

## MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO: ANÁLISE DA REDUÇÃO DE COR E TURBIDEZ

Elda Karoline Videres Ferraz (\*), Camila de Almeida Porto, Elisângela Maria Rodrigues Rocha

\* Universidade Federal da Paraíba, eldakaroline@gmail.com

### RESUMO

A crescente demanda pela água e o lançamento de efluentes nos corpos hídricos tem comprometido a qualidade e quantidade das águas disponíveis. O reuso de esgotos sanitários é uma alternativa para a melhoria na disponibilidade deste recurso. O sistema de tratamento convencional, em geral, atinge apenas os limites estabelecidos na legislação para lançamento, sendo fundamental a implantação de outras etapas no tratamento. Os processos de separação por membranas são considerados elementos chaves para o tratamento avançado de esgotos sanitários, sobretudo, para fins de reuso. Este trabalho objetivou avaliar a eficiência do pós-tratamento, por meio de membranas de ultrafiltração, do efluente final da lagoa facultativa da ETE Mangabeira, na remoção da cor verdadeira e turbidez, visando o reuso para fins não potáveis. A ETE Mangabeira é composta por três módulos de tratamento, sendo cada módulo composto pelo sistema de modelo australiano. O efluente final da lagoa facultativa do módulo I foi bombeado para a Planta Piloto de Ultrafiltração. Foi analisado os parâmetros de cor verdadeira, por espectrofotometria de absorção, e turbidez, pelo método nefelométrico, e calculado a eficiência do tratamento. A membrana de ultrafiltração alcançou remoção máxima de 81,24% de cor verdadeira, passando do valor médio de 339,29 mgL<sup>-1</sup> para a média de 61,62 mgL<sup>-1</sup> após o processo, e para a turbidez alcançou a remoção máxima de 99,34%, passando do valor médio de 51,45 NTU para o valor médio de 0,66 NTU após a membrana de ultrafiltração. Os parâmetros analisados neste trabalho não constam na Resolução 430/2011 do CONAMA, que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, sendo então adotados os padrões de qualidade de acordo com as características do corpo receptor. Desta forma, os resultados encontrados da cor verdadeira no efluente tratado da ETE Mangabeira estavam acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, já os resultados da turbidez já se encontravam dentro dos limites da resolução. Os valores encontrados para os permeados estavam bem abaixo dos valores estabelecidos pela resolução supracitada. A NBR 13.969/97 é a única norma, a nível nacional, que aborda a aplicação do reuso de água, onde um dos parâmetros regulamentados é a turbidez. Desta forma, comparando com os limites estabelecidos, o permeado da membrana de ultrafiltração poderia ser aplicado em todas as classes da norma citada. Pode-se concluir que a utilização da ultrafiltração se mostrou bastante eficiente, auxiliando na possibilidade de utilização do efluente como água de reuso para fins não potáveis. Conclui-se também que a ausência de um legislações sólidas dificulta a disseminação da prática de reuso no país, sendo necessária a ampliação de resoluções que rejam essa atividade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Separação por Membrana, Efluente Sanitário, Pós-Tratamento, Reuso de Água.

### INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos hídricos é tema de diversas discussões atuais e de crescente preocupação, principalmente em relação à sua disponibilidade para as futuras gerações, sendo este um dos principais desafios da sociedade moderna. Os crescimentos populacional e urbano estão entre os elementos que mais tem causado redução na disponibilidade hídrica. Problemas relacionados com a coleta, o tratamento e a disposição de esgotos têm gerado grande preocupação por parte de órgão ambientais (ALBUQUERQUE et al., 2017). A crescente demanda pela água e o lançamento indiscriminado de efluentes domésticos, agrícolas e industriais nos rios tem sido uma das principais causas para o desequilíbrio ambiental, comprometendo assim a qualidade e quantidade das águas disponíveis.

Nos grandes centros urbanos, o problema no tratamento de efluentes contribui significativamente para a degradação dos rios, lagos e águas subterrâneas, pois a grande quantidade de dejetos provenientes dos esgotos tem destinação final os corpos de águas sem receber o tratamento adequado. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), apenas 43% da população possui coleta e tratamento de esgoto e 12% utilizam-se de fossa séptica, ou seja, 55% possuem tratamento considerado adequado; 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de coleta sanitário. Percebe-se que, cerca de 45% do esgoto gerado no Brasil é despejado em corpos receptores sem nenhum tipo de tratamento. Somado a isto, tem-se que diversas regiões do país já vivenciaram ou têm vivenciado períodos de escassez hídrica, como por exemplo as recentes crises hídricas de São Paulo (2014-2015). Desta forma, com o intuito de minimizar os riscos ambientais e algumas necessidades, o reuso da água se torna uma ferramenta muito importante na preservação dos recursos hídricos.

De acordo com resolução n° 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), o reuso de água é o aproveitamento da água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades

pretendidas, classificadas para fins urbanos, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e aquicultura (BRASIL, 2006). A legislação supracitada considera que a prática de reuso de água reduz os custos associados à poluição e contribui para a proteção do meio ambiente e da saúde pública. Alguns benefícios podem ser citados com o reuso de água, entre eles o aumento da disponibilidade de água na fonte, reduzindo o volume necessário para captação; redução de gastos no tratamento de água potável; destinação da água potável apenas para o consumo humano; e a redução do volume de efluentes lançados nos corpos d'água.

Os esgotos sanitários têm sido uma opção selecionada para o reuso. O tratamento de esgoto pode ser classificado como tratamento preliminar, primário, secundário e terciário, tendo como finalidade reduzir o teor de agentes contaminantes a ponto de os subprodutos finais poderem ser reutilizados ou devolvidos ao meio ambiente, sem que ocorra impactos negativos. Porém os sistemas de tratamento convencional, em geral, atingem apenas os limites estabelecidos na legislação para lançamento, desta forma se torna necessária a implantação de novas etapas no tratamento a fim de atingir os padrões para reuso do efluente. As tecnologias disponíveis para o tratamento e adequação das águas residuárias abrangem um grande número de opções, sendo os processos de separação por membranas (PSM) considerados elementos chaves para o tratamento avançado de esgotos sanitários, sobretudo, quando o objetivo final é o reuso de água (WINTGENS et al. 2005).

Membranas podem ser definidas como "uma barreira que separa duas fases e que restringe total ou parcialmente o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases" (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006). A introdução dos PSMs em Estações de Tratamento de Esgoto proporciona o alcance de águas residuárias com elevado padrão de qualidade, com facilidade de serem automatizadas e, atualmente, com custo competitivo em relação aos demais sistemas convencionais de tratamento (OCHANDO-PULIDO et al., 2016). Os PSMs divididos em microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), e osmose inversa (OI). A UF é um processo aplicado para a remoção de vírus, bactérias e macromoléculas orgânicas, esta técnica de pós-tratamento de esgoto já é amplamente utilizada em escala real.

## OBJETIVOS

Avaliar a eficiência do pós-tratamento, por meio de membranas de ultrafiltração, do efluente final da lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mangabeira, na remoção da cor verdadeira e turbidez, visando o reuso para fins não potáveis.

## METODOLOGIA

### Efluente doméstico

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mangabeira, localizada na cidade de João Pessoa, foi projetada para atender uma população estimada de 33.000 habitantes, consiste em três módulos com um tratamento preliminar convencional com gradeamento e caixa de areia seguido por um tratamento biológico do tipo lagoas de estabilização, como apresentado na Figura 1, com duas lagoas anaeróbias seguido de uma lagoa facultativa, sendo um bastante eficiente pelas condições climáticas encontradas no Brasil. O efluente final da lagoa facultativa do módulo I foi utilizado como afluente no sistema de pós-tratamento.



Figura 1. Estação de Tratamento de Esgoto Mangabeira, localizada em João Pessoa (PB).  
Fonte: Autores do Trabalho.

### Unidade Experimental

A Planta Piloto de Ultrafiltração (PPU) da companhia De.Encon foi instalada nas mediações da ETE-Mangabeira para compor o pós-tratamento do efluente final da ETE. Na Figura 2 são apresentados os principais componentes do sistema instalado.

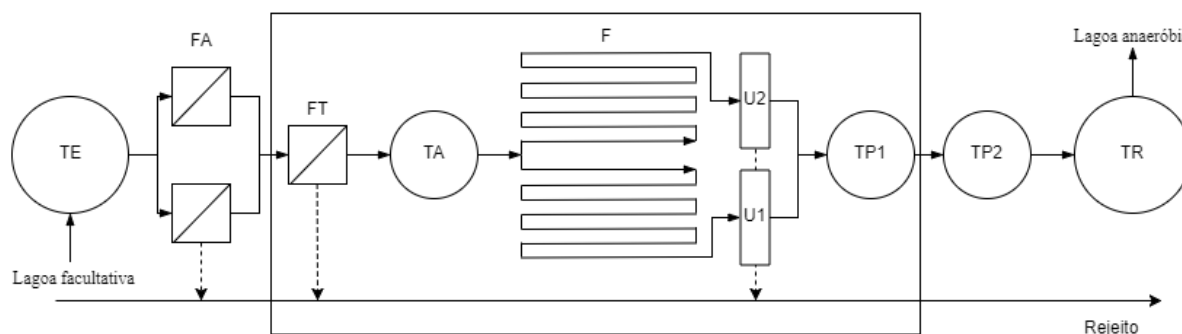


Figura 2. Representação esquemática do pós-tratamento da ETE Mangabeira. Retângulo: Delimitação da UPP.  
Fonte: Autores do Trabalho.

O funcionamento da UPP era automatizado por meio de um controlador programável. O efluente final da lagoa facultativa do módulo I foi bombeado para o tanque de equalização (TE). Em seguida passava por três pré-tratamentos - filtro de areia (FA), filtro de tela (FT) e facultativamente pela etapa de floculação (F). E finalmente, passava pelas membranas de ultrafiltração (U1 e U2), em paralelo. O permeado era armazenado nos tanques de permeado (TP 1 e 2) e o concentrado no tanque de rejeito (TR). Além do rejeito das membranas, o rejeito dos filtros de areia e tela também foram encaminhados para o tanque de rejeito. Todo o rejeito foi bombeado para a lagoa anaeróbia da ETE Mangabeira. O sistema possuía ainda uma bomba de retrolavagem, bombas de dosagem para adição do floculante, das soluções de limpeza e de ácido para ajuste do pH e medidores de pressão, condutividade, pH e temperatura.

Cada módulo de membrana é composto por múltiplas fibras cilíndricas ocas da Inge Dizzer (P 4040-4.0). As membranas são feitas do material polimérico polietersulfona com poros de 0,02 µm de diâmetro e com 4 m<sup>2</sup> de área.

A UPP foi operada em diversas condições operacionais, variando-se taxa de filtração, dosagem de coagulante, taxa e duração da retrolavagem. Foram realizadas coletas semanais das amostras do efluente final da ETE e dos permeados das membranas de ultrafiltração entre os meses de setembro e novembro de 2017.

As amostras coletadas da lagoa facultativa e do permeado de ultrafiltração durante o período da pesquisa, totalizando 11 coletas. Foram analisados apenas os parâmetros de cor verdadeira, no Laboratório de Tecnologia Química (LTQ), e turbidez, no Laboratório de Carvão Ativado (LCA), ambos laboratórios da Universidade Federal da Paraíba.

### Análise da Cor Verdadeira

A realização da análise de redução de cor verdadeira foi feita por meio de espectrofotometria de absorção, fazendo a leitura no comprimento de onda de 455 nm. Previamente, as amostras foram centrifugadas a 2000 rpm por 10 minutos para a remoção de sólidos suspensos.

### Análise da Turbidez

Para determinação da turbidez foi utilizado o método nefelométrico, seguindo as metodologias padrões descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), empregando-se o uso do turbidímetro e suspensões padrão para a calibração do aparelho. As amostras foram analisadas sem a necessidade de diluição, homogeneizando-as por cerca de 15 segundos e fazendo as leituras em triplicada para obtenção do valor médio.

### Eficiência da PPU

A eficiência do pós-tratamento foi determinada de acordo com a Equação 1.

$$\text{Eficiência (\%)} = ((P_i - P_f)/P_i) * 100$$

Equação (1)

Sendo,

P<sub>i</sub>: Valor do parâmetro do efluente da lagoa facultativa.

P<sub>f</sub>: Valor do parâmetro do permeado da membrana.

## RESULTADOS

### Cor Verdadeira

Na Figura 3 encontra-se os resultados do parâmetro analisado, assim como a eficiência de remoção em cada efluente coletado. Observou-se no período analisado uma redução acima de 70% da cor (455 nm) do efluente pós-tratado, considerando que a lagoa facultativa teve uma concentração média de 339,29 mgL<sup>-1</sup>, e após o processo de ultrafiltração, a média foi de 61,62 mgL<sup>-1</sup>.

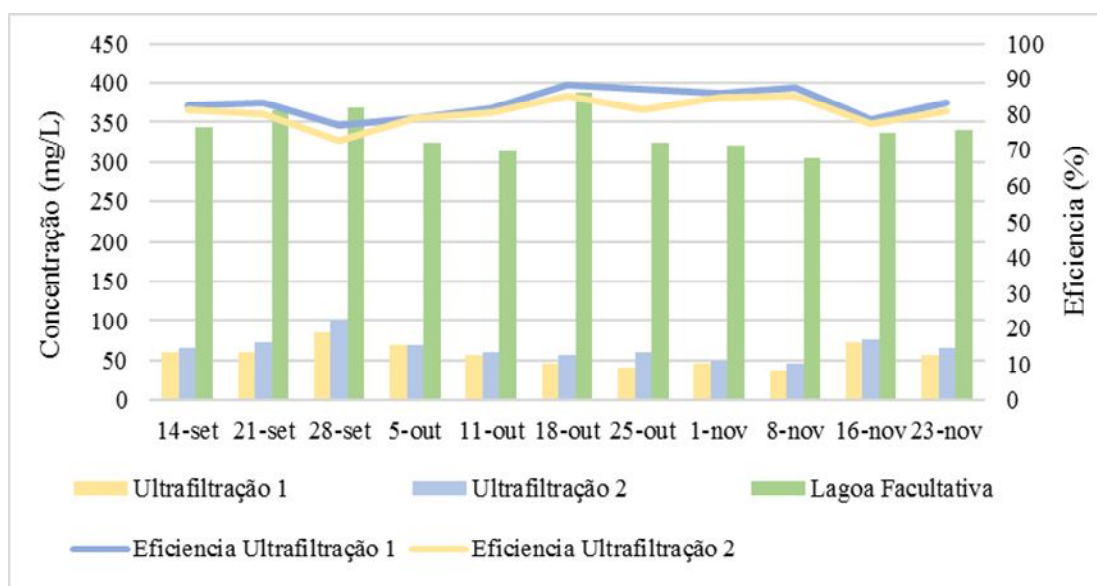


Figura 3. Concentração e eficiência de remoção de cor verdadeira para o sistema de pós-tratamento da UPP da ETE-Mangabeira. Fonte: Autores do Trabalho.

Observa-se elevada redução da cor, onde a maior remoção encontrada foi de 88,24% em 18 de outubro/17 e a menor remoção foi de 72,84% em 28 de setembro/17. Notou-se assim uma variação de 15,4% na remoção da cor durante o período investigado.

Francisco (2009) estudou sobre o pós-tratamento de esgoto doméstico por fotocatalise heterogênea solar antes e após filtração lenta, encontrando eficiências máximas de 96% e 97% para amostras pós-filtro e pré-filtro, respectivamente. Apesar da eficiência máxima de remoção atingida pelo sistema de membranas filtrantes ter sido inferior em relação à literatura citada anteriormente, a concentração final de cor verdadeira do permeado manteve-se abaixo de 75 mgL<sup>-1</sup> em quase todas as análises, sendo considerado um bom resultado por se adequar aos padrões estabelecidos pela Resolução 357 do CONAMA para corpos hídricos de classe 2.

### Remoção de Turbidez

Os valores encontrados de turbidez nas amostras após a ultrafiltração indicou que o pós-tratamento foi bastante eficaz, visto que grande o percentual de remoção foi superior 95%, sendo obtido valores em torno de 0,6 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez), como pode ser observado na Figura 4.

As análises dos dias 16 e 23 de novembro/17 não foram possíveis de serem realizadas, pois ocorreu a quebra do acessório do turbidímetro do modelo Hach 2100N. As amostras da lagoa facultativa possuíam muito material em suspensão, então, a partir do dia 01 de novembro/17, para a análise foi decidido fazer a homogeneização das amostras antes da leitura, e realizar as leituras em triplicata, pois foi compreendido que ao deixar as amostras sedimentarem estaríamos fazendo um outro tratamento no efluente.

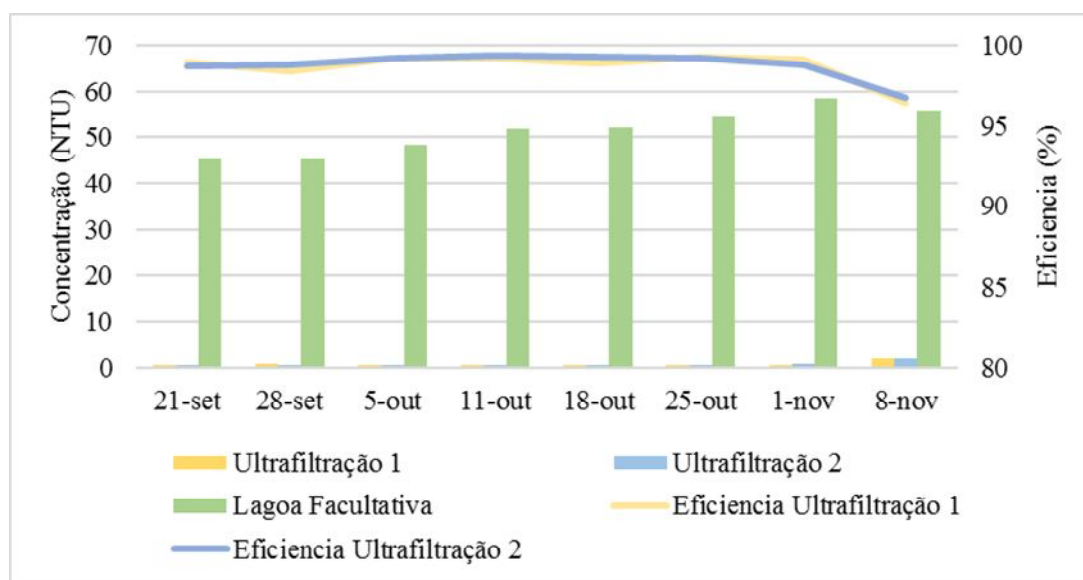


Figura 4. Concentração e eficiência de remoção da turbidez para o sistema de pós-tratamento da UPP da ETE-Mangabeira. Fonte: Autores do Trabalho.

Peres (2010) estudou a utilização da fossa séptica biodigestora no tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais, obtendo uma taxa média de remoção da turbidez de 36,2%, chegando a remoções de 49%. Colares & Sandri (2013), para o tratamento de esgoto doméstico com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com cascalho natural, brita #2 e cascalho lavado, respectivamente, encontrou a eficiência total de 82,54% na remoção da turbidez. Desta forma, o sistema de membranas filtrantes mostrou maior eficiência na remoção do parâmetro da turbidez, em relação as literaturas supracitadas, alcançando a remoção máxima de 99,34%, passando do valor médio de 51,45 NTU para o valor médio de 0,66 NTU após a membrana de ultrafiltração.

### Aspectos legais

Ressalta-se que os parâmetros analisados neste trabalho não constam na Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. Sendo assim, de acordo com o artigo 5º da referida resolução, para os parâmetros não incluídos nas metas obrigatórias e na ausência de metas intermediárias progressivas, os padrões de qualidade a serem obedecidos no corpo receptor são os que constam na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado (BRASIL, 2011).

A ETE Mangabeira está inserida na bacia hidrográfica do rio Cuiá, cujo trecho que recebe o efluente tratado está enquadrado como classe 2 pela Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba (AESA, 2013). Assim, de acordo com a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, para corpos hídricos classe 2, o valor máximo estabelecido para a cor verdadeira é de 75 mgL<sup>-1</sup> e de 100 NTU para a turbidez. Os resultados do efluente tratado da ETE Mangabeira encontravam-se acima dos limites estabelecidos pela resolução citada anteriormente. Já em relação a turbidez, o efluente da ETE Mangabeira apresentou valor abaixo do estabelecido. Por outro lado, os valores encontrados para os permeados estão bem abaixo dos valores estabelecidos pela resolução supracitada.

A regularização do reuso de água no Brasil ainda está processo, a resolução Resolução 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabelece critérios gerais para o reuso direto não potável de água, abrangendo as modalidades de reuso para fins urbanos, fins agrícolas e florestais, fins ambientais, fins industriais, e, reuso na aquicultura. Sendo as modalidades de reuso não mutuamente excludentes (BRASIL, 2005b). A NBR 13.969/97 é a única norma, a nível nacional, que aborda a aplicação do reuso de água, onde, no caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável,



mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens, entre outros (ABNT, 1997). A referida norma estabelece limites para os parâmetros de turbidez, coliformes termotolerantes, sólidos totais dissolvidos, pH, cloro residual e oxigênio dissolvido.

De acordo com os limites estabelecidos na NBR 13.969/97, o permeado da membrana de ultrafiltração poderia ser aplicado em todas as classes da norma citada, ressaltando que o único parâmetro do estudo contemplado pela norma foi a turbidez.

## CONCLUSÕES

Após a investigação dos dois parâmetros analisados, pode-se concluir que a utilização da ultrafiltração se mostrou bastante eficiente, auxiliando na possibilidade de utilização do efluente como água de reuso para fins não potáveis. Porém, é importante ressaltar que existe uma deficiência nas normativas com relação a água de reuso, dificultando assim a implantação desta prática com maior eficácia em todo o país, sendo necessária a ampliação de resoluções que rejam essa atividade.

É importante um olhar voltado para o investimento em tecnologias que melhorem a qualidade do efluente da estação de tratamento de esgotos, de forma a proporcionar o reuso da água ou a proteger o corpo hídrico receptor, de acordo com a resolução 430/11 do CONAMA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.969** - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
2. AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Mapa de Enquadramento**. João Pessoa, 2013.
3. Albuquerque, T. M. A; Sousa, I. D. H; Almeida, I. R; Souza, T. P; Teixeira, L. E; Souza, A. K. O; Santana, I. R. **Análise da eficiência de um filtro de pedra porosa desenvolvido para o tratamento preliminar de esgoto doméstico**. Scientia Plena, Vol. 13, n° 10. 2017.
4. ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgotos - Despoluição das Bacias Hidrográficas**. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br>>. Acesso em: outubro de 2018.
5. APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
6. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2005a). **Resolução nº 357, 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
7. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2011). **Resolução nº 430, 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
8. BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (2005b). **Resolução nº 54, 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes para a prática do reuso direto não potável de água, e dá outras providências.
9. Colares, C. J. G.; Sandri, D. **Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte**. Ambi-Agua, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013. doi: 10.4136/ambi-agua.1047
10. Francisco, A. R. **Pós-tratamento de Esgoto por Fotocatálise Heterogênea Solar Antes e Após Filtração Lenta**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 2009.
11. Habert, A.; C; Borges, C.P.; Nóbrega, R. **Processos de Separação com Membranas**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2006.

12. Ochando-Pulido, M. J.; Stoller, M.; Palma, L.; Martínez-Ferez A. **On the optimization of a flocculation process as fouling inhibiting pretreatment on an ultrafiltration membrane during olive mill effluents treatment.** Desalination, v. 393, p. 151-158, 2016.
13. Peres, L. J. S.; Hussar, G. J.; Beli, E. **Eficiência do Tratamento de Esgoto Doméstico por Meio de Fossa Séptica Biodigestora.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 020-036, jan. /mar. 2010.
14. Wintgens, T.; Melin, T.; Schiller, A.; Khan, S.; Muston, M.; Bixio, D.; Thoeye, C. **The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse.** Desalination, v. 178, p. 1-11, 2005.
15. Subtil, E. L.; Hespanhol, I.; Mierzwa, J. C. **Biorreatores com membranas submersas (BRMs): alternativa promissora para o tratamento de esgotos sanitários para reúso.** Revista Ambiente & Água, vol.8, no.3, Taubaté, Setembro/Dezembro, 2013.