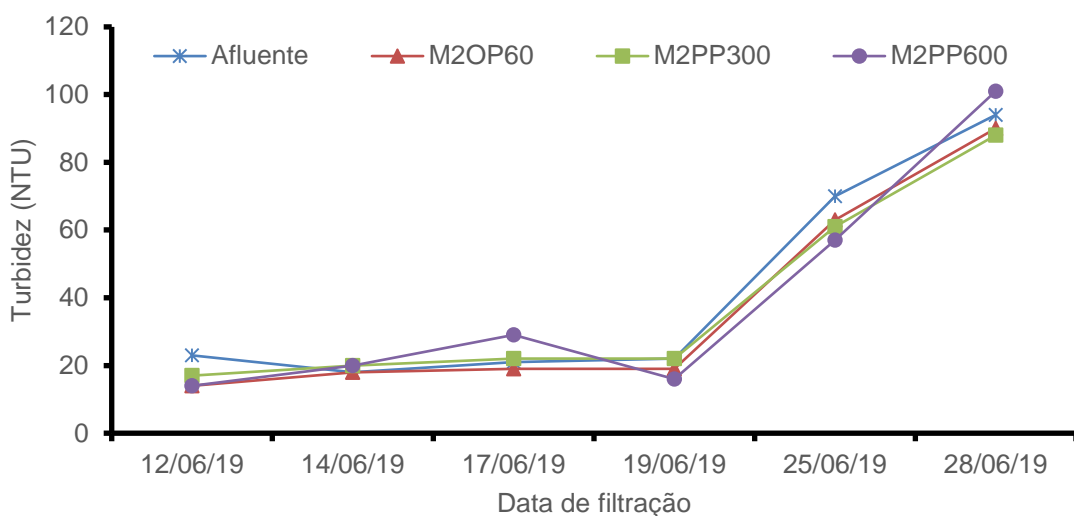
O comportamento da MSNT e carvão ativado nos filtros foram instáveis na remoção das partículas inorgânicas. As médias de turbidez utilizando os três tipos de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 foram de 26 NTU no efluente contra 27 NTU do afluente (Figura 37).



	Afluente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	27	26	26	26
Desvio Padrão	7,30	5,71	6,29	5,52
CV (%)	27,29	22,16	24,36	21,29

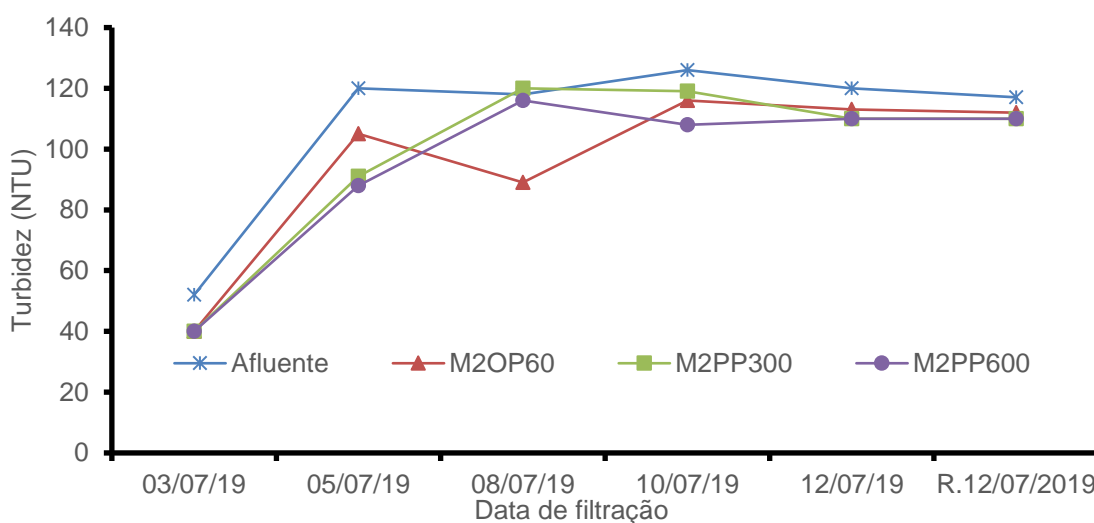
Figura 37. Valores de Turbidez do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Utilizando duas camadas de MSNT antes e depois da camada de carvão ativado, tanto com o uso de afluente vindo do TS como do SZR, foram influenciados pelo sistema de filtragem, sendo que no uso de afluente do SZR foi de 41 NTU, no efluente o mínimo foi de 37 na M2OP60 (Figura 38), já com afluente do TS a turbidez foi de 108,8 NTU e o mínimo de 95,3 NTU no M2PP600 (Figura 39). A turbidez no afluente se deve a pequenas partículas, não sendo capazes de serem removidas pelo sistema proposto. Por tanto, segundo Urtiga & Ribeiro (2015), as substâncias presentes no esgoto desempenham função deletéria aos corpos de água, a saber: Diminuição do oxigênio dissolvido, provocando a morte de inúmeras espécies aquáticas; emanação de odores, bem como, aumento da turbidez da água.



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	41	37	38	40
Desvio Padrão	32,44	31,69	29,34	34,00
CV (%)	78,50	85,28	76,55	86,09

FIGURA 38. Valores de Turbidez do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.



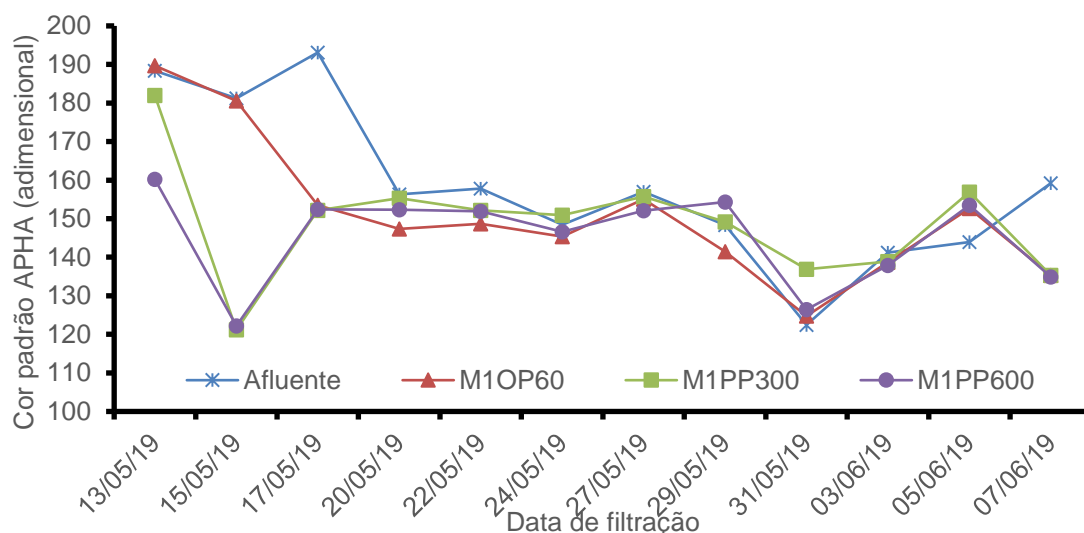
	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	108,8	95,8	98,3	95,3
Desvio Padrão	28,0	29,0	30,4	28,8
CV (%)	25,7	30,3	30,9	30,2

FIGURA 39. Valores de Turbidez do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Cor

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os coloides orgânicos pode-se mencionar os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Segundo Braga et al. (2002), a presença de cor aparente na água, mesmo tendo embutido no seu valor uma parcela da turbidez, está associada a presença de matéria orgânica e também estreita relação com a concentração de sólidos dissolvidos. Dantas et al. (2019), confirmo a associação de cor/turbidez com a redução dos sólidos onde houve uma eficiência de 62% de cor e Turbidez de 82%.

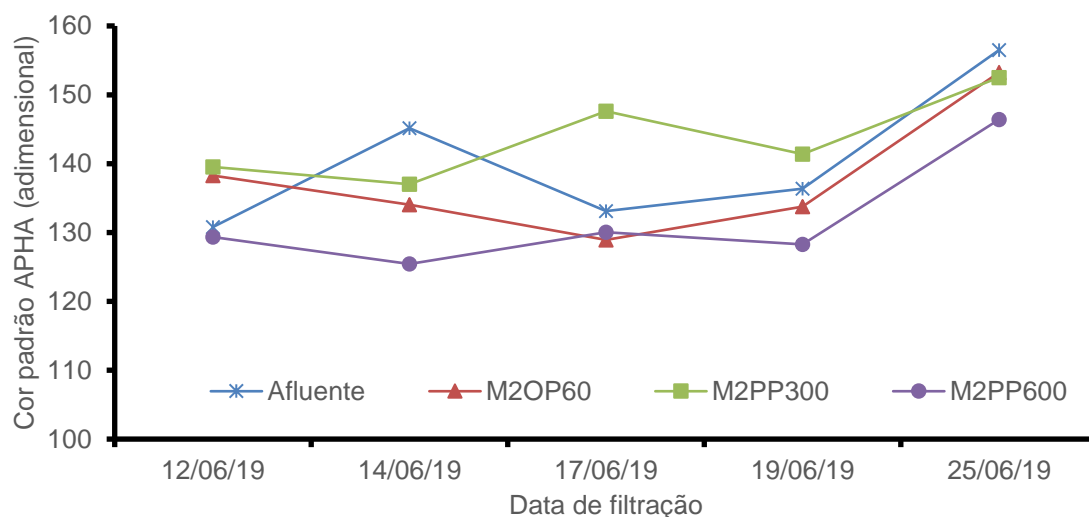
Os sólidos dissolvidos, turbidez apresentaram as mesmas correlações de instabilidade de funcionamentos dos leitos na remoção inorgânicos nos gráficos. Nas Figuras 40, 41 e 42 mostram pouca remoção de partículas coloidal orgânica e inorgânicas pelos filtros e não interferiu na mudança de colorimetria entre o afluente e o efluente. Utilizando uma camada de MSNT (Figura 40) observa-se que no afluente a cor foi de 158,1 com menor redução para 145,40 no F3M1PP600. Segundo Von Sperling (2014), a cor é o parâmetro físico responsável pela coloração na água sendo constituída principalmente pelos sólidos dissolvidos. A sua origem natural se deve à decomposição da matéria orgânica e a de origem antropogênica devido aos resíduos industriais e esgotos domésticos. Apesar de não representar risco direto à saúde, os consumidores podem questionar a sua confiabilidade, além disso, a cloração da água (responsável por remover a cor) pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos – ex: clorofórmio).



	Afluente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	158,10	151,09	148,87	145,39
Desvio Padrão	20,51	18,15	14,98	12,12
CV (%)	12,97	12,01	10,06	8,33

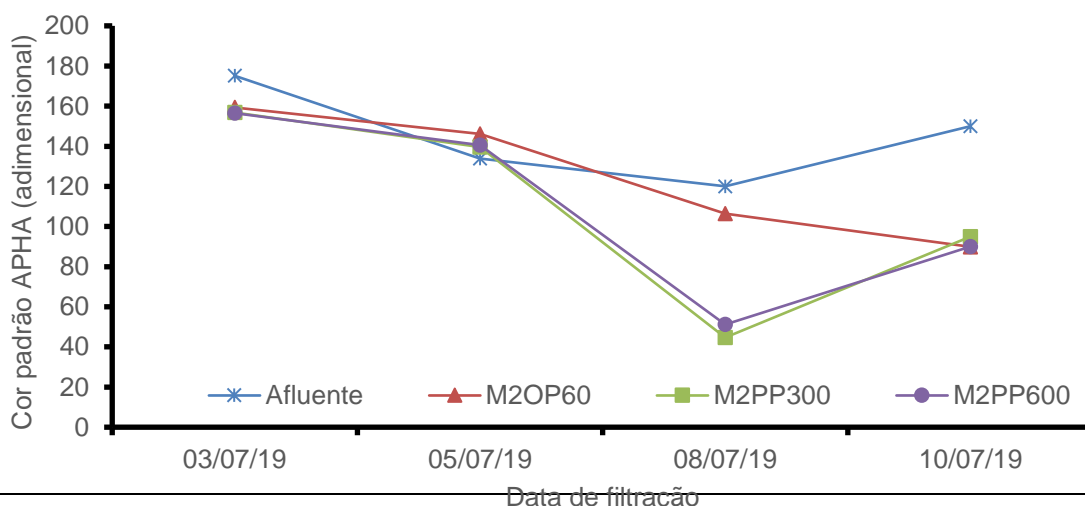
FIGURA 40. Valores de Cor padrão APHA (adimensional) do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

O resultado obtido no tratamento pelos filtros tem correlação com o uso do carvão ativado e areia aos resultados de Paterniani et al. (2011), onde as eficiências de remoção da cor aparente, pelas unidades do sistema de filtração, foram de 0,1%, 39,31% e 26,01%, respectivamente, no pré-filtro, no filtro lento com carvão e areia e no filtro lento somente com areia. Mas apresentaram maiores colometria do efluente com o afluente e foi devido ao desprendimento das partículas do carvão ativado e os poluentes retidos pela manta sintética não tecida e adsorvidos no carvão ativado.



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	141,89	140,38	146,36	134,70
Desvio Padrão	10,10	10,69	8,79	10,08
CV (%)	7,12	7,62	6,00	7,49

FIGURA 41. Valores de Cor padrão APHA (adimensional) do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.



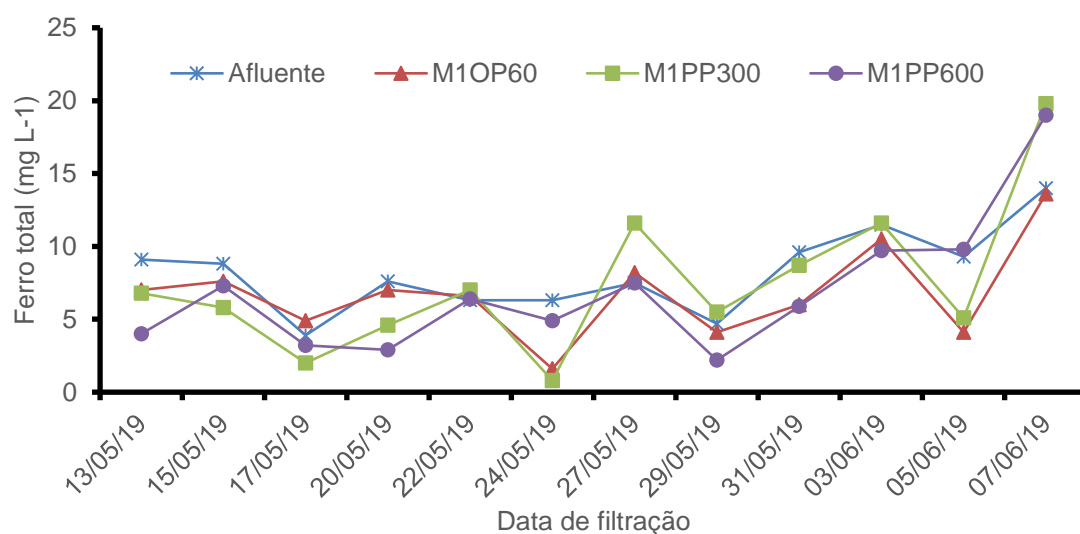
	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	144,77	125,45	109,04	109,54
Desvio Padrão	23,64	32,67	50,19	48,14
CV (%)	16,33	26,04	46,03	43,94

FIGURA 42. Valores de Cor padrão APHA (adimensional) com uma taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando efluentes, uma camada de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e areia de 0,60 m.

Ferro total

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água e caracterizam-se por apresentar cor elevada e turbidez baixa. Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens.

Na Figura 43, observa-se que usando F2M1PP300 houve maior concentração média de ferro, sendo de 7,44, seguido pelo F3M1PP600 6,90 e F1M1OP60 6,77 com uma camada de MSNT, menores aos verificados no afluente, ou seja, pequena redução, mas com ascilação entre as datas de análise.

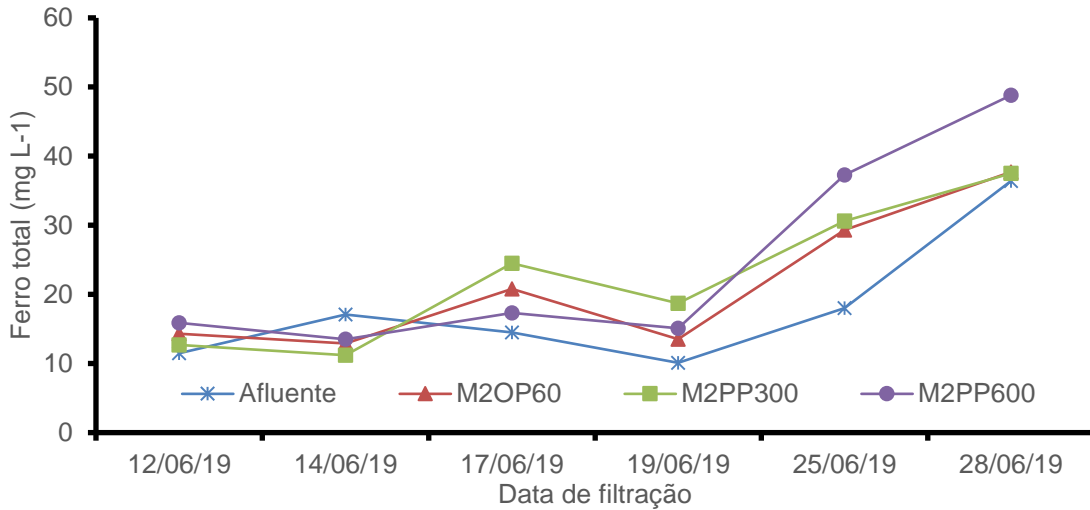


	Afluente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	8,22	6,77	7,44	6,90
Desvio Padrão	2,82	3,14	5,07	4,56
CV (%)	34,4	46,4	68,2	66,1

FIGURA 43. Valores de ferro total do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

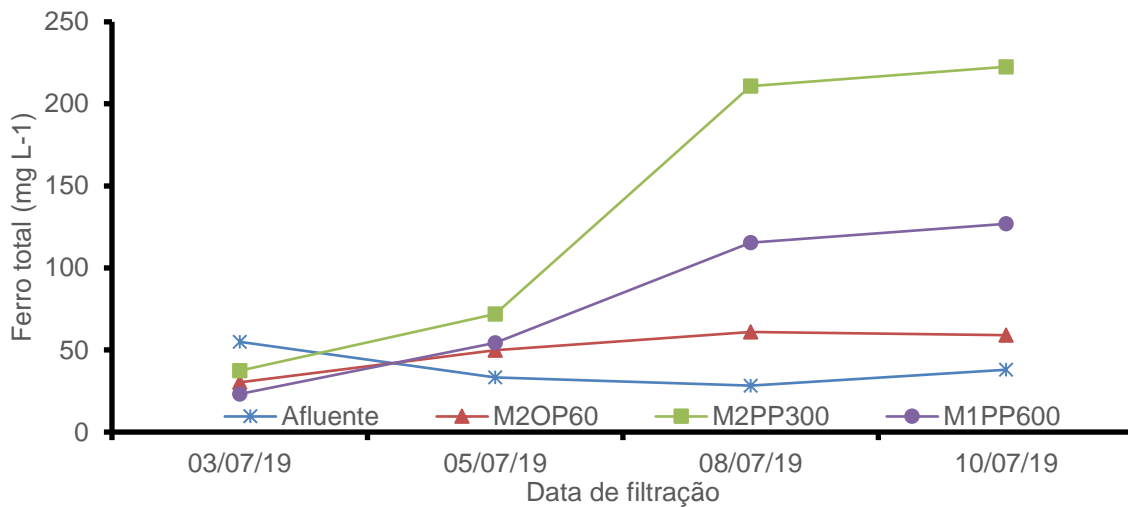
Utilizando duas camadas de MSNT antes e depois da camada de carvão ativado, observa-se elevação média no efluente em relação ao afluente, tanto utilizando afluente do SZR como do TS, sendo mais acentuado no último tipo de afluente, onde no afluente foi de $38,65 \text{ mg L}^{-1}$ e maior valor no efluente de $135,68 \text{ mg L}^{-1}$ no F2M2PP300.

O aumento das concentrações de Ferro no efluente na figura 44 e 45, foram pelo desprendimento de ferro adsorvido pelo carvão ativado e oxidação das porcas e ruelas usadas para o fixar do disco de alumínio com as barras roscáveis.



	Afluyente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	17,9	21,4	22,5	24,7
Desvio Padrão	9,55	10,13	10,32	14,76
CV (%)	53,3	47,3	45,8	59,9

FIGURA 44. Valores de ferro total do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.



	Afluyente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	38,65	50,05	135,68	79,95
Desvio Padrão	11,60	14,02	94,74	49,46
CV (%)	333,27	356,87	143,21	161,64

FIGURA 45. Valores de ferro total do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Nitrogênio amoniaco (NH_4)

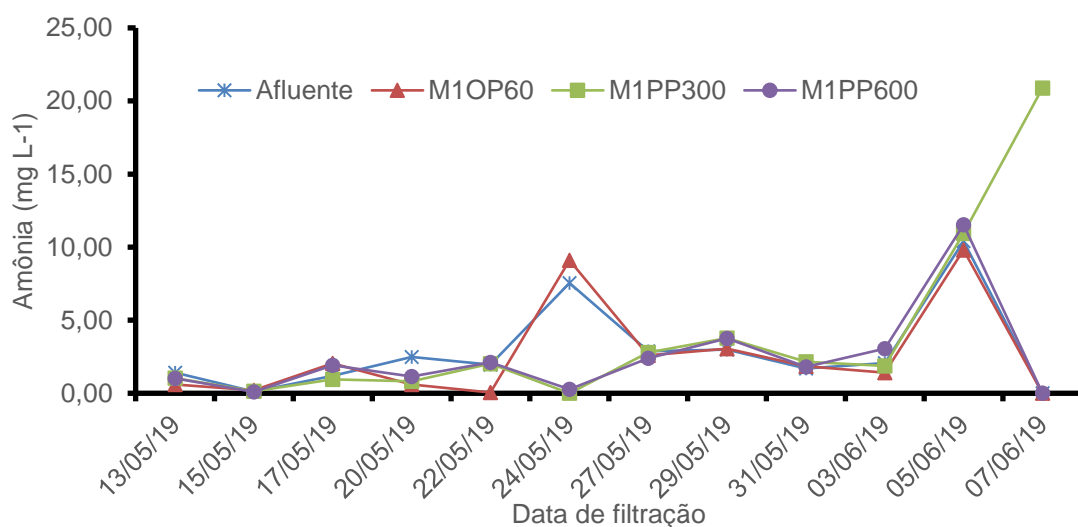
Os efluentes sanitários são em geral a principal fonte desse componente, lançando nas águas nitrogênio orgânico pela presença de proteínas e nitrogênio amoniaco devido à hidrólise sofrida pela ureia na água.

Segundo, Fernandes (2011) em uma análise de água os compostos de nitrogênio são registrados como: nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniaco, nitrogênio, nitrato, nitrito. A presença de compostos de nitrogênio na água é usualmente admitida como indicação da presença de matéria orgânica. A amônia é a mais reduzida forma de nitrogênio orgânico em água e inclui NH_3 (amônia) e NH_4^+ (íon amônio) dissolvidos.

Algumas amostras nos efluentes não apresentaram nitrogênio amoniaco devido ao processo de nitrificação processo biológico de remoção de nitrogênio, em que amônia é oxidada a nitrito e o nitrato é oxidado a nitrato. Nesse sentido, Jeschke et al. (2013) afirmam que o acúmulo de amônia observada em ambientes naturais ou sistemas de tratamento se deve à inibição do processo causada por valores ácidos de pH no meio de reação.

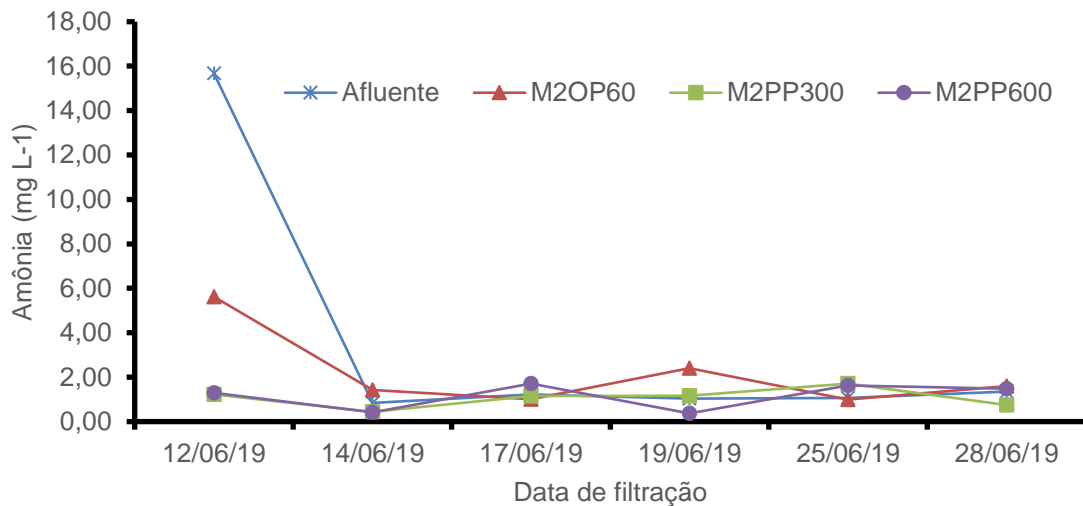
As concentrações de amônia (Figuras 46, 47 e 48) dos diferentes efluentes filtrados estão de acordo com o máximo permitido de concentrações na Resolução nº 370 CONAMA de $3,7 \text{ mg L}^{-1}$ para $\text{pH} < 7,5$ e para água de irrigação 5 mg L^{-1} .

Com o aumento para duas camadas de MSNT (Figura 58 e 59), as médias de amônia nos efluentes filtrados diminuíram, que deve-se à adsorção da molécula do amônio no carvão ativado.



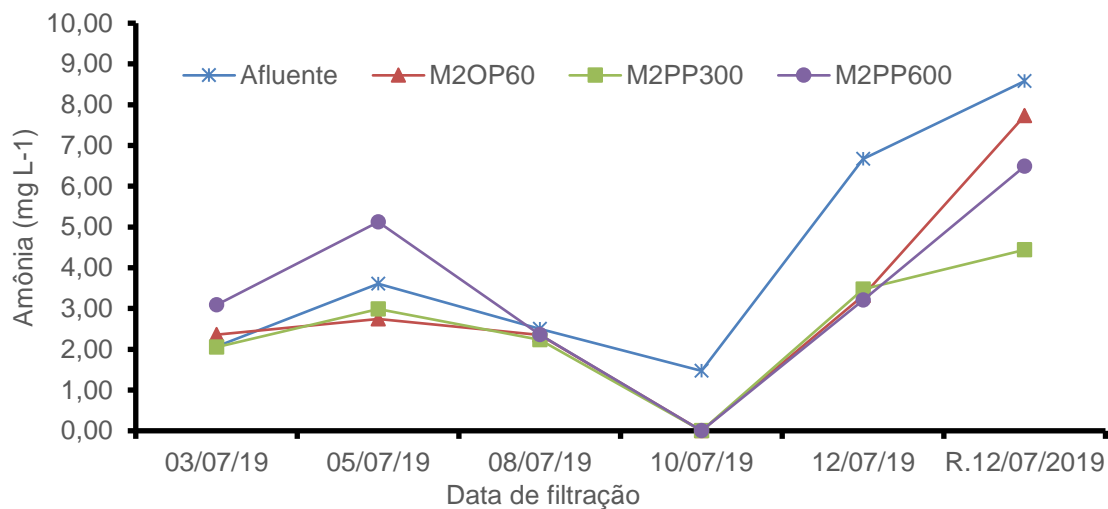
	Afluente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	2,90	2,61	3,95	2,42
Desvio Padrão	3,05	3,35	6,07	3,10
CV (%)	105,3	128,5	153,7	127,9

FIGURA 46. Valores de Nitrogênio amoniaco do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	3,53	2,17	1,07	1,15
Desvio Padrão	5,95	1,77	0,44	0,61
CV (%)	168,6	81,2	40,8	52,6

FIGURA 47. Valores de nitrogênio amoniaco do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.



	Efluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	4,15	3,08	2,53	3,38
Desvio Padrão	2,846	2,543	1,514	2,248
CV (%)	68,58	9,42	9,17	8,13

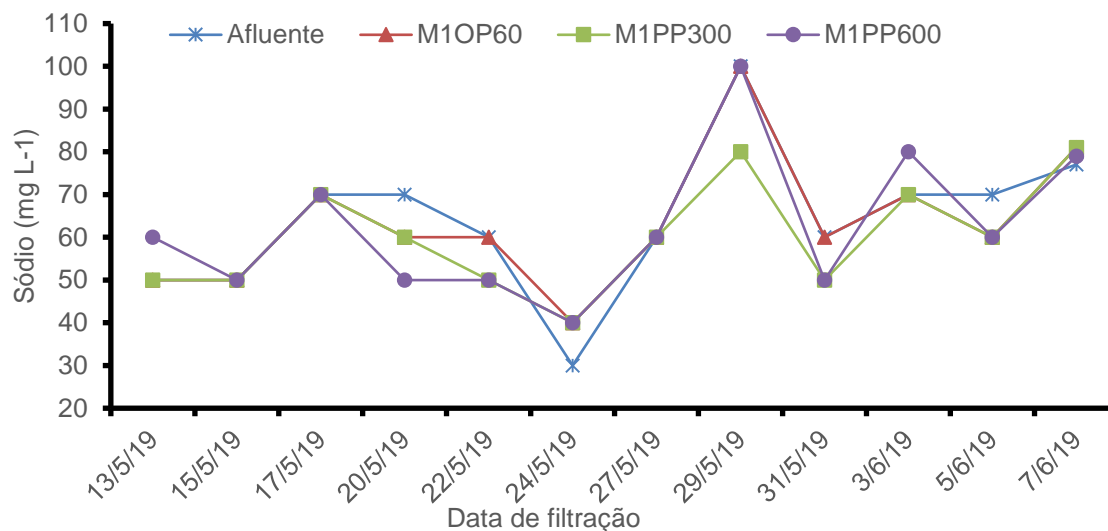
FIGURA 48. Valores de Nitrogênio amoniaco do afluente e do efluente na taxa de filtração $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

Sódio (Na⁺)

Todas águas naturais contêm alguma quantidade de sódio já que seus sais são na forma de sais altamente solúveis em água, podendo ser considerado um dos elementos mais abundantes na Terra. Encontra-se na forma iônica (Na⁺), e na matéria das plantas e animais, já que é um elemento essencial para os organismos vivos e o aumento dos níveis na superfície da água podem provir de esgotos, efluentes industriais e uso de sais em rodovias para controlar neve e gelo.

O aumento de sódio nos efluentes, deveu-se ao desprendimento de partículas de carvão ativado e da moléculas de sódio adsorvidas nos poros do carvão ativado. Segundo Hoehne et al. (2015), tratamento de amostras contendo metais e corante com carvão ativado, após os tratamentos, houve aumento na concentração de Na. Acredita-se que pode ser contaminação no carvão ou a saturação do carvão ativado.

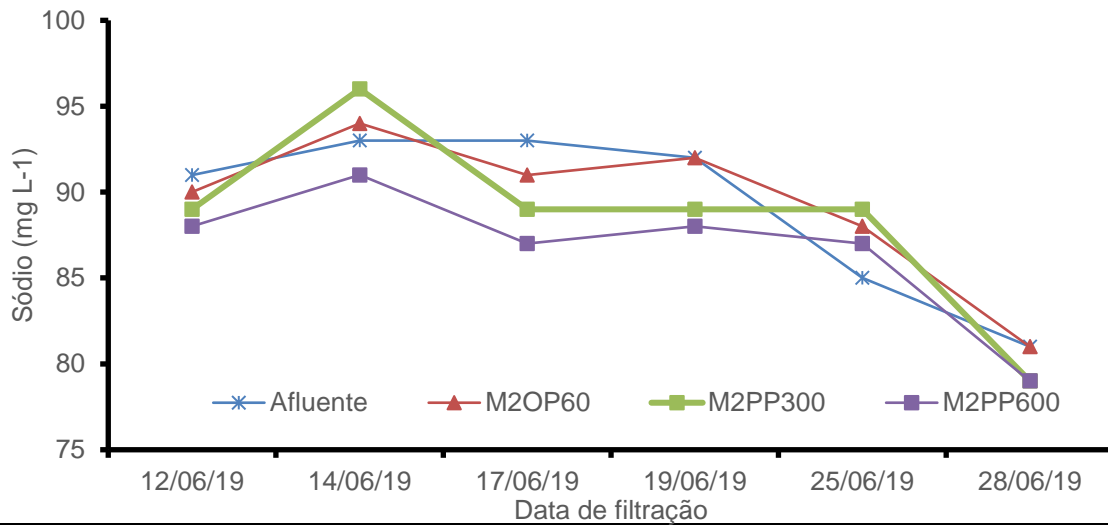
Observa-se que os valores das médias aritméticas de sódio, em todos os tratamentos forma levemente superiores no afluente em relação ao efluente, sendo mais evidente quando do uso de afluente do TS.



	Afluente	F1M1OP60	F2M1PP300	F3M1PP600
Media	64	63	60	62
Desvio Padrão	17,07	15,67	12,94	17,03
CV (%)	26,7	24,7	21,5	27,3

FIGURA 49. Teores de Sódio do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com uma camada de MSNT M1POP60, M1PP300 e M1PP600 antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

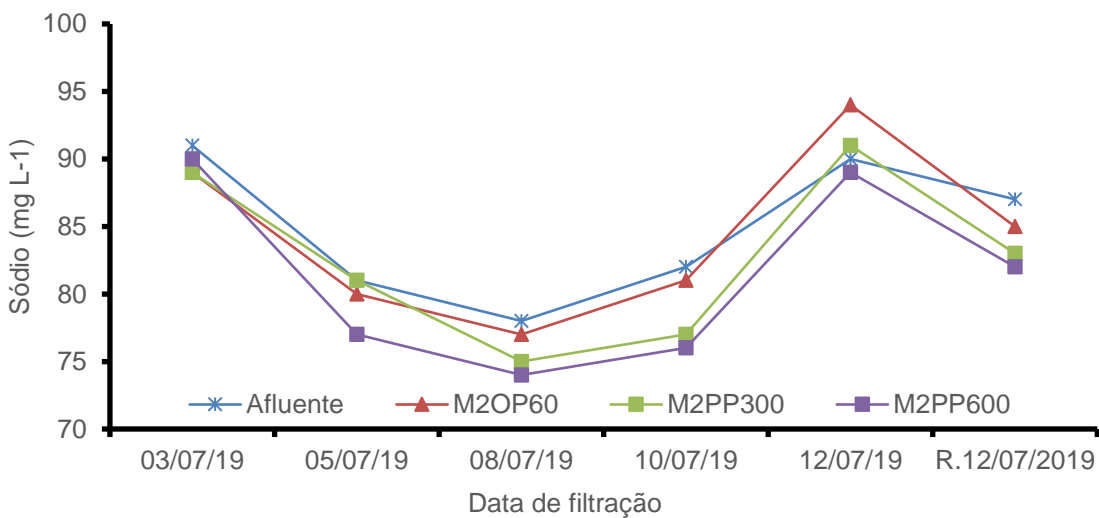
O aumento de espessura das camadas da MSNT e o uso do carvão ativado não apresentaram adsorção de sódios, 87 mg L⁻¹ F3M2PP600, seguindo pelos 89 mg L⁻¹ F2M2PP300 contra 89 mg L⁻¹ F1M2OP60 do efluente (Figura 50).



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	89	89	89	87
Desvio Padrão	5,0	4,5	5,4	4,0
CV (%)	5,6	5,1	6,1	4,7

FIGURA 50. Teores de Sódio do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os SZR, com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

O comportamento do carvão ativado e MSNT na adsorção do sódio foram aceitáveis em função à concentração do efluente como apresenta-se na Figura 51, 81 mg L⁻¹ F3M2PP600, seguindo 83 mg L⁻¹ F2M2PP300 e 84 mg L⁻¹ F1M2OP60, contra 85 mg L⁻¹ do afluente.



	Afluente	F1M2OP60	F2M2PP300	F3M2PP600
Media	85	84	83	81
Desvio Padrão	5,27	6,31	6,38	6,86
CV (%)	6,2	7,5	7,7	8,4

FIGURA 51. Teores de Sódio e do afluente e do efluente na taxa de filtração 60 m³ m⁻² h⁻¹ utilizando EET após os tanques sépticos (TS), com duas camadas de MSNT M2POP60, M2PP300 e M2PP600 antes e duas depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m.

7. CONCLUSÕES

Os filtros pressurizados não promoveram significativamente a remoção das partículas finas presentes no efluentes tratados em sistemas de zonas de raízes.

A CE do afluente de EET após os SZR com uma camada de MSNT antes e uma depois da camada de carvão ativado de 0,30 m e camada de areia de 0,60 m foi maior em relação ao efluente em todas as datas de análise.

O uso de uma ou duas camadas de MSNT com espessura de 0,006 m instaladas antes e depois da camada de areia foi eficiente na remoção de sólidos totais e sólidos totais dissolvidos, já as de espessura 0,001 m e de 0,003 m não influenciaram na remoção de sólidos totais.

A turbidez e a cor foram levemente influenciados pelo sistema de filtração.

O carvão ativado comercial de casca coco apresentou de desprendimento de poeira que afetou a operação do filtro pressurizado.

8. REFERÊNCIAS

- ALBINO, C. U. H. E. **Avaliação do desempenho de mantas sintéticas não tecidas no tratamento de água para consumo humano visando utilização em comunidades rurais - ensaio em escala piloto**. Belo Horizonte. Dissertação para obtenção de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2013.
- ALLEN, L., CHRISTIAN-SMITH, J., & PALANIAPPAN, M. (2010). **Overview of greywater reuse: The potential of greywater systems to aid sustainable water management**. Informally published manuscript, Pacific Institute, Oakland, California. 2010. Disponível em: http://www.pacinst.org/wpcontent/uploads/sites/21/2013/02/greywater_overview3.pdf
- ALMEIDA, R. A.; PITALUGA, D. P. S.; REIS R. P. **Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico**. Revista Biociências, UNITAU. V.16, 2010.
- AL-MOUND, A.I. **Significance of energy losses due to emitter connections in trickle irrigation lines**. Journal of Agriculture Engineering Research, Silsoe, v.60, n.1, p.1-5, 1995.
- ALVES, P.R.V.; PORTO, R. **Coeficiente geométrico para estimativa da perda de carga localizada em linhas laterais de irrigação por gotejamento**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.22, n.1, p.51-59, 2002.
- ANSARI, A. A.; GILL, R.; GILL, S. S.; LANZA, G. R. Phytoremediation. **Management of Environmental Contaminants**, Volume 4. Suíça, Springer, 2016.
- APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21ª ed., Washington D.C., USA, American Public Health Association, 2005.
- APHA. HunterLab. **Measuring the Water Whiteness of Liquids Using the APHA Index**. p. 2 – 4, 2012.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991.
- BAETTKER ELLEN CAROLINE, CARVALHO QUERNE KARINA, FREIRE BENTES FLAVIO, PASSIG HERMES FERNANDO, MORAIS LOPES JOSMARIA. **Materiais alternativos como meio suporte de filtros anaeróbios para tratamento de esgoto sanitário sintético**. Eng Sanit Ambient | v.23 n.6 | nov/dez 2018 | 1091-1102
- BAGARELO, V.; FERRO, V.; PROVENZANO, G.; PUMO, D. **Evaluating pressure losses in dripirrigation lines**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.123, n.1, p.1-7, 1997.
- BERNARDO D. L. SADO GAL P. L. P. **Seleção de tecnologia de tratamento de água**. Vol. 1, Editora LDiBe, 2008. Pag, 29 – 30.
- BRASIL. ABNT. **Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. NBR 13969. ABNT. Rio de Janeiro. 60 p. 1997.
- BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 357** de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.
- BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n.430** de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, 2011.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, Senado Federal, 1988. BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 9 de janeiro de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 15 nov. 2014.

BRASIL. O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – **SNIS, Diagnóstico da Prestação de Serviços de Água e de Esgotos, março de 2018.**

BRITO, G. A.; CALDEIRA, T. M. OVRUSKI, C. B. S.; CAVALCANTI, G. H. R.; SILVA, L. W.; AQUINO, S. F.; LIBÂNIO, M. **Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular.** 2015.

COSTA, M. L. CARINA; LODI, C. PAULO; BUENO S. BENEDITO. **Uso de ensaios no controle de qualidade de fabricação de geossintéticos.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 2, p. 158-169, 2008.

CABRAL, C. E. R.; VAZZOLER, H.; PEREIRA, L. W. **Emprego do carvão ativado para remoção de atrazina em água de abastecimento público.** 2013.

CARDOSO, G.G.G.; FRIZZONE, J.A. **Perda de carga em linhas laterais de microirrigação.** Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, Campinas, v.1, n.2, p.147-162, 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico. **Apêndice E - Significado Ambiental Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem.** São Paulo, p. 3-5; 14-16, 2016.

DANTAS PAULO RICARDO, LEONARDO CHAVE MARIA TATIANE, MONTEIRO CAVALCANTE DOUGLAS, GOMES DE ALBUQUERQUE WALKER, PEREIRA DE MEDEIRO WEVERTON, SILVA BEZERRA ANDREZA MAIARA. **Reúso de água cinza tratada em sistema de alagado construído com resíduos da construção civil.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. v. 14, n.1, jan.-mar, p.62-68, 2019.

DEUS, F. P. **Eficiência de remoção nos processos de filtração e retrolavagem em filtros de areia pressurizados.** Campinas. Tese para o título de doutorado em Engenharia Agrícola, na área de concentração de água e solo. (2014).

DEUS, F. P.; TESTEZLAF, R.; MESQUITA, M. **Eficiência de filtros de areia pressurizados na remoção de diferentes tamanhos de partículas da água de irrigação.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.50, n.10, p.939-948, out. 2015.

DUARTE S. ANAMARIA, AIROLDI S. ROGÉRIO P., FOLEGATTI MARCOS V., BOTREL TARLEI A. & SOARES TALES M. **Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.12, n.3, p.302–310, 2008

DUARTE, O. M.; SILVA, F. P., P. F.; NASCIMENTO, T. E. **Análise do desempenho de wetlands verticais descendentes para tratamento de esgoto domésticos,** 2018.

FANGMEIER, MICHELE; HOEHNE LUCÉLIA. **Avaliação de carvão ativado e de sílica como adsorventes para amostras com corantes e com sódio.** REVISTA DESTAQUES ACADÊMICOS, VOL. 4, N. 4, 2012 - CETEC/UNIVATES

FERNANDES MARTINS NÍCOLAS. **A utilização de miniestações de tratamento de esgoto em residências.** Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável Grupo verde de agricultura alternativa. v.6, n.4, p. 28 – 36 outubro/dezembro de 2011

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental.** São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

HERNANDEZ, J. F. G.; LOPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P. **Riego localizado.** 2. ed. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1997. 405 p.

HOEHNE, LUCÉLIA; LUCCA FRANCIELE, MOREIRA DO NASCIMENTO JOSEANE; GRAVE NATHÁLIA; STEVENS DÉBORA; MIRANDA ETHUR EDUARDO. **Uso do filtro com carvão ativado**

para tratamento de amostras contendo metais e corante. Revista destaques acadêmicos, vol. 7, n. 4, 2015 - cetec/univates.

IUPAC: União Internacional de Química Pura e Aplicada. **Reporting Physisoption data for gás/solid systems**, v. 54, p. 2201-2218, 1982.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design parameters.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.17, n.4, p.878-880, 1974.

JESCHKE, C.; FALAGÁN, C.; KNÖLLER, K.; SCHULTZE, M.; KOSCHORRECK, M. **No Nitrification in Lakes Below pH 3.** Environmental Science & Technology, v. 47, p. 14018-14023.

JUDD, J. S. **The status of industrial and municipal effluent treatment with membrane bioreactor technology.** Chemical Engineering Journal, vol. 305, p. 37-45, 2016.

LAWRENCE. J.S. **Filtration and Particulate Removal.** Encyclopedia of Water Science. 2.ed. University of California, 2003. p. 289-293.

LUIZA, F. L.; KRUMMENAUER, H. N.; SIQUEIRA, S. F.; AMARAL F. L. **Remoção de Cafeína por Adsorção em Carvão Ativado.** 2016.

DE MAGALHÃES, A. MARCOS; T. DE MATOS ANTONIO, DENICULI WILSON; TINOCO F. ILDA DE F. **Operacao de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental V. 10, n-2, p 472 478, 2005.

MARQUELLI, V. A.; ÁUREO, S. O.; COELHO. E. F.; NOGUEIRA, L. C.; FERREIRA, S. V. **Irrigação da Cultura do Tomateiro Orgânico**, Editorial EMBRAPA, 2014.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. O. Estado da arte da irrigação por gotejamento subperifical. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v.2, n.1, p.17-31, 2006.

MARTINS, JUNIOR RUBENS, LISBOA MARTINS MÁRCIA VIANA. **Dimensionamento de Filtro de Areia para Tratamento de Água Cinza do Bloco Novo do IRN1.** Engenharia Ambiental, Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI (MG), 2016.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Four billion people facing severe water scarcity.** Science. Advances.,V2, N2, p.1 6, 2016.

METCALF E EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. 5ª Edição, Porto Alegre** 1980 p., 2016.

MESQUITA MARCIO, TESTEZLAF ROBERTO, SALCEDO JUAN C., BIZARI DOUGLAS R. **Contribuição da estrutura interna na perda de carga de filtros de areia utilizados na irrigação.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.32, n.1, p.121-130, jan./fev. 2012.

MESQUITA M.; TESTEZLAF R.; RAMIREZ S. J. C.; DEUS P. F.; BIZARI R. D. BIZARI. **Simulação matemática da perda de carga em camadas porosas de filtros de areia. IV WINOTEC Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação.** 28 a 31 de maio de 2012

MESQUITA, M.; TESTEZLAF, R.; SALCEDO, J.C.; BIZARI, D. R. Contribuição da estrutura interna na perda de carga de filtros de areia utilizados na irrigação. **Faculdade Engenharia Agrícola - UNICAMP**, Campinas. 2012.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. **Trickles Irrigation for crop Production U. S.** Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U. S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona - U. S. A. p.383, 1986.

NAKAYAMA, F.S; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: Design, operation and management.** Amsterdam: Elsevier, 1986. 164p

NUNES SILVA ÍTALO; DE OLIVEIRA FONTES LARISSA; BARRETO TAVELLA LEONARDO; BRACO DE OLIVEIRA JOAQUIN; CAVALCANTE DE OLIVEIRA ALYSSON. **Qualidade de água na irrigação**. ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.07, 2011.

OLIVEIRA, C. F. de. **Perda de carga em filtros de tela e de discos utilizados na irrigação localizada**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PAREDES, L.; FERNANDEZ-FONTAINA, E.; LEMA, J. M.; OMIL, F.; CARBALLA, M. **Understanding the fate of organic micropollutants in sand and granular activated carbon biofiltration systems**. *Science of the Total Environment*, v. 551-552, p. 640-648, fev. 2016.

PATERNIANI J. E. S., SILVA MARCELO J. M. DA, RIBEIRO TULIO A. P., BARBOSA MELINA. **Pré-filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados**. (2011).

PITTS, D. J.; HAMAN, D. Z.; SMAJSTRLA, A. G. **Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems**. *Florida Cooperative Extension Service*, Bulletin 258, University of Florida, abril 1990.

PINCHO, M. ELAINE; OLIVEIRA F. CLEOMAR. **Filtros utilizados para melhorias da qualidade da água na irrigação localizada**. Acadêmica de Engenharia Agrícola, UEG, Unidade de Santa Helena de Goiás – GO 2011.

RAIMUNDO, DA SILVA FRANCISCO. **Avaliação da eficiência de blendas de biocarvão com lodo de decantação de Estação de Tratamento de Água (ETA) na adsorção de soluções de azul de metileno**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Química, área de Química Analítica. Universidade do Estado de São Paulo – UNESP Instituto de Química Programa de Pós-Graduação. 2018.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z. & LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. **Agricultural Water Management**. Elsevier v.33, p.127-137, 1997.

REIS, A. P. **Tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes espécies de macrofitas no tratamento de esgoto**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, Dissertação de Mestrado.

RETTORE NETO, O.; FRIZZONE, J.A.; MIRANDA, J.H.; BOTREL, T.A. **Perda de carga localizada em emissores não coaxiais integrados a tubos de polietileno**. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.1, p.28-39, 2009a.

RETTORE NETO, O.; MIRANDA, J.H.; FRIZZONE, J.A.; WORKMAN, S.R. **Local head loss of non-coaxial emitters inserted in polyethylene pipe**. *Transactions of the ASABE*, St. Joseph, v.52 n.3, p.729-738, 2009b.

RIBEIRO TÚLIO A. P.; AIROLDI S. ROGÉRIO P., PATERNIANI E. S JOSÉ.; SILVA M. MARCELO J. **Efeito da qualidade da água na perda de carga em filtros utilizados na irrigação localizada**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.1, p.1-6, 2005.

RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA; AIROLDI, R. P. S.; SILVA, M. J. M. **Varição dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada**. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.3, p.295-301, 2005.

RIBEIRO P. TULIO A., PATERNIANI S. JOSÉ E. **Comparação de elementos filtrantes no grau de obstrução em irrigação por gotejamento**. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.33, n.3, p.488-500, maio/jun. 2013

SANTANA, O. A.; CUNIAT, G.; ENCINAS, J. I. Contribuição da vegetação rasteira na evapotranspiração total em Diferentes ecossistemas do bioma cerrado, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 269-281, abr.-jun., 2010.

SARNAGLIA, S. A. A. **Desempenho de um “wetland” vertical aplicado ao tratamento do efluente de um filtro anaeróbio em uma estação de tratamento de águas cinzas claras visando o reúso não potável em edificações residenciais.** 2014. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo. 2014.

SCHERER MINÉIA JOHANN, FAGUNDES MAGALHÃES RENATA, LEMOS PAULO ROGÉRIO. **Tratamento de efluentes com sistema de zona de raízes: estudo de caso em residência rural. 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente.** Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010.

SEISDEDOS, DA SILVA RAQUEL TALITA; DERVANOSKI ADRIANA; HAUPENTHAL LILIAN DAIANA; ARRUDA GUELLI ULSON DE SOUZA SELENE MARIA; ULSON DE SOUZA ANTONIO AUGUSTO; DA LUZ CLEUZIR. **Simulação numérica e ensaios experimentais da remoção de Fe (III) da água para utilização nas indústrias alimentícias.** Artigo Técnico. Eng. Sanitário. Ambiente. 2015.

SHIMABUKU, QUELEN LETÍCIA; SAYURI ARAKAWA FLÁVIA; CAMACHO FRANCIELE; NISHI LETICIA; SILVERA CAROLE; BERGAMASCO ROSANGELA. **Aplicação de carvão ativado impregnado com íons de zinco para remoção de cistos de giardia SPP.** Revista e-xacta, Belo Horizonte v. 6, n. 1, p. 145-152, 2013.

SILVA, H. C. **Tratamento de efluente proveniente da lavagem de resíduos de construção e demolição.** 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2016.

SILVA AIROLDI ROGÉRIO PEREIRA, STIPP PATERNIANI JOSÉ EUCLIDES, PIRES RIBEIRO TÚLIO ASSUNÇÃO, MOREIRA DA SILVA MARCELO JACOMINI. **Comparação entre elementos filtrantes de manta sintética não tecida e de disco no tratamento de água para irrigação.** Irriga, Botucatu, v. 8, n. 1, p. 218-233, set-dez, 2003

SILVEIRA RAMOS LEONARDO, VELOSO WELMER RENATO, SILVA MEDEIROS SOFIA, SILVA SOUZA RITA DE CÁSSIA, CARVALHO SALES VICTÓRIA LORRANA. **Filtros de baixo custo para a remoção de turbidez: uma aplicação em amostra sintética e do manancial Ribeirão Descoberto.** E&S - Engineering and Science ISSN: 2358-5390 DOI: 10.18607/ES201987566 Volume 1, Edição 8. 2019

SILVEIRA, L. R.; COUTINHO M. M.; ARAÚJO, R. N. **Utilização da filtração lenta para tratamento de água com variações da turbidez.** Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia, v. 8, n. 1, p.114-123, 2015.

SOUSA JUNIOR ODER LUIZ. **Filtração em manta não tecida em sistemas de lodos ativados por batelada.** Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, na área de Saneamento e Ambiente. 2018.

SATO, A., WANG, R., MA, H., HSIAO, B. S. & CHU, B. **Novel nanofibrous scaffolds for water filtration with bacteria and virus removal capability.** Journal of Electron Microscopy, Vol. 60, N° 3. Oxford University Press. 2011. 9 p

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. **Revista Engenharia Agrícola**, v.28, n.3, p.604-613, 2008.

TESTEZLAF, R. **Filtros de areia na irrigação localizada.** Roberto Testezlaf, Fábio Ponceniano de Deus, Márcio Mesquita - Campinas, S.P: UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola, 2014. 56 p.

URTIGA SOUSA MATHEUS; RIBEIRO LIMA LÍGIA MARIA. **Caracterização físico-química e microbiológica do esgoto da UEPB com proposta de tratamento para fins de reuso.** Revista Verde (Pombal - PB - Brasil), VOL. 10. , Nº 4 , p. 54 - 60, out-dez, 2015

VON SPERLING, M. **Características das águas residuárias. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v. 1, p. 24-42; 82-126. 2014.

WANG, J.Z.; SUMMERS, R.S.; MILTNER, R.J. (1995) **Biofiltration performance I: relationship to biomass.** Journal American Water Works Association, V. 87, N. 12, P. 55-63.

WESTPHALEN, CAMPOS ANA PAULA; CORÇÃO GERTRUDES; BENETTI DOMINGUES ANTONIO. **Utilização de carvão ativado biológico para o tratamento de água para consumo humano.** Eng. Sanit. Ambient. V.21, N.3, Jul/set 2016. 425-436.

ZUSE, ROUSSO BENNY; OLIVEIRA DOS SANTOS MAYARA; NUNES DE FREITAS MONIQUE; PELISSARI CATIANE; YBARZO FECHINE VICTOR; HELENO SEZERINO PABLO. **Avaliação de aptidão de lançamento do efluente tratado em sistemas hídricos de wetlands construídos.** Revista do Departamento de Química e Física do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciência Agrária e do Mestrado em Tecnologia Ambiental. TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 1, p. 30-34.2018