



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

VALDÍVIA GOMES DE SOUSA BEZERRA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA NA CIDADE DE MOSSORÓ-RN**

MOSSORÓ
Fevereiro 2018

VALDÍVIA GOMES DE SOUSA BEZERRA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA NA CIDADE DE MOSSORÓ-RN**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos ambientais pelo uso do solo e da água.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tavares Gurgel.

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista.

MOSSORÓ

Fevereiro 2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

B574a Bezerra, Valdívia.
Análise do desempenho de uma estação de tratamento de água residuária doméstica na cidade de Mossoró-RN / Valdívia Bezerra. - 2018.
45 f. : il.

Orientador: Marcelo Gurgel.
Coorientador: Rafael Batista.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2018.

1. Esgotamento sanitário, . 2. disposição no ambiente, . 3. infraestrutura-urbana.. I. Gurgel, Marcelo , orient. II. Batista, Rafael, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

VALDÍVIA GOMES DE SOUSA BEZERRA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA NA CIDADE DE MOSSORÓ-RN**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos ambientais pelo uso do solo e da água.

Defendida em: 28 / 02 / 2018.

BANCA EXAMINADORA



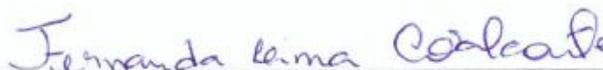
Prof. Dr. Marcelo Gurgel Tavares (UFERSA)
Presidente



Prof. Dr. Rafael Batista Oliveira (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Dr. Rafael Castelo Guedes Martins (UFERSA)
Membro Examinador



Profa. Dra. Fernanda Lima Cavalcante (IFRN)
Membro Examinador

A **Deus** pelo dom da vida, por me da força e me ajudar em todos os momentos da minha caminhada, por me proteger e me guardar diariamente, pelo seu imenso amor e infinda misericórdia;

Ao meu **Pai, Valdemiro Gomes** (IN MEMORIAN), a minha **mãe Zuleide Alves**, pelo exemplo de vida, caráter, honestidade e por toda a base Cristã na qual me educaram;

Ao meu **marido, Ricardo Leandro**, pelo amor, companheirismo e apoio todos os dias;

Aos meus amados **Filhos, Leandro e Rúben** por me receber todos os dias com sorrisos e abraços;

A todos os pesquisadores que amam e se dedicam a trabalhar com o reuso de água e áreas afins.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre está comigo, mesmo nos momentos mais difíceis pude sentir o seu amor e a sua força, pela proteção e pelo fôlego da vida.

Ao meu marido, Ricardo Leandro, por compartilhar comigo doze anos de união, amor, companheirismo e por ter me feito mãe dos nossos amados filhos Leandro e Rúben;

Aos meus pais, Valdemiro Gomes (*in memorian*) e Zuleide Alves, pelo cuidado, por ter me dado o melhor possível dentro de suas possibilidades, pelo exemplo de vida, caráter, honestidade e por toda a base Cristã na qual me educaram;

Aos meus irmãos, Valdileide Gomes, Valdênia Gomes, Wagner Gomes e Walker Gomes, bem como suas famílias, por me apoiar e me ajudar sempre que possível, e pelo simples fato de saber que posso contar com eles sempre que eu precisar;

Ao meu orientador, Marcelo Tavares Gurgel, pela paciência, motivação, disponibilidade, confiança e por toda a colaboração nesse trabalho;

Ao meu coorientador, Rafael Oliveira Batista, por toda a dedicação, confiança, motivação, disponibilidade, pela pessoa que é, pelo exemplo de professor, sempre atencioso, ético e cuidadoso, pela imensa colaboração nesse trabalho;

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e a todos os docentes que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (PPGMSA), pelos conhecimentos transmitidos ao longo desta jornada. Bem como, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por todo auxílio financeiro;

Ao Residencial em que foi coletada as amostras do efluente, pela confiança, especialmente a diretoria na pessoa do professor Rafael Castelo e ao Técnico da Estação de Tratamento de Esgoto Sr Francisco Andrade de Souza Júnior, pelo cuidado, atenção e recebimento em todas as coletas;

A toda a equipe que compõe o Laboratório de Saneamento Ambiental, em nome da Professora Solange Dombrosky, especialmente ao Laboratorista Adler Lincoln, pela colaboração, dedicação, eficiência e boa vontade no que lhe é proposto.

A toda a equipe que compõe o Laboratório de Análises de Água, Solo e Planta em nome da Prof.^a Jeane Portela, Ana Kaline, Elídio Andrade e Antônio Carlos e demais por toda ajuda prestada;

A toda a equipe que compõe o Laboratório de Físico - Química da UERN em nome do Prof. Luiz de Souza, a todo o corpo técnico e aos bolsistas que contribuíram de forma significativa para esse trabalho que represento na pessoa de Tamara Miranda de Moura;

A professora Fernanda Lima Cavalcante, pela orientação e acompanhamento nas análises;

Aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, pelo companheirismo e parceria ao longo desta jornada, em especial àqueles que sempre contribuíram com meu aprendizado, Rutilene Rodrigues, Elidayane da Cunha, Lunara Gleika, pela disponibilidade e boa vontade, pela paciência e colaboração;

À Banca examinadora, por toda a atenção e contribuição dada;

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para elaboração desse trabalho, meus sinceros agradecimentos!!!

“Nós podemos e devemos criar a
realidade do mundo que nos rodeia.

Isto também é
Autorresponsabilidade”

(Paulo Vieira)

RESUMO

Entre as principais causas da poluição hídrica, está o lançamento de águas residuárias domésticas sem tratamento, diminuindo a qualidade de água potável e aumentando tanto o risco de contaminação química quanto a incidências de doenças veiculadas pela água. O tratamento e reúso das águas residuárias domésticas é uma alternativa para a mitigação destes problemas ambientais. Este trabalho objetivou avaliar o desempenho de uma estação de tratamento de esgoto e reúso da água proveniente da água residuária doméstica gerada em um condomínio do município de Mossoró-RN. Na estação de tratamento de esgoto (ETE) a água residuária doméstica é tratada por grade, desarenador, reator biológico aerado e reator ultravioleta artificial. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos (pontos de amostragem) e quatro repetições no tempo. O monitoramento da qualidade da água residuária tratada ocorreu no período de julho a outubro de 2017. Para isso coletaram-se, mensalmente, amostras do efluente à montante e à jusante do reator biológico aerado e à jusante do reator ultravioleta artificial. Nas amostras coletadas foram determinados atributos físico-químicos (Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, nitrogênio total, nitrato, amônia, fósforo total, teor de óleos e graxas, N, P, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻ e RAS - razão de adsorção de sódio) e microbiológicos (Coliformes totais, *Escherichia coli* e ovos de helmintos) da água residuária doméstica. Estes atributos foram confrontados com a legislação e padrões vigentes para reúso da água em atividades agrícolas e florestais. O processo de tratamento apresentou alta eficiência na remoção da matéria orgânica, com remoção acima de 98% para DBO e acima de 97% para DQO, assim como para Turbidez com remoção de 98%; Teor de óleos e graxas (remoção de 92,23%) e para Coliformes Totais e *E.coli* a radiação ultravioleta mostrou que o tratamento terciário foi efetivo na redução 8 e 7 unidades logarítmicas respectivamente. O efluente final atendeu aos padrões exigidos pela legislação para uso agrícola e florestal.

Palavras-chave: Esgotamento sanitário, disposição no ambiente, infraestrutura-urbana.

ABSTRACT

Among the main causes of water pollution is the release of untreated domestic wastewater, reducing water quality and increasing the risk of contamination in waterborne diseases. The treatment and reuse of domestic wastewater is an alternative to the mitigation of environmental problems. This work aimed to evaluate the performance of a sewage treatment plant and water from the domestic generator generated in a condominium in the municipality of Mossoró-RN. The sewage treatment plant (ETE) is a series of domestic water with grille, sandblaster, aerated biological reactor and artificial ultraviolet reactor. The experiment was set up in a completely randomized design with three treatments and four repetitions without time. The monitoring of wastewater quality did not occur in the period of 2017. For this, the effluent samples were collected monthly upstream and downstream of the aerated biological reactor and downstream of the artificial ultraviolet reactor. N, P, Na⁺, K⁺, Na⁺, Na⁺, Na⁺, Na⁺, Na⁺, Na⁺, Na⁺, Na⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻ and RAS - sodium adsorption ratio) and microbiological (total coliforms, *Escherichia coli* and helminth eggs) of household wastewater. They were confronted with existing legislation and standards to reuse water in agricultural and forestry activities. The vector treatment process must be above 97% for COD, as well as for Turbidity with removal of 98%; Content of oil and grease (removal of 92.23%) and for total coliforms and *E.coli* the ultraviolet radiation that the treatment was done in reduction 8 and 7 logarithmic units respectively. The final effluent met the criteria required by the legislation for agricultural and forestry use.

Key words: Sanitary sewage, disposal in the environment, urban infrastructure

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Padrões para lançamento de efluentes sanitários tratados em corpo hídrico receptor..... | 7 |
| Tabela 2. Padrões para reúso urbano, agrícola e florestal e ambiental..... | 8 |
| Tabela 3. Índices de atendimento e tratamento de esgoto em Mossoró, Rio Grande do Norte, Nordeste e Brasil | 11 |
| Tabela 4. Características físico-químicas e microbiológica de águas residuárias domésticas. | 12 |
| Tabela 5. Atributos físicos e físico-químicos do efluente ao longo do tempo, analisados em três pontos de coleta na estação de Tratamento de água residuária domestica de um condomínio de Mossoró. | 32 |
| Tabela 6. Valores médios e desvio padrão dos atributos físico e físico químicos dos efluentes ao longo do tempo, analisados em três pontos de coleta na estação de tratamento de água residuária domestica de um condomínio em Mossoró - RN..... | 33 |
| Tabela 7. Atributos químicos, bioquímicos e microbiológicos do efluente, ao longo do tempo, analisados em três pontos da estação de tratamento de água residuária doméstica de um condomínio de Mossoró RN..... | 36 |
| Tabela 8. Valores médios e desvio padrão dos atributos químicos, bioquímicos e microbiológicos do efluente, ao longo do tempo, analisados em três pontos da estação de tratamento de água residuária doméstica de um condomínio de Mossoró RN. | 37 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados.(fluxo líquido). | 15 |
| Figura 2. Esquema de tratamento por radiação ultravioleta artificial (UV) - contato direto com o efluente. | 16 |
| Figura 3. Esquemas de tratamento por radiação ultravioleta artificial (UV) - irradiação superficial. | 17 |
| Figura 4. Radiação UV no espectro eletromagnético. | 17 |
| Figura 5. Imagem da estação de tratamento de efluentes domésticos (ETE) de um condomínio urbano de Mossoró-RN. | 18 |
| Figura 6. Imagens dos dispositivos de tratamento da água residuária doméstica na estação do condomínio, destacando-se o sistema preliminar (A), reator biológico aerado (B), Reator Ultravioleta Artificial(C) e tanque de armazenamento (D). | 19 |
| Figura 7. Imagem do leito de secagem para deságue e desidratação do lodo. | 20 |
| Figura 8. Vista superior da ETE..... | 35 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------------------------------------|---|
| ANA | Agencia Nacional das Águas |
| Ca ²⁺ | Cálcio |
| CE | Condutividade elétrica |
| CEa | Condutividade elétrica da água |
| Cl ⁻ | Cloretos |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CNRH | Conselho Nacional de Recursos Hídricos |
| COEMA | Conselho Estadual de Meio Ambiente |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EMPARN | Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte |
| ECR | Efluente da calha de recepção |
| ERB | Efluente do reator biológico aerado |
| ED-UV | Efluente da desinfecção por ultravioleta artificial |
| ETE | Estação de tratamento de esgoto |
| HCO ₃ ⁻ | Bicarbonatos |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IQA | Índice de Qualidade das águas |
| LASAP | Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta |
| Mg ²⁺ | Magnésio |
| MgSO ₄ .7H ₂ O | Sulfato de magnésio |
| Mn | Manganês |
| Na ⁺ | Sódio |
| NaCl | Cloreto de sódio |
| NH ₄ ⁻ N | Amônio- nitrogênio |
| NO ₃ ⁻ N | Fosforo disponível |
| NBR | Norma Brasileira |
| OMS | Organização Mundial de Saúde |
| pH | Potencial hidrogeniônico |

| | |
|------------------------------|---|
| RAS | Relação de adsorção de sódio |
| RN | Rio Grande do Norte |
| SO ₄ ⁻ | Sulfetos |
| SEMACE | Superintendência estadual do meio ambiente – CE |
| TEMP | Temperatura |
| SNIS | Sistema nacional interno sobre saneamento |
| TOG | Teor de óleo e graxas |
| UFERSA | Universidade Federal Rural do Semiárido |
| UV | Radiação Ultravioleta |

SUMÁRIO

| | |
|---|--------------------------------------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1A escassez hídrica e a importância do reuso da água | 3 |
| 2.2Legislação vigente para tratamento de águas residuárias sanitárias e para reuso agrícola e florestal | 5 |
| 2.3Problemas ambientais do esgotamento sanitário inadequado e índices de atendimento de tratamento de águas residuárias..... | 10 |
| 2.4Características das águas residuárias domésticas | 11 |
| 2.5Técnicas de tratamento de esgoto utilizadas em condomínios. | 13 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 18 |
| 3.1 Caracterização da área de estudo | Erro! Indicador não definido. |
| 3.2Monitoramento da estação de tratamento de efluente doméstico do condomínio | 20 |
| 3.2.1Descrição das análises físico-químicas e microbiológicas..... | 21 |
| 3.3 Delineamento experimental e análise estatística..... | 28 |
| 3.4 Cálculo da dose de água residuária doméstica para inimizarem os problemas ambientais. | 28 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 30 |
| 4.1. Análise do desempenho da estação de tratamento de águas residuárias domésticas quanto à alteração de atributos físicos e físico-químicos relacionados aos riscos de salinização e sodificação do solo..... | 31 |
| 4.2. Análise do desempenho da estação de tratamento de águas residuárias domésticas quanto à alteração de atributos químicos, bioquímicos e microbiológicos. | 35 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 41 |
| REFERÊNCIAS | 45 |

1. INTRODUÇÃO

O lançamento de águas residuárias domésticas sem tratamento nos corpos hídricos receptores gera diversos problemas ambientais e impactos socioeconômicos, tais como a eutrofização decorrente dos níveis elevados de nitrogênio e fósforo, a redução do oxigênio dissolvido pelo aumento da carga orgânica, a disseminação de doenças de veiculação hídrica, o agravamento do problema de escassez hídrica, o desequilíbrio ecológico, o incremento de hormônios, elementos traço, princípios ativos de medicamentos e substâncias ilícitas nos ecossistemas aquáticos, entre outros.

O aumento populacional nos centros urbanos aumenta a degradação ambiental, principalmente pelo despejo inadequado de efluentes domésticos e industriais. As águas residuárias domésticas são compostas por atributos físicos, químicos e biológicos. Desde que não haja significativa contribuição de despejos industriais, a composição física das águas residuárias domésticas ou sanitárias é razoavelmente constante, contendo aproximadamente 99,9% de água, e apenas 0,1% de materiais sólidos. É devido a essa fração de sólidos que ocorrem os problemas de poluição hídrica, trazendo a necessidade do tratamento. As principais características químicas das águas residuárias são matéria orgânica com cerca de 70% e inorgânica com aproximadamente 30%. As principais características biológicas são microrganismos de águas residuais e indicadores de poluição. (von Sperling, 2014).

Mediante a grande expansão urbana, no município de Mossoró, observa-se a crescente verticalização, bem como o aumento de condomínios horizontais fechados, alguns desses construídos em áreas que ainda não receberam o esgotamento sanitário, sendo responsáveis pelo tratamento dos seus efluentes. Dessa forma, o efluente precisa ser coletado, tratado e se possível reutilizado antes de ser devolvido ao ambiente. Não existe um tratamento padrão para todos os efluentes, o tipo de tratamento é definido em função das características do efluente, valor a ser investido, área disponível e finalidade da qualidade do efluente final.

Para o tratamento das águas residuárias domésticas em condomínios urbanos existem diversos de sistemas, entre os quais se destaca o uso combinado de grade, desarenador, reator biológico aerado e reator ultravioleta artificial (Ferreira & Caraiola, 2008); (Nobre, 2015) possibilitando o tratamento de maiores vazões, sem o uso de produtos químicos.

O reúso deve ser incentivado por se tratar de uma fonte de suprimento de água, indispensável, principalmente no semiárido brasileiro, região caracterizada por

precipitações pluviométricas reduzidas e irregulares ao longo dos anos; proporcionar a liberação da água com qualidade, para outros fins, como o abastecimento humano; evitar o lançamento de efluentes de estações de tratamento de águas residuárias domésticas em corpos hídricos receptores, os quais, em grande parte, são intermitentes, com vazão nula durante certo período do ano; e fornecer água, matéria orgânica e, ou nutrientes para o reuso agrícola, florestal, urbano, industrial e ambiental (Batista et al., 2014).

As legislações ambientais ocupam papel de destaque quanto à implementação das infraestruturas do esgotamento sanitário nos condomínios urbanos, pois apresentam os padrões para monitoramentos dos efluentes tratados tanto para disposição no ambiente (corpos hídricos receptores e solo) quanto para fins de reuso agrícola, florestal, urbano, industrial e ambiental. Com este monitoramento é possível aperfeiçoar o tratamento da água residuária e minimizar os impactos ambientais da disposição final no ambiente.

Diante o exposto, o presente trabalho teve por objetivo geral avaliar a eficiência de um sistema de tratamento de água residuária doméstica, constituído por grade, desarenador, reator biológico aerado e reator ultravioleta artificial em condomínio no município de Mossoró-RN. Os objetivos específicos visou avaliar a qualidade do efluente pré e pós tratamento, comparando-os com os padrões exigidos na legislação e caracterizar o efluente para fins de irrigação, quanto salinidade, sodicidade e toxicidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A escassez hídrica e a importância do reuso da água

Ao reconhecer a água como elemento vital à sobrevivência dos seres vivos, aos processos indústrias e às atividades antrópicas, fica evidente sua importância e necessidade de preservação, ou ainda o seu uso de forma racional e sustentável. De toda água retirada para consumo, 70% é destinada a irrigação, 20% para a indústria e os 10% restantes para abastecimento das áreas urbanas e rurais (Miller Júnior, 2008).

Segundo a Ana (2014), no Brasil a disponibilidade hídrica per capita encontra-se satisfatória, porém apresenta distribuição espacial irregular, cerca de 80% dos recursos hídricos estão situados na região amazônica, onde se encontra o menor contingente populacional.

Dados de Ana (2014) retrata que o Índice de Qualidades das Águas (IQA) nas categorias péssima e ruim, nos anos de 2008 e 2009 estão sempre relacionado a pontos próximos de regiões metropolitanas e cidades de médio porte, condição esta associada ao lançamento de águas residuárias. Contudo, destacam-se alguns pontos que apresentaram melhoria, devido o investimento em despoluição da bacia e tratamento das águas residuárias domésticas e industriais. Para Dias (2009) os processos de industrialização e urbanização aceleraram a demanda por água no espaço urbano, assim como também agravaram a contaminação dos mananciais através dos despejos dos esgotos domésticos e industriais sem tratamento prévio nos corpos hídricos, contribuindo ainda mais para a sua escassez.

A água é considerada um elemento propício à escassez, necessitando assim de gerenciamento e consumo estratégico, envolvendo assim as formas de sustentabilidade. Como fundamentação, “A Agenda 21 dedicou importância especial ao reuso recomendando aos países participantes da ECO-92 a implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes, integrando proteção da saúde pública de grupos de risco, com práticas ambientais adequadas. Dessa forma, pesquisadores e gestores passaram a focar o uso dos efluentes ao invés de lançá-los de volta aos corpos hídricos receptores (Hespanhol, 2006).

É importante destacar que o reuso de água ou o uso de águas residuárias não é um

conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de águas residuárias domésticas e sua utilização na irrigação. No entanto, a demanda crescente por água tem feito do reuso planejado da água um tema atual e de grande importância (Cunha, 2010).

A Resolução CNRH nº 54/2005 define reuso da água como a utilização de água residuária, sendo essa definida como: esgoto doméstico ou sanitário, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não. Nesse contexto a escolha do tratamento se dá em virtude da finalidade do uso a que se destina a água de reuso (Brasil, 2005).

No tocante as formas de uso das águas residuárias, a Cetesb (2012), apresenta:

- **Reuso indireto não-planejado da água:** Acontece quando a água utilizada é descarregada no meio ambiente e novamente aproveitada, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada ;

- **Reuso indireto planejado da água:** Processo que descarrega os efluentes de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, que por sua vez são utilizadas de maneira controlada, no atendimento de alguma necessidade;

- **Reuso direto planejado das águas:** É aquele no qual os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso. Esse método já está sendo praticado por algumas indústrias e em irrigações;

- **Reciclagem de água:** Reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Funciona como fonte suplementar de abastecimento do uso original. A reciclagem da água é um caso particular do reuso direto planejado;

A resolução COEMA nº 02/2017 trouxe definições sobre reuso direto, externo e interno (Ceará, 2017):

- **Reuso direto de água:** uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

- **Reuso externo:** é o uso de efluentes tratados provenientes das estações administradas por prestadores de serviços de saneamento básico ou terceiros, cujas características permitam sua utilização;

- **Reuso interno:** é o uso interno de água de reuso proveniente de atividades

realizadas no próprio empreendimento.

Quanto ao uso final do reuso direto de água não potável, para efeito da Resolução COEMA 02/2017, abrange as seguintes modalidades (Ceará, 2017):

- **Reuso para fins urbanos:** utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate de incêndio dentro da área urbana;

- **Reuso para fins agrícolas e florestais:** Aplicação de águas de reuso para a produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

- **Reuso para fins ambientais:** utilização de água de reuso para a implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

- **Reuso para fins industriais:** utilização de reuso em processos, atividades e operações industriais;

- **Reuso na aquicultura:** utilização de água de reuso para a criação de animais ou para o cultivo de vegetais aquáticos.

Dessa forma, o reuso relaciona-se com a proteção à saúde pública e meio ambiente, saneamento ambiental e gerenciamento de recursos hídricos. Para a prática do reuso é necessário conhecer as bases legais e assim definir a forma correta do mesmo. Além disso, o reuso pode ser um instrumento para liberação dos recursos hídricos de melhor qualidade para fins mais nobres, utilizando-se os efluentes e protegendo a saúde pública e o meio ambiente (Cunha, 2010).

2.2 Legislação vigente para tratamento de águas residuárias sanitárias e para reuso agrícola e florestal

O Estado do Rio Grande do Norte, nem tampouco o município de Mossoró possuem legislações ambientais com os padrões para a disposição final de águas residuárias domésticas tratadas em corpos hídricos receptores e o reuso da água. Padrões estes que podem ser extraídos das Resoluções CONAMA n° 430/2011 (Brasil, 2011) e COEMA n° 2/2017 (Ceará, 2017) e a NBR n° 13969/1997 (Abnt, 1997).

A Resolução CONAMA n°430, de 13 de maio de 2011 foi criada para complementar e alterar a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, dispondo sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes

tratados em corpos hídricos receptores (Brasil, 2011). Nessa resolução destacam-se os seguintes artigos:

- No Art. 2 afirma-se que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas (Brasil, 2011).

- No Art. 3 relata-se que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis (Brasil, 2011).

A Resolução CONAMA 430/2011 também delega aos órgãos ambientais estaduais as funções de fiscalizar, orientar e punir as atividades potencialmente poluidoras, bem como definir diretrizes locais para emissão dos efluentes, caso necessário (Brasil, 2011).

Do mesmo modo, o Artigo 1º da Resolução COEMA nº 2/2017 ressalta sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos receptores e em rede coletora de esgoto do Estado Ceará, em consonância com Resolução CONAMA nº 430. Na Tabela 1 estão apresentadas as condições e padrões de lançamentos de efluentes sanitários em corpos hídricos receptores com base nas Resoluções CONAMA nº 430/2011 e COEMA nº 2/2017.

Tabela 1. Padrões para lançamento de efluentes sanitários tratados em corpo hídrico receptor.

| Nenhuma entrada de índice de ilustrações foi encontrada. | COEMA n° 02/2017 | CONAMA n° 430/2011 |
|--|---|---|
| pH | $5 \leq \text{pH} \leq 9$ | $5 \leq \text{pH} \leq 9$ |
| Temperatura | $< 40^{\circ}\text{C}$ | $< 40^{\circ}\text{C}$ |
| Materiais sedimentáveis | $\leq 1 \text{ mL L}^{-1}$ | $\leq 1 \text{ mL L}^{-1}$ |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅ ²⁰) | $\leq 120 \text{ mg L}^{-1}$ | remoção mínima de 60% de DBO |
| Óleos e graxas | $\leq 100 \text{ mg L}^{-1}$ | a) Óleos minerais $\leq 20 \text{ mg L}^{-1}$ b) Óleos vegetais e gorduras animais $\leq 50 \text{ mg L}^{-1}$ |
| Materiais flutuantes | Ausência | Ausência |
| Sulfeto | $\leq 1 \text{ mg L}^{-1}$ | $\leq 1,0 \text{ mg/L}^{-1}$ |
| Coliformes termotolerantes | ≤ 5000 CT 100mL^{-1} | - |
| Sólidos suspensos totais | a) $\leq 150,0 \text{ mg/L}^{-1}$ para lagoas de estabilização b) $\leq 100 \text{ mg L}^{-1}$, para as demais tecnologias de tratamento | - |
| Nitrogênio amoniacal total | - | $20,0 \text{ mg L}^{-1}$ |

Fonte: Adaptado das Resoluções COEMA n° 02/2017 (Ceará, 2017) e CONAMA 430/2011 (Brasil, 2011).

No Artigo 5° da Resolução COEMA n° 2/2017 é relatado que o empreendedor, no processo de licenciamento, informará ao órgão ambiental a qualidade do corpo receptor, quer seja hídrico ou solo, e quando se tratar de licença de operação, a caracterização dos efluentes, conforme os parâmetros estabelecidos nesta Resolução; e no Artigo 17 da referida Resolução verifica-se que o lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos intermitentes deverá ser condicionado à caracterização de vazão dos mesmos, de forma a enquadrar adequadamente a disposição final do efluente, se no solo ou corpo hídrico, a

critério do órgão ambiental competente (Ceará, 2017).

De acordo com os Artigos 38, 39 e 40 da seção III da Resolução COEMA nº 02/2017 (Ceará, 2017), o reúso externo de efluentes sanitários para fins urbanos, agrícolas e florestais e ambientais deverá obedecer aos parâmetros específicos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Padrões para reúso urbano, agrícola e florestal e ambiental.

| Nenhuma entrada de índice de ilustrações foi encontrada. | Urbano | Agrícola e florestal | Ambiental |
|--|---|--|---|
| pH | $\leq 6,0 \leq \text{pH} \leq 8,5$ | $\leq 6,0 \leq \text{pH} \leq 8,5$ | $\leq 6,0 \leq \text{pH} \leq 8,5$ |
| Coliformes termotolerantes (CT) | $\leq 5000 \text{ CT } 100 \text{ mL}^{-1}$; | a) Não detectado em culturas consumidas cruas em contato direto com água de irrigação b) $\leq 1000 \text{ CT } 100 \text{ mL}^{-1}$ para as demais culturas. | $\leq 10.000 \text{ CT } 100 \text{ mL}^{-1}$ |
| Condutividade elétrica | $\leq 3,0 \text{ dS m}^{-1}$ | $\leq 3,0 \text{ dS m}^{-1}$ | $\leq 3,0 \text{ dS m}^{-1}$ |
| Ovos de helmintos | $\leq 1 \text{ ovo L}^{-1}$ | a) Não detectado em culturas consumidas cruas em contato direto com água de irrigação b) $\leq 1 \text{ ovo L}^{-1}$ para as demais culturas. | $\leq 1 \text{ ovo L}^{-1}$ |
| Razão de adsorção de sódio | - | $(15 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1})^{0,5}$ | - |

Fonte: Adaptado da Resolução COEMA nº 02/2017 (Ceará, 2017).

De acordo com a NBR 13969/1997 (Abnt, 1997), o reúso de água com origem doméstica é aplicado a fins não potáveis tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e de veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens. Para isto, o efluente deve ser tratado de forma a eliminar os riscos microbiológicos, bem como a sua condição estética para a aceitação do uso no ambiente domiciliar. Esta norma divide a água residuária doméstica em classes de uso:

- Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes:

turbidez inferior a 5 UNT, coliforme fecal inferior a 200 NMP 100 mL⁻¹; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg L⁻¹; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg L⁻¹ e 1,5 mg L⁻¹. Neste nível é geralmente necessário, tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante;

- Classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a 5 UNT, coliforme fecal inferior a 500 NMP 100 mL⁻¹, cloro residual superior a 0,5 mg L⁻¹. Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes;

- Classe 3: reuso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10 UNT, coliformes fecais inferiores a 500 NMP 100 mL⁻¹. Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão; e

- Classe 4: reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5000 NMP 100 mL⁻¹ e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg L⁻¹. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

A NBR n° 13969/1997 alerta, também, sobre a necessidade de se observar para o reuso de água cinza seguro e racional, a necessidade de adoção de um sistema de reservação e distribuição. Ao mesmo tempo, todo o sistema de reservação e distribuição para reuso de água deve ser identificado de modo claro e inconfundível, para não ocorrer uso errôneo com o sistema de água potável para outros fins.

2.3 Problemas ambientais do esgotamento sanitário inadequado e índices de atendimento de tratamento de águas residuárias.

Jordão & Pessôa (2014) apontam os despejos de águas residuárias domésticas, industriais e de drenagem urbana como as principais fontes poluidoras urbanas. Ainda, à medida que o desenvolvimento urbano aumenta são envolvidas duas atividades conflitantes colocadas por Tucci (2006): o aumento da demanda por água potável e a degradação dos corpos hídricos pela contaminação por resíduos urbanos e industriais.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), grande parte de todas as doenças que se alastram nos países em desenvolvimento são provenientes da água de má qualidade. A água contaminada prejudica a saúde das pessoas por meio da ingestão direta e pelo seu uso na higiene pessoal e no lazer, na agricultura e na indústria (Ribeiro & Rooke, 2010).

Frequentemente, os mananciais recebem cargas de efluentes muito elevadas para sua vazão e não conseguem se recuperar pela autodepuração, necessitando de depuração artificial ou tratamento (Cunha, 2010). Como impacto resultante do lançamento de efluentes não tratados, ou não tratados de forma satisfatória, ressalta-se o surgimento de várias doenças de veiculação hídrica (Toyama et al., 2016).

Toyama et al., (2016) destacam as doenças de veiculação hídrica mais frequentes: a diarreia por falta de água segura de abastecimento da população; malária, dengue e esquistossomose relacionadas com o ambiente e a disposição da água e a leptospirose que é a contaminação da urina do rato na água de inundação.

Além disso, as águas residuárias domésticas, industriais e drenadas de águas urbanas e rurais possuem quantidades expressivas de nutrientes, tais como: nitrogênio e fósforo, que favorecem a eutrofização, com o surgimento de fitoplâncton e de plantas aquáticas nos corpos hídricos receptores, prejudicando a qualidade da água para consumo humano (Barreto et al., 2013)

No ano de 2015, os índices de atendimento e de tratamento de água residuária doméstica em Mossoró foram de 49,20 e 100% (Brasil, 2017), respectivamente, sendo estes superiores aos valores médios do Estado do Rio Grande do Norte e da região Nordeste, mas com índice de atendimento inferior ao valor nacional, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Índices de atendimento e tratamento de esgoto em Mossoró, Rio Grande do Norte, Nordeste e Brasil

| Nenhuma entrada de índice de ilustrações foi encontrada. | Índice de atendimento com rede de esgoto (%) (IN024) | Índice de tratamento dos esgotos (%) (IN016) |
|--|---|---|
| Mossoró | 49,20 | 100,00 |
| Rio Grande do Norte | 28,46 | 81,47 |
| Nordeste | 32,20 | 78,50 |
| Brasil | 58,00 | 74,00 |

Fonte: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Brasil, 2017).

No Município de Mossoró, 100% da água residuária coletada é tratada em cinco estações de tratamento de esgotos (ETEs): A ETE das Cajazeiras, a ETE Vingt-Rosado, a ETE Lagoa das Malvinas, a ETE Marechal Dutra e a ETE Rincão (Mossoró, 2010; Brasil, 2017). No entanto, a parcela não coletada do esgoto, correspondente à 50,80%, em sua grande maioria é lançada no rio Apodi-Mossoró .

O crescimento rápido e desordenado em Mossoró é o principal fator da degradação do rio que intercepta o município e está situado na bacia do Apodi – Mossoró. Petta et al. (2010) afirmaram que um dos principais fatores dessa poluição é o despejo de efluentes sem tratamento. Os referidos autores enfatizam, entre outras propostas de planejamento urbano, o tratamento desses efluentes. Além disso, o município está localizado na região semiárida, com precipitações pluviométricas irregulares, o que torna a água um fator limitante nas áreas rurais, favorecendo a procura pela área urbana (Cirilo, 2008).

2.4 Características das águas residuárias domésticas

Segundo a NBR 9648/86, água residuária doméstica é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas (Brasil, 1986). Segundo Souza & Duarte (2014), as águas residuárias domésticas são produzidas pelas atividades nas residências, restaurantes, supermercados, bares e outros, e contém elevado nível populacional de agentes patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos), que prejudicam a saúde pública.

De acordo com Metcalf & Eddy (2014), a composição físico-química e microbiológica das águas residuárias domésticas variam no tempo e espaço, em função de diversas variáveis desde o clima até hábitos culturais, o que torna complexa sua caracterização. Na Tabela 4 constam as características físico-químicas e microbiológica de

águas residuárias domésticas.

Tabela 4. Características físico-químicas e microbiológica de águas residuárias domésticas.

| Características | Forte | Médio | Fraco |
|--|------------------------------------|-------|-------|
| | mg L ⁻¹ | | |
| Características físico-químicas | | | |
| DBO ₅ ²⁰ | 400 | 220 | 110 |
| DQO | 1.000 | 500 | 250 |
| Carbono orgânico total | 290 | 160 | 80 |
| Nitrogênio total – NTK | 85 | 40 | 20 |
| Nitrogênio orgânico | 35 | 15 | 08 |
| Nitrogênio amoniacal | 50 | 25 | 12 |
| Fósforo total | 15 | 08 | 04 |
| Fósforo orgânico | 05 | 03 | 01 |
| Fósforo inorgânico | 10 | 05 | 03 |
| Cloreto | 100 | 50 | 30 |
| Sulfato | 50 | 30 | 20 |
| Óleos e graxas | 150 | 100 | 50 |
| Concentrações de sólidos | | | |
| Sólidos totais | 1200 | 720 | 350 |
| Sólidos dissolvidos | 850 | 500 | 250 |
| Sólidos dissolvidos fixos | 850 | 500 | 250 |
| Sólidos dissolvidos voláteis | 525 | 300 | 145 |
| Sólidos em suspensão totais | 350 | 220 | 100 |
| Sólidos em suspensão fixos | 75 | 55 | 20 |
| Sólidos em suspensão voláteis | 275 | 165 | 80 |
| Sólidos sedimentáveis | 20 | 10 | 05 |
| Concentrações de organismos | | | |
| Bactérias Totais | 10 ⁹ - 10 ¹⁰ | | |
| Coliformes Totais | 10 ⁷ – 10 ⁸ | | |
| Coliformes Fecais | 10 ⁶ – 10 ⁷ | | |
| Estreptococcus Fecais | 10 ⁵ - 10 ⁶ | | |
| <i>Salmonella Typhosa</i> | 10 – 10 ⁴ | | |
| Cistos de Protozoários | 10 ² - 10 ⁵ | | |
| Vírus | 10 ³ – 10 ⁴ | | |
| Ovos de Helminto | 10 ¹ - 10 ³ | | |

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (2014).

As águas residuárias domésticas possuem excesso de nitrogênio e fósforo; isto faz com que, ao ser submetido ao tratamento biológico, haverá incorporação desses macronutrientes nas células que compõem parte do sistema, mas o excesso deverá ser ainda grande. Esta é uma importante preocupação em termos de tratamento de águas residuárias, exigindo tratamento avançado quando se tem lançamento em represas, onde o problema da eutrofização poderá ter consequências drásticas Metcalf & Eddy (2014).

2.5 Técnicas de tratamento de esgoto utilizadas em condomínios.

Para Reis & Mendonça (2014) nas últimas décadas, as pressões ambientais e econômicas têm forçado a busca de projetos e estratégias de operação que tornem os processos de tratamento de águas residuárias domésticas mais eficientes, pois, projetistas e operadores têm se defrontado com elevados custos de implantação dos sistemas de tratamento, crescentes custos de operação como aqueles relacionados à energia elétrica, produtos químicos e mão de obra. Ainda, com padrões de qualidade ambientais cada vez mais rigorosos.

Os processos de tratamento de esgoto envolvem: o tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia) que tem a função de remover sólidos grosseiros; tratamento primário - que consiste na remoção de sólidos utilizando processos físicos e químicos como a decantação, coagulação, floculação e filtração; tratamento secundário que visa oxidar a matéria orgânica complexa como carboidratos, óleos, graxas, lipídeos e proteínas em compostos mais simples e menos poluentes como CO_2 , NH_3 , H_2O , H_2S , por meio de microrganismos, sendo essa oxidação feita de forma aeróbia ou anaeróbia; tratamento terciário – tem como objetivo a remoção de microrganismos patogênicos e, ou elementos químicos específicos (Albornoz & Tessaro, 2015).

Os sistemas de tratamento de águas residuárias normalmente utilizam de forma otimizada, os fenômenos de biodegradação que já ocorrem na natureza. Os métodos mais comuns de tratamento são os biológicos, que utilizam os microrganismos presentes no próprio efluente para degradar a matéria orgânica. Nos sistemas convencionais de tratamento o efluente passa por um decantador primário seguido de tanques de aeração, onde há a geração do lodo primário, sendo esse um material de sedimentação altamente instável, e do lodo secundário também, denominado lodo ativado, que é instável e precisa passar por processos suplementares de estabilização (Albornoz & Tessaro , 2015).

Nos processos aeróbios, a comunidade microbiana utiliza a matéria orgânica como doadora de elétrons para oxidação da matéria orgânica, sendo que devido a pouca quantidade de nutrientes é gerado um estresse nas bactérias que realizam a conversão dos poluentes, o que propicia um ambiente predatório entre as bactérias com a comunidade microbiana. Dessa forma, as bactérias produzem camadas de polímeros que facilitam a

adesão em flocos formando a biomassa. No geral, a biomassa contém aproximadamente 30% de proteína, 40% de carboidratos e os restantes 30% são lipídios sob formas particuladas (Anjum et al., 2016).

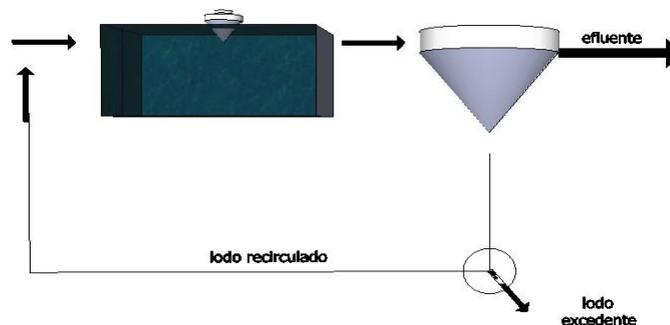
Zang & Li (2014) investigaram a remoção de seis compostos fenólicos de desrupção endócrina (estrona, 17 β -estradiol, 17 α -etinilestradiol, estriol, bisfenol A e 4-nonilfenóis) em sistema de lodos ativados, empregando-se como tratamento complementar a radiação ultravioleta artificial (UV), o peróxido de hidrogênio H₂O₂ e os processos combinados UV / H₂O₂. Ao compararem os tratamentos complementares evidenciaram que o processo combinado UV / H₂O₂ foi mais eficaz na degradação de estrona, 17 β -estradiol, 17 α -etinilestradiol, estriol, bisfenol A e 4-nonilfenóis.

No tratamento por lodos ativados, a biomassa permanece em suspensão por meio do movimento provocado pela aeração do tanque. Ocorre também, a recirculação do lodo em decantador secundário. Entretanto, uma das principais desvantagens do processo, consiste nos altos níveis de nitrato produzidos como resultado da transformação do nitrogênio amoniacal (Anjum et al., 2016). O processo de lodos ativados também, apresentam baixa remoção de fósforo, visto que todo fosforo orgânico é mineralizado na forma de fosfato e este é removido no lodo de excesso que é gerado no sistema, porém apenas 2,5% são efetivamente removidos.

Apesar dos processos de lodos ativados, normalmente, apresentarem elevados consumos de energia, consideráveis índices de mecanização e elevadas produções de lodo; os mesmos, produzem efluentes finais com elevada qualidade e apresentam requisitos de área para implantação inferiores àqueles apresentados por outros processos aeróbios, o que motiva a escolha de sua implantação (Reis & Mendonça, 2014).

von Sperling (2012) apresenta as unidades integrantes da etapa biológica de um sistema de lodos ativados (fluxo líquido) na Figura 1, são: tanque de aeração (reator); tanque de decantação (decantador secundário) e recirculação de lodo.

Figura 1. Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados.(fluxo líquido).



Fonte: adaptado de von Sperling (2012).

No reator ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), o que permite a clarificação do efluente final. No fundo do decantador secundário são recirculados para o reator, os sólidos que sedimentam, esse processo de recirculação aumenta a concentração de biomassa, bem como a eficiência do sistema. A recirculação do lodo provoca uma elevada concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração, onde há também a entrada contínua de alimento na forma de DBO de efluentes domésticos, onde os microrganismos crescem e se reproduzem continuamente. Para equilíbrio do sistema é necessário a retirada do lodo excedente, que deve ser tratado, geralmente compreendendo, adensamento, estabilização e desidratção. (von Sperling, 2012).

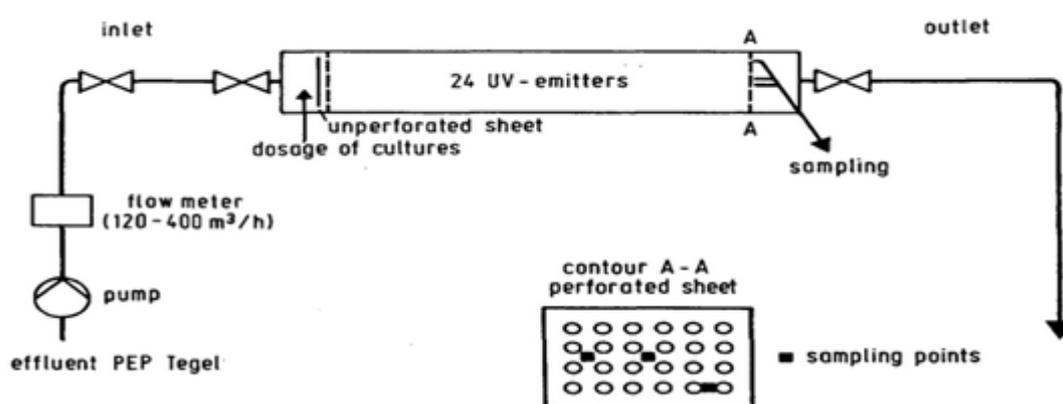
Segundo Medeiros et al., (2010), os principais processos de desinfecção de águas residuárias domésticas são divididos em: Naturais (lagoas de estabilização e disposição no solo); Artificiais - Químicos (cloração, dióxido de cloro, ozonização, mistura de oxidantes e outros) – Físicos (radiação UV, radiação gama, membranas filtrantes, filtração terciária, entre outros). Nos processos naturais há agentes físicos e químicos naturalmente presentes como o pH, temperatura, radiação solar, oxigênio dissolvido, bem como a ação de predação e competição entre os organismos. Entre os processos físicos a UV é a mais utilizada, por radiação solar ou por reatores que utilizam lâmpadas germicidas especiais. A desinfecção torna-se de suma importância para a proteção da saúde pública, pois reduz os riscos de transmissão de doenças devido à inativação dos organismos patogênicos.

Quanto à desinfecção por UV, sua eficiência esta associada na aplicação de ondas eletromagnéticas, no espectro de frequência visual violeta e ultravioleta no efluente, desencadeando alterações estruturais no ácido desoxirribonucleico (DNA) dos microrganismos e, por conseguinte alterando seu ciclo reprodutivo e ocasionando inativação (Medeiros et al., 2010).

Este método apresenta vantagem por sua eficiência e simplicidade, não necessitando da adição de substância química ou aditivos. Por outro lado, não há qualquer interferência sobre as características físico-químicas da água residuária doméstica, exceto da maior ou menor concentração de sólidos em suspensão, onde, a fonte de energia UV é tipicamente uma lâmpada de vapor de mercúrio de baixa ou média pressão que emitem cerca de 85% de sua energia no comprimento de onda de 253,7nm. A geração da radiação se dá pela passagem de um arco elétrico pelo vapor de mercúrio, resultando em emissão de UV (Jordão & Pessoa, 2014).

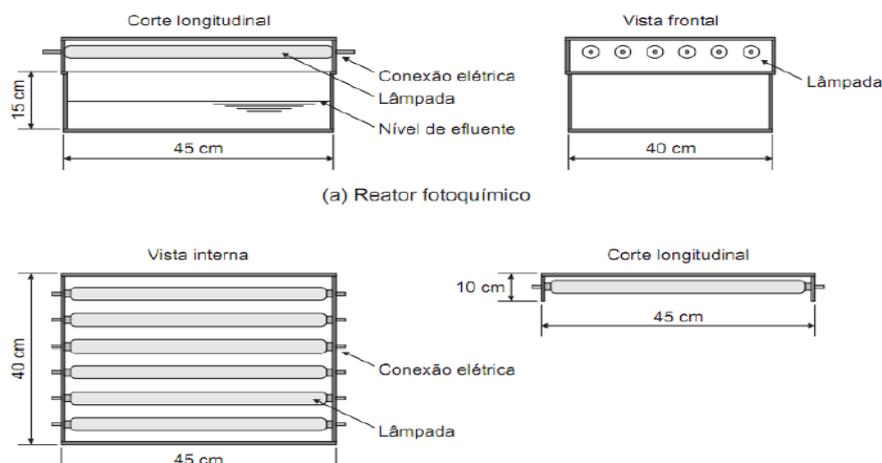
De acordo com o autor supracitado, as lâmpadas podem ser montadas em contato com o efluente doméstico, internamente ao reator, encamisadas por tubos de quartzo como medida de proteção (Figura 2); e, sem contato com a água residuária doméstica (Figura 3), nesse caso do lado externo do foto-reator, fixadas em refletores acima da superfície livre do líquido.

Figura 2. Esquema de tratamento por radiação ultravioleta artificial (UV) - contato direto com o efluente.



Fonte: Dizer et al. (1993).

Figura 3. Esquemas de tratamento por radiação ultravioleta artificial (UV) - irradiação superficial.

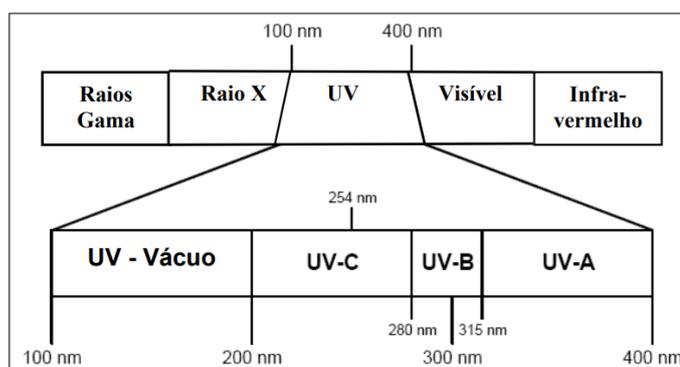


Fonte: Bilotta & Daniel (2007).

A radiação UV está dentro de uma região do espectro eletromagnético (Figura 4) entre o raio-x e a radiação visível, dividido em quatro faixas: UV – Vácuo que corresponde entre os comprimentos de onda de 100 e 200 nm; UV – C entre 200 e 280 nm; UV – B entre 280 e 315 nm e UV – A de 315 a 400nm, sendo o intervalo de ação desinfetante mais potente entre 245-285nm (Medeiros et al., 2010).

Além das vantagens já mencionadas para a radiação UV, destaca-se: a facilidade de operação e segurança; eliminação do uso de reagentes e produtos químicos; e eliminação dos riscos de formação de compostos organoclorados. Suas desvantagens principais que ocasionam a limitação e a aplicabilidade aos efluentes secundários ou terciários são: a limpeza periódica dos tubos das lâmpadas ; água residuária doméstica deve apresentar baixa concentração de sólidos em suspensão e baixa turbidez (Jordão & Pessoa, 2014).

Figura 4. Radiação UV no espectro eletromagnético.



Fonte: USEPA (2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada em uma Estação de Tratamento de Efluentes Domésticos (ETE) (Figura 5) de um loteamento localizado no município de Mossoró-RN.

Segundo Koppen, o clima da região de Mossoró é classificado como BSh, semiárido, quente e seco, com precipitação pluviométrica anual média menor que 650 mm e temperatura anual média maior que 26,5°C (Alvares et al., 2013).

Figura 5. Imagem da estação de tratamento de efluentes domésticos (ETE) de um condomínio urbano de Mossoró-RN.



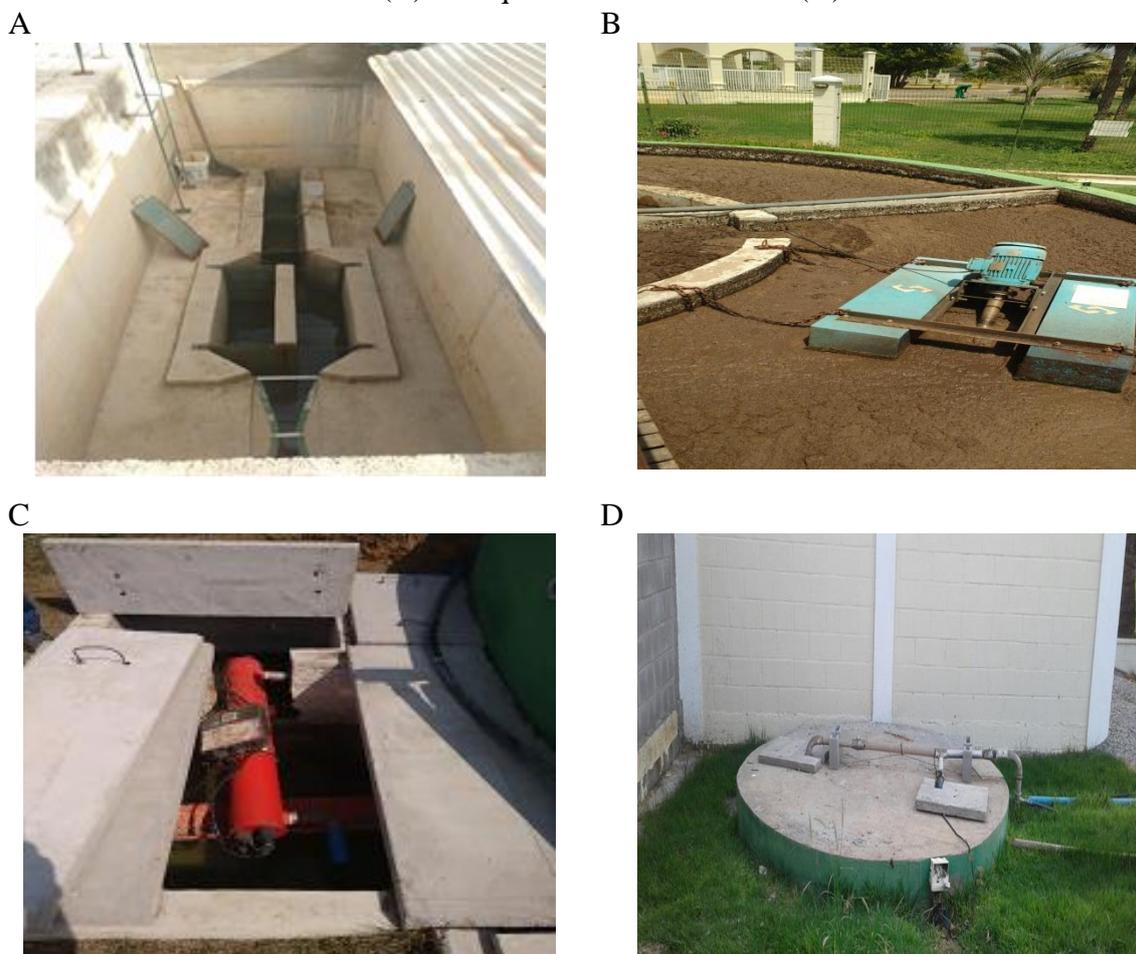
Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Atualmente esta ETE opera com a vazão de $1,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, atendendo a demanda de 103 residências, a mesma, tem vazão de projeto o valor de $50,08 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ e possibilita o tratamento da água residuária do condomínio em grade, desarenador, reator biológico aerado e reator ultravioleta artificial.

Os componentes da ETE do condomínio estão apresentados na Figura 2. O sistema preliminar é composto por grade e desarenadores em duplicata e de infraestruturas auxiliares tais como calha de recepção, calha parshall e tanque de recalque (Figuras 6A). Inicialmente a água residuária doméstica coletada das residências intercepta a calha de recepção, tendo os sólidos grosseiros e a areia retidos nas duas grades e no desarenador, respectivamente, em seguida o efluente passa pela calha parshall para medição da vazão e

por fim este é armazenado em um tanque de recalque, antes de seguir para a próxima etapa de tratamento. O resíduo retido nas grades e no desarenador é destinado ao aterro sanitário.

Figura 6. Imagens dos dispositivos de tratamento da água residuária doméstica na estação do condomínio, destacando-se o sistema preliminar (A), reator biológico aerado (B), Reator Ultravioleta Artificial(C) e tanque de armazenamento (D).



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Do tanque de recalque o efluente segue para o reator biológico aerado (Figura 6B) composto de um tanque de aeração e um sedimentador. O sistema de aeração possui dois aeradores que operam de forma alternada, a cada 3 h, estes fornecem oxigênio para as bactérias aeróbias degradarem o material orgânico presente no efluente, resultando em remoção de DBO_5^{20} e DQO. Os flocos formados durante o processo de aeração são removidos no sedimentador. O lodo presente no fluido decanta no fundo do sedimentador e uma bomba possibilita a recirculação desse lodo para o tanque de aeração, aumentando assim o nível populacional de bactérias no meio líquido.

A etapa final de tratamento do efluente consiste na exposição à radiação ultravioleta na faixa 253,7 nm gerada por três lâmpadas germicidas, medindo 1,20 m de comprimento para a inativação dos microrganismos patogênicos (Figura 6C). Após a desinfecção o efluente é armazenado em um reservatório (Figura 6D) para irrigação da vegetação do condomínio.

Todo lodo gerado na estação do condomínio passa por processo de deságue e desidratação (Figura 7) para posterior destino ao aterro sanitário. O efluente drenado retorna para o reator biológico aerado.

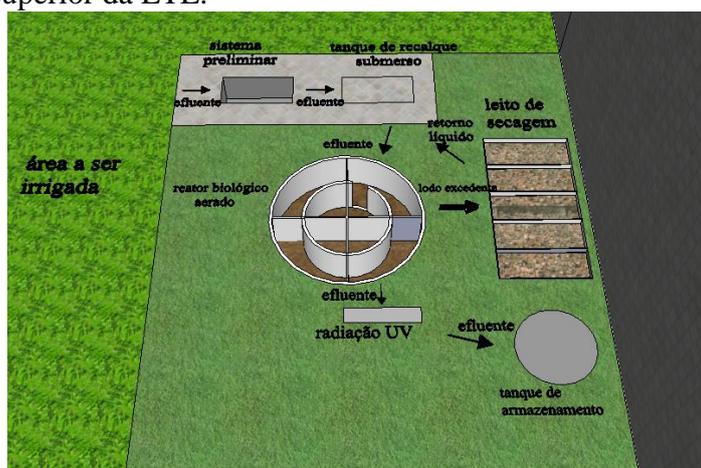
Figura 7. Imagem do leito de secagem para deságue e desidratação do lodo.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Para melhor compreensão da ETE foi elaborado um croqui da vista superior conforme a Figura 8.

Figura 8. Vista superior da ETE.



Fonte: Arquivo pessoal (2018) a partir do SketchUp 8.

3.2 Monitoramento da estação de tratamento de efluente doméstico do condomínio

Durante o período experimental, de julho a agosto de 2017, foram realizadas quatro amostragens de efluente na estação de tratamento de água residuária doméstica nas datas

de 05 de julho, 02 de agosto, 19 de setembro e 17 de outubro de 2017. A amostragem do efluente foi realizada em três pontos: a) Ponto 1 - efluente coletado à montante do reator biológico aerado; b) Ponto 2 - efluente coletado à jusante do reator biológico aerado; e c) Ponto 3 - efluente coletado à jusante do reator ultravioleta artificial. Cada amostra composta foi resultante da junção de três amostras simples coletadas às 7:00h, 8:30h e 10:00h coletadas em cada um dos três pontos da estação. A metodologia foi adaptada de trabalhos anteriores com Nobre e Feitosa (2015) que estudaram a mesma ETE.

Após coleta as amostras foram imediatamente armazenadas em caixa isotérmica à 4°C, sendo posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) e Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAM) ambos pertencentes à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Laboratório de Físico-Química (LFQ) da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN).

As amostras foram coletadas em frascos, com os seguintes volumes: frascos estéreis de 100 mL para análises microbiológicas e 2 frascos de 1L para a caracterização físico-química de cada ponto. Para as análises de ovos de helmintos, as amostras foram coletadas em frasco de 1L para o ponto 1 e frascos de 10L para o ponto 3. Ao todo, foram coletadas doze amostras de efluente para caracterização físico-química e microbiológica, sendo quatro delas sem tratamento, quatro com tratamento biológico por lodos ativados e as outras quatro após tratamento por lodos ativados seguido de desinfecção UV-artificial.

3.2.1 Descrição das análises físico-químicas e microbiológicas.

As análises realizadas no LASAP/ UFERSA compreenderam os atributos: potencial hidrogeniônico (pH), obtido através de um pHgâmetro de bancada; condutividade elétrica (CE), medida com um condutivímetro de bancada; sódio (Na^+) e potássio (K^+), determinados com um fotômetro de chama; cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloreto (Cl^-), carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-) obtidos por titulação, estas análises seguiram as recomendações da Embrapa (2009).

O pH foi determinado a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, para posterior leitura no pHmetro, marca TECNAL 3MP.

A condutividade elétrica foi obtida a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, para posterior leitura no condutivímetro.

Os teores de Na^+ e K^+ foram determinadas a partir da retirada de 20 mL da amostra, alocada em copo descartável, para que, após passar pela curva de calibração, fosse feita a

leitura em fotômetro de chama. Quando necessária a diluição, uma pequena parte da amostra do efluente era misturada à água deionizada.

As concentrações de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ foram obtidas a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, 4 mL de coquetel (solução tampão de pH 10) e uma pitada do indicador negro de ericromo, obtendo-se coloração rosa. Em seguida, era feita a titulação, com a solução de ácido etileno diamina tetra acético (EDTA), até obter o ponto de viragem (coloração azul).

O teor de Ca^{2+} foi determinado a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, 3 mL da solução de hidróxido de potássio (KOH) à 10% e uma pitada do indicador calcon, obtendo-se coloração rosa. Em seguida, foi feita a titulação, com a solução de EDTA, até obter o ponto de viragem (coloração azul).

A concentração de Mg^{2+} foi determinada pela diferença entre os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e o teor de Ca^{2+} .

A concentração de Cl^- foi determinada a partir da retirada de 25 mL da amostra, alocada em copo descartável, e 3 gotas de cromato de potássio. Em seguida, realizou-se a titulação, com a solução de nitrato de prata (AgNO_3), até obter o ponto de viragem (coloração avermelhada – cor de telha).

O teor de CO_3^{2-} foi obtido a partir da retirada de 50 mL da amostra, alocada em copo descartável e 3 gotas de fenolftaleína, observando, com esta ação, se ocorreu, ou não, a presença de tonalidade rosa na amostra. Caso ocorra mudança de coloração, foi realizada a titulação com a solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0,0025 M, até que este ficasse, novamente, incolor.

A concentração de HCO_3^- foi determinada a partir da retirada de 50 mL da amostra, alocada em copo descartável e 3 gotas de alaranjado de metila. Na mesma amostra submetida a análise de CO_3^{2-} , foi feita a titulação com a solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0,0025 M, até obter o ponto de viragem (coloração alaranjada).

Com os teores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} calculou-se a razão de adsorção de sódio (RAS) por meio da equação 1.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

Em que:

RAS - Razão de adsorção de sódio, $(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{0,5}$;

Na^+ - Concentração de sódio, $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$;

Ca^{2+} - Concentração de cálcio, $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$; e

Mg^{2+} - Concentração de magnésio, $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

No LASAM/UFERSA foram realizadas as análises microbiológicas, bem como parte das análises físico-químicas. As análises compreenderam a determinação da turbidez (TB), por meio de um turbidímetro de bancada; Demanda Química de Oxigênio (DQO), pelo método do refluxo fechado - colorimétrico; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pelo método iodométrico (processo Winkler); e identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* pelo método do colilert, seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice et al., 2012) e enumeração de ovos de helmintos utilizando a Técnica de Bailenger modificada (Ayres & Mara, 1996).

A turbidez foi determinada a partir do método nefelométrico que consiste na retirada de, aproximadamente, 10 mL de amostra bem homogeneizada para alocação em cubeta. Posteriormente, foi feita a calibração do turbidímetro com a solução padrão e limpeza da cubeta com pano ou papel absorvente macio para inserção desta no equipamento de leitura.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi determinada a partir do método do refluxo fechado – colorimétrico. Para isso, utilizou-se uma solução de digestão (1,5 mL), preparada para valores de DQO nas faixas de 100 a 600 $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$ e menores que 90 $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$, inseridas nos frascos junto com a amostra (2,5 mL) e o ácido sulfúrico (3,5 mL) e levadas para o bloco digestor, à 150°C, por duas horas. Depois de esfriar, os mesmos foram colocados no rack. Em seguida, foi liberado o ar contido no interior dos frascos e

misturado seu conteúdo. Depois de limpos, foi medida a absorvância das amostras nos comprimentos de onda de 420 (até 90 mg O₂ L⁻¹) e 600 nm (DQO entre 100 e 600 mg O₂ L⁻¹) em espectrofotômetro microprocessado. A DQO foi calculada empregando-se a equação 2.

$$DQO = (MA - MB) \cdot D \cdot C \quad (2)$$

Em que:

DQO - Demanda Química de Oxigênio, mg L⁻¹;

MA - Média de leituras da amostra no espectrofotômetro, nm;

MB - Média de leituras do branco no espectrofotômetro, nm;

D - Fator de diluição, adimensional; e

C - Coeficiente da curva gerada pelo espectrofotômetro, nm;

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi obtida a partir do método iodométrico (processo Winkler). Para isso, utilizou-se água destilada adicionada de nutrientes, minerais e tampões (FeCl₃, CaCl₂, MgSO₄ e tampão de fosfato) submetida por 30 minutos ao processo de aeração em garrafão de vidro 20L. Os frascos de DBO são preenchido até metade de seu volume com a solução nutriente aerada, em seguida adiciona-se em cada frasco a diluição da amostra do efluente (colocada em placa agitadora magnética) e completa-se o volume do frasco de DBO com a solução. O oxigênio dissolvido (OD) foi medido, com sonda de OD acoplada a um medidor multiparâmetro, no dia da coleta da amostra e cinco dias após incubação à 20°C. No cálculo da DBO empregou-se a equação 3.

$$DBO_5^{20} = \frac{(OD_{inicial} - OD_{final})}{P} \quad (3)$$

Em que:

DBO₅²⁰ - Demanda Bioquímica de Oxigênio, mgO₂ L⁻¹;

OD_{inicial} - Oxigênio dissolvido inicial, mgO₂ L⁻¹;

OD_{final} - Oxigênio dissolvido final, mgO₂ L⁻¹; e

P - Fração volumétrica decimal de amostra (volume de amostra/volume do frasco), adimensional.

Os níveis populacionais de Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*) foram determinados a partir do método do colilert, em meio à adição da amostra, em frascos estéreis passados no autoclave, com capacidade mínima de 100 mL, e do meio de cultura. A amostra foi transferida com pipetas e provetas autoclavadas para os frascos com a água de diluição, em seguida foi adicionada uma ampola de colilert em cada frasco, depois de dissolvidos os grânulos, o material foi despejado em cartelas e seladas em seladora específica (Quanti-Tray Seab modelo 2x), posteriormente direcionadas a incubação em estufa de cultura por 24 horas, a uma temperatura de 35°C. Os resultados foram quantificados por tabela estatística do número provável NMP do sistema Quanti-Tray 2000. A presença de coliformes totais é indicada por uma coloração amarela intensa, enquanto que a presença de *E.coli* pode ser confirmada expondo-se as amostras positivas para coliformes totais à luz ultravioleta (365nm), que reagirá imitando fluorescência azul.

A enumeração de ovos de helmintos, seguiu a metodologia proposta por Bailenger modificado (Ayres & Mara, 1996). Para isso, coletou-se uma amostra de 1 L da água residuária à montante do reator biológico aerado (Ponto 1), e 10L para água residuária coletada à jusante do reator ultravioleta artificial (Ponto 3). A amostra de 1L foi colocada em um Becker de 1000 mL e a de 10L em um balde com capacidade equivalente, deixando-os sedimentar por um período de 24h. Depois da sedimentação removeu-se aproximadamente 90% do sobrenadante, usando um sifão. Em seguida transferiu-se cuidadosamente, o sedimento para os tubos da centrífuga, enxaguando o béquer com Tween. Os tubos foram pesados e ajustados simetricamente na centrífuga, procedendo em seguida a centrifugação a 1.000rpm por 15 minutos.

Após sucessivas centrifugações da amostra, com descarte do sobrenadante, o sedimento foi tratado com solução tampão aceto-acética (pH 4,5) e éter, para a separação do material gorduroso. Posteriormente, adicionou-se uma solução de sulfato de zinco de alta densidade ($ZnSO_4$ densidade 1,18), para a flutuação de possíveis ovos. Na contagem dos ovos utilizando-se uma câmara de McMaster, com observação no microscópio em objetivas de 10x e 40x. O número final de ovos da amostra da residuária doméstica foi calculado por meio da seguinte equação 5.

$$N = \frac{A \cdot X}{P \cdot V} \quad (5)$$

Em que:

N - Número de ovos de helmintos detectados, ovos L⁻¹;

A - Número médio de ovos de helmintos contados nas câmaras de McMaster, ovos;

X - Volume do produto final, mL;

P - Volume da câmara de McMaster (para câmara de dois retículos P = 0,30 mL)

V - Volume original da amostra, L.

No LFQ/UERN foram analisados os teores de sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD), sólidos suspensos (SS) e óleos e graxas (TOG) pelo método gravimétrico. Já o nitrogênio total (N_{total}), fósforo total (P_{total}) e nitrato (NO₃⁻) em espectrofotômetro. Estas análises foram adaptadas das metodologias que constam no Standard Methods for the examination of water and wastewater. (Rice et al., 2012).

Os sólidos totais (ST) e sólidos suspensos (SS) foram obtidos através da pesagem dos cadinhos aquecidos em mufla 600°C para retirar a umidade presente na porosidade da porcelana, após o resfriamento sem contato manual, adicionou-se 50mL da amostra, sendo posteriormente levada a estufa a 105°C até a completa evaporação do líquido, após resfriamento em dessecador, pesou-se novamente o cadinho mais amostra seca da água residuária. Na determinação do teor de ST empregou-se a equação 6.

$$ST = (M_i - M_c) \cdot 20 \quad (6)$$

Em que:

ST- Sólidos totais, mg L⁻¹;

M_i - Massa do cadinho após evaporação da água a 105°, g; e

M_c - Massa do cadinho mais amostra seca não filtrada, g.

As concentrações de sólidos dissolvidos totais (SDT) também foram determinadas com a pesagem dos cadinhos aquecidos em mufla 600°C, após o resfriamento sem contato manual, adicionou-se 50mL da amostra filtrada em membrana de fibra de vidro, sendo posteriormente levada a estufa a 105°C até a completa evaporação do líquido, após

resfriamento em dessecador, pesou-se novamente o cadinho mais amostra seca da água residuária. O teor de SDT foi obtido utilizando-se a equação 7.

$$SDT = (M_i - M_c) \cdot 20 \quad (7)$$

Em que:

ST- Sólidos totais, mg L⁻¹;

M_i - Massa do cadinho após evaporação da água a 105°, g; e

M_c - Massa do cadinho mais amostra seca filtrada, g.

Os sólidos suspensos foram obtidos pela diferença entre os teores de ST e SDT, como apresentado na equação 8.

$$SS = ST - SDT \quad (8)$$

Em que:

SS – Sólidos suspensos, mg L⁻¹;

ST – Sólidos totais, mg L⁻¹; e

SDT – Sólidos dissolvidos totais, mg L⁻¹.

Filtrados os teores de nitrogênio total (N_{total}) foram determinados em duplicata, as amostras foram filtradas e diluídas em balão volumétrico, dessa forma transferiu-se 10 mL para os tubos de ensaios, que em seguida foram lacrados e levados ao autoclave na temperatura máxima por 45min. Após isso, ficou em temperatura média por 1h, por fim realizou-se a leitura em espectrofotômetro.

As concentrações de fósforo total (P_{total}) foram determinadas em duplicata. As amostras foram diluídas em 10x, dessa forma transferiram-se 10 mL para o erlenmeyers, com posterior adição de 1mL de reagente misto (5ml ácido sulfúrico, 1mL de solução de tartarato de potássio e antimônio, 2mL de solução de molibdato de amônia e 2 mL de solução de ácido ascórbico). Após o desenvolvimento da cor azul, foi realizada a leitura em espectrofotômetro à 822 nm.

O teor de óleo e graxas (TOG) foi obtido colocando-se 1000 mL da amostra em funil de decantação, em seguida adicionou-se 0 a 60 mL de hexano e agitou-se, manualmente, para separação dos óleos e graxas. Após a decantação observou-se a formação de duas

fases, na qual a camada superior, contendo o hexano, óleos e graxas foi transferido para um cadinho, previamente pesado e levado para estufa à 60°C por 24h. Após resfriamento até a temperatura ambiente em dessecador as massas dos resíduos foram determinadas e o TOG calculado por meio da equação 9.

$$\text{TOG} = \frac{(\text{Mcf} - \text{Mc})}{V} \cdot 1000000 \quad (9)$$

Em que:

TOG - Teor de óleos e graxas, mg L⁻¹;

Mcf - Massa cadinho mais resíduos, g;

Mc - Massa do cadinho, g; e

V – Volume da amostra, mL.

Para a determinação do Nitrato (NO₃⁻) adicionou-se 1mL de hidróxido de alumínio em 25mL da amostra, agitou-se a mesma e, em seguida foi colocada para decantar; após isso a amostra foi filtrada e realizou-se a leitura em espectrofotômetro à 220nm.

3.3 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições no tempo, tendo os pontos de coleta P1 (efluente coletado à montante do reator bilógico aerado); P2 (efluente colectado à jusante do reator biológico aerado) e P3(efluente colectado à jusante do reator ultravioleta artificial).

Os dados foram submetidos à estatística descritiva, obtendo a média e o desvio-padrão, valor máximo e valor mínimo dos atributos físico-químicos e microbiológicos da água com e sem tratamento.

3.4 Cálculo da dose de água residuária doméstica para inimizsar os problemas ambientais.

De acordo com a EPA, em águas residuais municipais aplicadas a sistemas, o nitrogênio é geralmente o constituinte limitante quando a proteção de aquíferos de água subterrânea potável é uma preocupação. Se a água percolada de um sistema entrar em um aquífero de água subterrânea portátil, então o sistema deve ser projetado de tal forma que a

concentração de nitrogênio nitrato na água do reservatório e no limite do projeto não exceda 10mg / l.

A taxa de carga hidráulica anual permitida com base nos limites de nitrogênio, pode ser calculada usando a equação 10.

$$L_w (n) = \frac{(C_p)(P_r - ET) + (U) (10)}{(1 - f)(C_n) - C_p} \quad (10)$$

Em que:

$L_w (n)$ - Taxa de carga hidráulica anual permitida da permeabilidade baseada em limites do nitrogênio, cm ano^{-1} ;

C_p - Concentração de nitrogênio na percolação de água, mg L^{-1} ;

P_r - Precipitação pluviométrica, cm ano^{-1} ;

ET - Evapotranspiração, cm ano^{-1} ;

u - Absorção de nitrogênio pela cultura, $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$;

cn - Concentração de nitrogênio em águas residuais aplicadas mg L^{-1} (após perdas na aplicação em tratamento); e

f - Fração de nitrogênio aplicado removido por desnitrificação e volatilização, decimal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à ETE o mesmo foi operado de forma estável e eficiente durante o período experimental. Notou-se que ao longo do período experimental houve oscilações nos valores dos atributos físicos químicos e microbiológicos da água residuária doméstica sem tratamento. De acordo com von Sperling (2014), as características das águas residuárias variam de acordo com o uso a qual foi dado, concomitante com o clima, a situação social e econômica, e hábitos da população.

Quanto aos atributos físico-químicos, observou-se que a eficiência na remoção da turbidez e sólidos suspensos se manteve durante todo o período experimental, enquanto que houve baixa remoção de sólidos totais e aumento dos Sólidos Dissolvidos junto ao efluente final. De acordo com von Sperling (2014), essas variações nas concentrações da biomassa estão relacionadas aos itens essenciais no processo de lodos ativados: tanque de aeração, decantação, a recirculação do lodo e a retirada do lodo excedente. Dessa forma, a concentração dos sólidos está associada à entrada de altas cargas de matéria orgânica, com aeração insuficiente e aumento do tempo para o descarte do lodo excedente.

Foi observada alta remoção de matéria orgânica, em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio, inclusive quando estes dados do efluente da água residuária doméstica bruta se elevaram ao longo do período experimental. Em relação à oxidação dos compostos nitrogenados, obteve-se aumento de nitrato e nitrogênio total ao longo do processo, o que já era esperado, pois os sistema aeróbio por lodos ativado favorece a nitrificação pela ação das bactérias como é colocado por von Sperling (2005) sendo a conversão amônia-nitrito-nitrato (nitrificação) que implica no consumo de oxigênio e alcalinidade. Já no processo de desnitrificação (nitrato- nitrogênio gasoso) implica em economia de oxigênio e alcalinidade ou deterioração da sedimentabilidade do lodo devido à aderência de bolhas de N₂ aos flocos em sedimentação (von Sperling, 2005). A maior parte do nitrogênio total tem origem fisiológica, referente a poluição sendo indispensável para o crescimento de algas; na forma de nitrato associa-se a doenças como a methaemoglobinemia. No processo de tratamento de esgotos, o nitrogênio é indispensável para o crescimento dos microrganismos,

Em relação aos microrganismos houve alta remoção de coliformes totais e *E. coli*, principalmente pela desinfecção por UV artificial. A taxa de inativação bacteriana de *E. coli* é proporcional à dose de radiação (Taghipour, 2004).

4.1. Análise do desempenho da estação de tratamento de águas residuárias domésticas quanto à alteração de atributos físicos e físico-químicos relacionados aos riscos de salinização e sodificação do solo.

Na Tabela 5 está apresentados os atributos físico e físico-químicos do efluente, ao longo do tempo, analisados em três pontos de coletas na estação de tratamento de água residuária doméstica de um condomínio de Mossoró – RN.

Na Tabela 6 encontram-se os valores médios o desvio padrão dos atributos físico e físico químicos do efluente, ao longo do tempo, analisados em três pontos de coletas na estação de tratamento de água residuária doméstica de um condomínio de Mossoró – RN.

Tabela 5. Atributos físicos e físico-químicos do efluente ao longo do tempo, analisados em três pontos de coleta na estação de Tratamento de água residuária doméstica de um condomínio de Mossoró.

| Atributos | Unidade | 05/07/17 | | | 02/8/17 | | | 19/09/17 | | | 17/10/17 | | |
|------------------|---|----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | | EMR | EJR | EJRUV | EMR | EJR | EJRUV | EMR | EJR | EJRUV | EMR | EJR | EJRUV |
| T | °C | 25,30 | 22,10 | 23,60 | 26,70 | 25,30 | 25,30 | 27,20 | 25,30 | 25,20 | 26,40 | 24,20 | 23,50 |
| TB | UNT | 31,50 | 1,20 | 0,80 | 178,00 | 2,66 | 1,50 | 485,00 | 8,18 | 2,49 | 118,00 | 2,30 | 6,96 |
| ST | mg L ⁻¹ | 974,00 | 760,00 | 774,00 | 1428,00 | 854,00 | 824,00 | 776,00 | 776,00 | 856,00 | 990,00 | 800,00 | 770,00 |
| SST | mg L ⁻¹ | 186,00 | 102,00 | 104,00 | 36,80 | 24,00 | 22,00 | 34,00 | 38,00 | 36,00 | 858,00 | 790,00 | 746,00 |
| SDT | mg L ⁻¹ | 788,00 | 658,00 | 670,00 | 1391,20 | 830,00 | 802,00 | 742,00 | 738,00 | 820,00 | 132,00 | 10,00 | 24,00 |
| pH | - | 7,36 | 7,24 | 7,38 | 7,29 | 7,27 | 7,38 | 7,78 | 7,37 | 7,33 | 7,91 | 7,62 | 7,32 |
| CE | dS m ⁻¹ | 1,47 | 0,96 | 0,40 | 0,74 | 0,70 | 0,72 | 1,49 | 1,16 | 1,15 | 1,41 | 1,43 | 1,45 |
| Na ⁺ | mmol _c L ⁻¹ | 4,22 | 4,27 | 5,03 | 4,80 | 4,98 | 4,90 | 6,24 | 5,85 | 5,75 | 7,44 | 4,99 | 5,12 |
| Ca ²⁺ | mmol _c L ⁻¹ | 2,31 | 2,58 | 2,80 | 3,20 | 4,20 | 3,18 | 3,80 | 2,83 | 2,70 | 2,07 | 2,08 | 2,19 |
| Mg ²⁺ | mmol _c L ⁻¹ | 1,99 | 1,50 | 1,57 | 0,83 | 0,43 | 1,33 | 0,47 | 1,67 | 2,31 | 2,04 | 1,70 | 1,32 |
| RAS | (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5} | 2,91 | 2,99 | 3,41 | 3,38 | 3,27 | 3,28 | 4,27 | 3,90 | 3,64 | 5,19 | 3,62 | 3,88 |

Nota: EMR – Efluente coletado à montante do reator biológico aerado; EJR - Efluente coletado à jusante do reator biológico aerado; EJRUV - Efluente coletado à jusante do reator ultravioleta artificial; T – Temperatura do efluente; TB – Turbidez; UNT – Unidade nefelométrica de turbidez. ST – Sólidos totais; SST– sólidos suspensos totais; SDT – Sólidos dissolvidos totais; pH – Potencial hidrogeniônico; CE – Condutividade elétrica; Na⁺ - Sódio; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio ; RAS - Razão de adsorção de sódio;

Fonte: Acervo pessoal (2017).

Tabela 6. Valores médios e desvio padrão dos atributos físico e físico químicos dos efluentes ao longo do tempo, analisados em três pontos de coleta na estação de tratamento de água residuária doméstica de um condomínio em Mossoró - RN

| Atributos | Unidade | Média e desvio padrão de EMR | | Média e desvio padrão de EJR | | Média e desvio padrão de EJRUUV | | Padrões | Remoção (%) |
|------------------|---|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|--------------------------------|-------------|
| | | Média | Desvio-padrão | Média | Desvio-padrão | Média | Desvio-padrão | | |
| T | °C | 26,40 | 0,70 | 24,23 | 1,51 | 24,40 | 0,98 | Inferior a 40°C ⁽¹⁾ | - |
| TB | UNT | 203,13 | 170,87 | 3,59 | 3,13 | 2,94 | 2,77 | <5 ⁽²⁾ | 98,55 |
| ST | mg L ⁻¹ | 1042,00 | 275,12 | 797,50 | 41,10 | 806,90 | 41,0 | - | 22,78 |
| SST | mg L ⁻¹ | 117,33 | 77,05 | 43,50 | 40,64 | 46,50 | 41,44 | ≤ 100 mg/L ⁽³⁾ | 60,37 |
| SDT | mg L ⁻¹ | 623,50 | 348,28 | 754,00 | 74,26 | 759,50 | 67,48 | < 200 mg/L ⁽⁴⁾ | -21,81 |
| pH | - | 7,59 | 0,27 | 7,38 | 0,17 | 7,35 | 0,03 | 6,0 e 8,5 ⁽⁵⁾ | - |
| CE | dS m ⁻¹ | 1,28 | 0,31 | 1,06 | 0,31 | 0,93 | 0,46 | 3,0 ⁽⁶⁾ | 27,20 |
| Na ⁺ | mmol _c L ⁻¹ | 5,68 | 1,26 | 5,02 | 0,65 | 5,20 | 0,38 | 40 ⁽⁶⁾ | 8,37 |
| Ca ²⁺ | mmol _c L ⁻¹ | 2,85 | 0,69 | 2,92 | 0,91 | 2,72 | 0,41 | 20 ⁽⁶⁾ | 4,48 |
| Mg ²⁺ | mmol _c L ⁻¹ | 1,33 | 0,69 | 1,33 | 0,60 | 1,63 | 0,47 | 5 ⁽⁶⁾ | -22,51 |
| RAS | (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5} | 3,94 | 0,87 | 3,45 | 0,40 | 3,55 | 0,26 | 15 ⁽⁶⁾ | 9,90 |

Nota: EMR – Efluente coletado à montante do reator biológico aerado; EJR - Efluente coletado à jusante do reator biológico aerado; EJRUUV - Efluente coletado à jusante do reator ultravioleta artificial; T – Temperatura do efluente; TB – Turbidez; UNT – Unidade nefelométrica de turbidez; ST – Sólidos totais; SST– sólidos suspensos totais; SDT – Sólidos dissolvidos totais; pH – Potencial hidrogeniônico; CE – Condutividade elétrica; Na⁺ - Sódio; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio ; RAS - Razão de adsorção de sódio;

⁽¹⁾Resolução COEMA n°2/2017, referente a critérios de reuso externo de efluentes sanitários em copos hídricos. ⁽²⁾ABNT 13.969/97 referente a classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos. ⁽³⁾Resolução COEMA n° 2/2017, referente a critérios de reuso externo de efluentes sanitários em copos hídricos, para demais tecnologias. ⁽⁴⁾ABNT 13.969/97 referente a classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes. ⁽⁵⁾Resolução COEMA n° 2/2017, referente a critérios de reuso urbanos, agrícolas, florestais e ambientais ⁽⁶⁾ Critérios de qualidade de água para a irrigação, apresentado por Almeida (2010)

Fonte: Acervo pessoal (2017).

A temperatura média do efluente, nos pontos, EMR (26,40°C); EJR (24,23°C) e EJRUUV(24,40°C) diminuiu em média 2°C ao longo do processo, essa diminuição está relacionada com a atividade biológica de cada etapa do processo, como foi colocado por von Sperling (2014) em que suas reações estão paralelas com as características química física e biológica, a mesma se manteve dentro do padrão (< 40°C) da Resolução COEMA n° 2/2017, referente a critérios de lançamento de efluentes domésticos em corpos hídricos receptores.(Ceará, 2017). Resultados semelhantes foram apresentados por Ferreira & Caraiola (2008) em sistema de águas residuárias domésticas por lodos ativados seguidos de desinfecção.

Em relação à turbidez (TB), enquanto em EJR e EJRUUV os valores de turbidez de 3,59 e 2,94 UNT, respectivamente, encontram-se dentro da faixa permitido (<5 NTU) em EMR verificou-se que a mesma extrapola o limite permitido (<5NTU), de NBR 13.969/1997 referente a classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos. (ABNT, 1997); o que indica uma remoção acima de 98% da turbidez. Paralelo a isso, Albornoz et al. (2016) ao avaliar um sistema de tratamento contínuo por lodo ativado com aeração prolongada no interior do tanque e desinfecção com hipoclorito de sódio a 10%, encontrou valor médio de turbidez na caixa de desinfecção igual a 60 UNT, ou seja, fora do padrão recomendado para este tipo de reúso.

As variáveis sólidos totais; sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais apresentaram médias em EJRUUV de 807, 46, e 760mg L⁻¹, dessa forma, os teores de sólidos suspensos totais atenderam o limite de 100mg L⁻¹ da Resolução COEMA n° 2/2017(Ceará, 2017) referente ao lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos. Para Jordão & Pessoa (2014), um decantador razoavelmente eficaz apresenta separação dos sólidos oriundos do tanque de aeração, o que promove um efluente final clarificado de baixa turbidez e valores de sólidos suspensos totais de 20 a 30mg/l.

Já os teores de sólidos dissolvidos totais extrapola o limite (< 200 mg L⁻¹) colocado pela NBR13.969/97 referente a classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes. Os sólidos dissolvidos totais aumentaram de 20 a 21% ao longo do processo. Em estudo paralelo, Ferraz et al. (2014) avaliou um sistema composto por tratamento preliminar (gradeamento grosso e fino), UASB (Reator anaeróbio de manta de lodo), câmara anóxica, tanque de aeração com biodiscos, decantação secundária, e desinfecção por raios ultravioletas o qual apresentou elevados valores de sólidos no tanque

de aeração, em que o autor relaciona os resultados com os procedimentos de recirculação e descarte de lodo excedente dos decantadores secundários para digestão nos reatores UASB.

O potencial hidrogeniônico (pH), se manteve na faixa de 7, atendendo aos padrões (entre 6 e 8,5) exigidos pela Resolução COEMA n° 2/2017, referente a critérios de reuso urbanos, agrícolas, florestais e ambientais, valores semelhantes foram encontrados no trabalho de Albornoz et al. (2016).

No tocante a qualidade da água para irrigação, foram encontradas médias em EJRUV de CE ($0,93 \text{ dS m}^{-1}$), Na^+ ($5,20 \text{ mmolc L}^{-1}$), Ca^{2+} ($2,72 \text{ mmolc L}^{-1}$), Mg^{2+} ($1,63 \text{ mmolc L}^{-1}$) e RAS ($3,55 \text{ mmolc L}^{-1}$)^{0,5}, correspondem as faixas propostas por Almeida (2010) de $0-3 \text{ dS m}^{-1}$, $0-40 \text{ mmolc L}^{-1}$, $0-20 \text{ mmolc L}^{-1}$, $0-5 \text{ mmolc L}^{-1}$, $0-15 \text{ mmolc L}^{-1}$)^{0,5}, respectivamente. Valores mais elevados de Ca^{2+} ($11,4 \text{ mmolc L}^{-1}$), Mg^{2+} ($4,58 \text{ mmolc L}^{-1}$) foi encontrado por Lacerda (2011) em águas residuárias domésticas oriundas do tratamento de lagoas de estabilização, apresentando um melhor desenvolvimento do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) comparada á água de abastecimento pública. De acordo com Almeida (2010), a condutividade elétrica (CE) é o parâmetro considerado para determinar sua potencialidade de salinizar um solo. Já a Relação de Adsorção de sódio (RAS), segundo o mesmo autor, é um índice que denota a proporção relativa do Na^+ competindo com o Ca^{2+} Mg^{2+} pelos lugares de intercambio no solo, quando existe predominância de íons de sódio, a estrutura e permeabilidade do solo está comprometida. Nesse caso, o efluente não causará problemas de salinização nem toxicidade às plantas. De acordo com a FAO 29, uma água com grau de qualidade de restrição ao uso leve a moderado deve apresentar CE de $0,7 - 3,00 \text{ dS m}^{-1}$ e Na de $3-9 \text{ mmolc L}^{-1}$.

4.2. Análise do desempenho da estação de tratamento de águas residuárias domésticas quanto à alteração de atributos químicos, bioquímicos e microbiológicos.

Na Tabela 7 está apresentados os atributos químicos, bioquímicos e microbiológicos do efluente, ao longo do tempo, analisados em três pontos da estação de tratamento de água residuária doméstica de um condomínio de Mossoró RN.

Conforme a Tabela 8 observa-se os valores médios e desvio padrão dos atributos químicos, bioquímicos e microbiológicos do efluente, ao longo do tempo, analisados em três pontos da estação de tratamento de água residuária doméstica de um condomínio de Mossoró RN.

Tabela 7. Atributos químicos, bioquímicos e microbiológicos do efluente, ao longo do tempo, analisados em três pontos da estação de tratamento de água residuária doméstica de um condomínio de Mossoró RN.

| Atributos | Unidade | 05/07/17 | | | 02/8/17 | | | 19/09/17 | | | 17/10/17 | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | EMR | EJR | EJRUV | EMR | EJR | EJRUV | EMR | EJR | EJRUV | EMR | EJR | EJRUV |
| DBO | mg L ⁻¹ | 210,00 | 3,00 | <2,00 | 294,00 | 2,00 | <2,00 | 379,00 | 4,00 | 2,00 | 394,00 | 3,00 | 2,00 |
| DQO | mg L ⁻¹ | 631,00 | 25,00 | 21,00 | 720,00 | 22,00 | 6,00 | 1015,00 | 33,00 | 27,00 | 667,00 | 23,00 | 18,00 |
| K ⁺ | mmol _c L ⁻¹ | 0,99 | 0,90 | 1,04 | 1,03 | 1,07 | 1,06 | 1,08 | 1,12 | 1,12 | 1,34 | 1,25 | 1,15 |
| Cl ⁻ | mmol _c L ⁻¹ | 3,13 | 3,67 | 4,00 | 3,97 | 4,67 | 4,67 | 3,53 | 4,60 | 3,73 | 3,33 | 4,87 | 1,47 |
| CO ₃ ²⁻ | mmol _c L ⁻¹ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HCO ₃ ⁻ | mmol _c L ⁻¹ | 9,20 | 2,77 | 2,63 | 7,37 | 1,97 | ,77 | 10,83 | 2,93 | 3,30 | 7,87 | 7,57 | 1,30 |
| NT | mg L ⁻¹ | 25,50 | 56,50 | 36,00 | 49,75 | 136,50 | 73,50 | 98,75 | 148,50 | 149,25 | 89,50 | 199,25 | 132,00 |
| NO ₃ - | mg/L | 17,83 | 31,96 | 32,28 | 18,93 | 31,62 | 32,24 | 32,16 | 23,26 | 26,66 | 24,07 | 29,80 | 31,11 |
| TOG | mg L ⁻¹ | 6,00 | 8,00 | 13,00 | 182,70 | 3,90 | 5,00 | 38,00 | 5,80 | 5,10 | 86,00 | 17,00 | 1,20 |
| PT | mg L ⁻¹ | 7,6 | 5,90 | 5,50 | 5,80 | 4,10 | 4,30 | 7,40 | 6,20 | 6,00 | 12,20 | 15,10 | 12,80 |
| CT | NMP 100 mL ⁻¹ | 1,04x10 ⁸ | >2,42x10 ⁶ | <1,00x10 | 2,10x10 ⁸ | 1,56x10 ⁶ | <1,00x10 | 1,11x10 ⁸ | 6,13x10 ⁶ | <1,92x10 | 1,31x10 ⁸ | 1,65x10 ⁶ | 2,49x10 ⁴ |
| <i>E. coli</i> | NMP 100 mL ⁻¹ | 2,48x10 ⁷ | 1,26x10 ⁵ | <1,00x10 | 3,07x10 ⁷ | 1,93x10 ⁵ | <1,00x10 | 1,59x10 ⁷ | 8,73x10 ⁵ | >1,00x10 | 1,51x10 ⁷ | 2,44x10 ⁵ | 5,01x10 ³ |
| Ovos de helmintos | ovo L ⁻¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Nota: EMR – Efluente coletado à montante do reator biológico aerado; EJR - Efluente coletado à jusante do reator biológico aerado; EJRUV - Efluente coletado à jusante do reator ultravioleta artificial. DBO - Demanda bioquímica de oxigênio; DQO -Demanda química de oxigênio; K – Potássio; Cl⁻ – Cloreto; CO₃²⁻ – Carbonato; HCO₃⁻ – Bicarbonato; NT - Nitrogênio total; NO₃ – Nitrato. TOG -Teor de óleos e graxas; PT – Fósforo total; CT - Coliformes totais; *E.Coli* - *Escherichia coli*; NMP – Número mais provável.

Fonte: Acervo pessoal (2017).

Tabela 8. Valores médios e desvio padrão dos atributos químicos, bioquímicos e microbiológicos do efluente, ao longo do tempo, analisados em três pontos da estação de tratamento de água residuária doméstica de um condomínio de Mossoró RN.

| Atributos | Unidade | Média e desvio padrão de EMR | | Média e desvio padrão de EJR | | Média e desvio padrão de EJRUUV | | Padrões | Remoção (%) |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|--|-------------|
| | | Média | Desvio-padrão | Média | Desvio-padrão | Média | Desvio-padrão | | |
| DBO | mg L ⁻¹ | 319,25 | 73,71 | 3,00 | 0,82 | <2,00 | - | 120 ⁽¹⁾ | >99,37 |
| DQO | mg L ⁻¹ | 758,25 | 151,58 | 25,75 | 4,99 | 18,00 | 8,83 | Inferior a 50 ⁽²⁾ | 97,63 |
| K ⁺ | mmol _c L ⁻¹ | 1,11 | 0,14 | 1,09 | 0,14 | 1,09 | 0,05 | 2 ⁽³⁾ | 1,58 |
| Cl ⁻ | mmol _c L ⁻¹ | 3,49 | 0,31 | 4,45 | 0,53 | 3,47 | 1,39 | 30 ⁽³⁾ | 0,64 |
| CO ₃ ²⁻ | mmol _c L ⁻¹ | - | - | - | - | - | - | 0,1 ⁽³⁾ | - |
| HCO ₃ ⁻ | mmol _c L ⁻¹ | 8,82 | 1,34 | 3,81 | 2,54 | 2,00 | 1,17 | 10 ⁽³⁾ | 77,32 |
| NT | mg L ⁻¹ | 65,87 | 34,30 | 135,18 | 59,09 | 97,69 | 52,37 | - | -48,31 |
| NO ₃ ⁻ | mg/L | 23,24 | 5,65 | 29,16 | 3,50 | 30,57 | 2,30 | 10 ⁽³⁾ | - 31,50 |
| TOG | mg/L | 78,18 | 66,73 | 8,68 | 5,80 | 6,08 | 4,96 | ≤100 mgL ⁻¹ | 92,23 |
| P | mg L ⁻¹ | 8,25 | 2,38 | 7,85 | 4,27 | 7,15 | 3,32 | 2 ⁽³⁾ | 13,33 |
| Ovos de helmintos | ovo L ⁻¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | até 1 ovo geohelmintos/L de amostra ⁽¹⁾ | 0 |

Nota: EMR – Efluente coletado à montante do reator biológico aerado; EJR - Efluente coletado à jusante do reator biológico aerado; EJRUUV - Efluente coletado à jusante do reator ultravioleta artificial; DBO - Demanda bioquímica de oxigênio; DQO -Demanda química de oxigênio; K⁺ – Potássio; Cl⁻ – Cloreto; CO₃²⁻ – Carbonato; HCO₃⁻ – Bicarbonato; NT - Nitrogênio total; NO₃⁻ - Nitrato; TOG -Teor de óleos e graxas; PT – Fósforo total; CT - Coliformes totais; *E.Coli* - *Escherichia coli*; NMP – Número mais provável. ⁽¹⁾Resolução COEMA nº2/2017, referente ao lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos. ⁽²⁾ ABNT 13.969/97referente ao limite do efluente tratado lançado nas águas superficiais – classe a. ⁽³⁾ Critérios da qualidade da água de irrigação apresentado por Almeida (2010)

Fonte: Acervo pessoal (2017).

A Demanda bioquímica de oxigênio média em EMR foi de 319,25mg L⁻¹, acima do padrão estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 430/2011 e do COEMA nº 2/2017 que tratam sobre o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários em corpos receptores, as quais estabelecem um valor de 120 mg L⁻¹ (Brasil, 2011; Ceará, 2017). Em EJR, o valor apresentado foi de 3,0mg L⁻¹ que apresenta remoção de 99,06%. Em EJRUUV o valor encontrado foi abaixo de 2,0, indicando remoção acima de 98%.

Referente à Demanda química de oxigênio média o valor inicial em EMR foi de 758,25mg L⁻¹ excedendo o padrão (inferior a 50mg L⁻¹) apresentado na ABNT 13.969/97 referente ao limite do efluente tratado lançado nas águas superficiais – classe A. (Abnt, 1997) . Em EJR, o valor encontrado foi de 25,75mg L⁻¹, já se encaixando dentro do padrão, bem como no EJRUUV com um valor de 4,99mg L⁻¹, com remoções de 96,60% e 97,63%, respectivamente. Nobre (2015) em estudo com o mesmo processo de tratamento, encontrou valores para Demanda química de oxigênio de 1984,13 mg L⁻¹ (inicial) e 63,49mg L⁻¹ (final) e para Demanda bioquímica de oxigênio de 782,79mg L⁻¹ (inicial) e 9,99mg L⁻¹ (final). Resultados semelhantes foram apresentados por Ferreira & Caraiola (2008) em sistema de águas residuárias domésticas por lodos ativados seguidos de desinfecção, onde obteve DBO final média de 9,1 mg L⁻¹, resultando em uma remoção acima de 95% e DQO final média de 67 mg L⁻¹, com remoção acima de 90%.

O Potássio médio se manteve estável ao longo do processo chegando ao EJRUUV com (1,09mmolc L⁻¹) dentro da faixa de 0 a 2 mgL⁻¹ colocada por Almeida (2010). Em estudo paralelo, Malafaia et al (2016) encontrou valores de 19,16 mmolc L⁻¹ em de uma lagoa de estabilização de esgoto doméstico.

Quanto à toxicidade às plantas pela presença do íon cloreto-, os efluentes gerados foram caracterizados com nenhuma restrição de uso. Os valores para cloreto se mantiveram relativamente estável ao longo do processo em EMR o valor obtido foi de 3,49 mmolc L⁻¹, em EJR de 4,45 mmolc L⁻¹e em EJRUUV de 3,47 mmolc L⁻¹ficando dentro da faixa colocada por Almeida (2010). Assim como ocorreu para Carbonato (CO₃²⁻) que não foi encontrado em nenhum dos pontos e Bicarbonato (HCO₃⁻) com valor final em EJRUUV de 2,00 mmolc L⁻¹ dentro da faixa colocada por Almeida de até 10 mmolc L⁻¹. Rolin et al. (2016) ao comparar sistemas encontrou valores para Cloreto de 5,41 mg L⁻¹ no efluente sem tratamento; 5,29 mg L⁻¹ no efluente com tratamento UASB(Reator anaeróbio de

fluxo ascendente) e $6,15 \text{ mg L}^{-1}$ no efluente com tratamento por lado ativado estando classificado como moderada restrição ao uso.

O Nitrogênio total médio em EMR foi de ($65,87 \text{ mg L}^{-1}$) sendo o maior valor ($135,18 \text{ mg L}^{-1}$) no EJR e após desinfecção UV ($97,69 \text{ mg L}^{-1}$) com aumento final de 48,31%. Em estudo paralelo, Malafaia et al (2016) encontrou valores de $54,57 \text{ mg L}^{-1}$ em de uma lagoa de estabilização de água residuária doméstica.

A concentração média de nitrato aumentou ao longo do processo, em EMR o valor obtido foi de $23,24 \text{ mg L}^{-1}$, em EJR de $29,16 \text{ mg L}^{-1}$ e em EJRUV de $30,57 \text{ mg L}^{-1}$ tendo um aumento de 31%, ficando acima da faixa colocada por Almeida 2010 de $0-10 \text{ mg L}^{-1}$. Corroborando com o estudo de Malafaia et al (2016) em uma lagoa de estabilização de água residuária doméstica, encontrou valor final de nitrato a $6,0 \text{ mg L}^{-1}$.

O fósforo apresentou valores acima do limite estipulado por Almeida 2010 de até 2 mL^{-1} , em EMR de $8,25 \text{ mL}^{-1}$ em EJR de $7,85 \text{ mL}^{-1}$ e em EJRUV de $7,15 \text{ mL}^{-1}$. Em estudo paralelo a este, Oliveira & Sá (2015) ao avaliar um sistema de lagoa aerada encontrou valor inicial de fósforo de $21,48 \text{ mg/L}$ no efluente bruto, passando para $18,54$ na lagoa facultativa, diminuindo para $18,24$ na entrada da lagoa aerada, ou seja, baixa remoção, média de 8%. Rolin et al (2016) ao avaliar um sistema a de lodo ativado tipo UCT (Sistema University Of Cape Town) encontrou valor médio inicial de fósforo de $6,38$ e saída de $4,81 \text{ mL}^{-1}$, resultando em remoção de 24,6%.

O teor de óleo e graxas apresentou remoção de 92,23%. Com valores respectivos em EMR; EJR e EJRUV de $78,18 \text{ mL}^{-1}$; $8,68 \text{ mL}^{-1}$ e $6,08 \text{ mL}^{-1}$, dessa forma, estando dentro dos padrões (até 100 mL^{-1}) da Resolução COEMA n° 2/2017, referente a critérios para lançamento de efluente tratado em corpos hídrico. Resultado semelhante foi encontrado em Ferreira & Caraiola (2008) com uma remoção média de óleos e graxas de 90% em um sistema de tratamento por lodo ativado em fluxo contínuo.

Para Coliformes Totais (CT) os valores para EMR se mantiveram relativamente estável, ao longo do período experimental, dentro de $1,04$ a $2,10 \times 10^8 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$. Em EJR os valores, ao longo do tempo, estiveram entre $1,56$ e $6,13 \times 10^6$. Em EJRUV, os valores ficaram menores que $1,00 \times 10^6$, indicando alta eficiência no processo com remoção dos coliformes totais acima de 99%. De acordo com estudos de Latif-Eugenín et al. (2017), os resultados por cloração e ultravioleta à radiação mostraram que o tratamento terciário foi efetivo na redução de 3,43 unidades logarítmicas das cargas da *Aeromonas* (patógenos transmitidos pelos alimentos e a base de água) abaixo seu limite de detecção.

Quanto a *E.coli*, o sistema apresentou remoção de 7 unidades logarítmicas com valores respectivos em EMR, EJR e EJRUUV de $2,37 \times 10^7$, $2,68 \times 10^5$, $2,66 \times 10$. Nesse sentido, a *E.coli* encontra-se em conformidade com o padrão estabelecido pela Resolução do CONEMA nº 2/2017 em seu artigo 39 - inciso I, estabelece uma faixa de até 1×10^3 NMP 100 m L^{-1} , para reúso externo de efluentes sanitários para fins agrícolas e florestais. Experimentos de Billota e Daniel (2012) revelaram a elevada potencialidade técnica do reator fotoquímico com radiação UV em 254 nm para a inativação de colifagos e *Escherichia coli*, alcançando remoção entre 1,70 a 3,90 log e 1,60 a 5,20 log, respectivamente, com dosagens correspondentes a 123,0 e 247,0 mW.s.cm⁻².

Não foi encontrado ovos de helmintos em nenhum dos pontos avaliados, estando em conformidade com o padrão estabelecido de até 1 ovo de helmintos por litro de amostra conforme a Resolução do COEMA nº 2/2017, para fins agrícolas e florestais. (Ceará, 2017). O fato de não ter sido encontrado ovos de helmintos nas águas residuárias dos condomínios em estudo pode ser explicado pelo exposto em Santos e Merlini (2010) quando relata que a susceptibilidade às enteroparasitoses varia, dentre outros fatores, com as condições econômicas da população, uma vez que os parasitoses apresentam uma distribuição cosmopolita, sendo as maiores prevalências verificadas em países em desenvolvimento, especialmente em áreas onde as condições de saneamento e de educação são deficientes e regiões tropicais, onde a temperatura e umidade favorecem o desenvolvimento dos parasitos.

5. CONCLUSÕES.

A estação de tratamento de água residuária doméstica apresentou remoção acima de 98% para demanda bioquímica de oxigênio e acima de 97% para demanda química de oxigênio, assim como a turbidez apresentou remoção de 98%; Teor de óleos e graxas remoções de 92,23% e para coliformes totais e *E. coli* a radiação ultravioleta mostrou que o tratamento terciário foi efetivo na redução 7 unidades logarítmicas.

Os atributos avaliados atenderam aos padrões exigidos pela legislação, com exceção dos sólidos dissolvidos que extrapolou 3,8 vezes a faixa com resultado final de 759,5 mg L⁻¹; o nitrato com 30,57 mg L⁻¹ acima de 3,0 vezes do permitido e o fósforo 3,5 vezes maior que o permitido, apresentando valor final de 7,15 mL⁻¹.

Recomenda-se diminuir o tempo de descarte do lodo excedente, aumentar a injeção de ar no tanque de aeração para a maior redução dos sólidos, bem como, efetuar limpeza das lâmpadas UV a cada três meses.

Por fim, há necessidade de novos estudos para caracterização do lodo gerado na estação de tratamento de efluente, bem como dimensionar a dosagem de efluente para fins de reúso da água na irrigação com base nos critérios da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional das Águas - ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Informe 2014. Encarte especial sobre a crise hídrica. Brasília, 2015. 31 p.
- Albornoz, L. L. Bernardes, A.M. Tessaro, I.C. Centurião, T.C. Mendes, C.A.B. Monitoramento, caracterização e avaliação da eficiência de remoção de poluentes em uma estação compacta de tratamento de efluentes. Porto alegre/RS. 10 simpósio internacional de qualidade ambiental. PUCRS, 2016.
- Almeida, O. A. Qualidade da água de irrigação. 1 ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711–728, 2013.
- Anjum, M.; Al-Makishah, N. H.; Barakat, M. A. Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 102, p. 615-632, 2016.
- Ayres, R.; Mara, D. Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques. Geneva: Who, 1996. 35p.
- Barreto, L. V.; Barros, F. M.; Bonomo, P.; Rocha, F. A.; Amorim, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. *Enciclopédia Biosfera*, v.9, N.16; p. 21-79.2013.
- Batista, F. G. A. Queiroz, F. R. P. Oliveira, D. S. Percepção socioambiental do reuso das águas residuárias em condomínios verticais da cidade de Campina Grande – PB. *HOLOS*. v.6, p.70-82, 2014.
- Billotta, P. Daniel, L. A. Ozônio e radiação UV na inativação de indicadores patogênicos em esgoto sanitário: uma análise comparativa. *Revista Minerva Ciência & Tecnologia*, São Carlos, v. 3, p. 199-207, 2007.
- Billotta, P. Daniel, L. A. Utilização de lâmpadas germicidas na desinfecção de esgoto sanitário. *AmbiÁgua*, ISSN = 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X. Taubaté, v. 7, n. 1, p. 120-129, 2012.
- Brasil. Associação Brasileira de Normas Técnicas - Abnt NBR-9648. Estudos de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: Abnt, 1986 – SP
- Brasil. Associação Brasileira de Normas Técnicas - Abnt NBR-13969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: Abnt, 1997 – SP

- Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema nacional de informações sobre saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p.
- Brasil. Resolução nº 357, de 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. Brasília, 2005.
- Brasil. Resolução nº 430, de 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. Brasília, 2011.
- Ceará. Resolução COEMA nº 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 2002.
- Cirilo, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. Estudos Avançados, v. 22, p.60-82, 2008.
- Cunha, A. H. N. Reúso de água no Brasil. Brasília. Universidade Gama Filho. 2010. 50p. Monografia.
- Cetesb. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão. São Paulo: Cetesb; Brasília: ANA, 2012.
- Dias, G. M. Cidade sustentável: fundamentos legais, política urbana, meio ambiente, saneamento básico. Natal, RN: ed. Do autor, 384 pp.
- Dizer, H.; Bartocha, W.; Bartel, H.; Seidel, k.; Lopez, J. M. Erohman, A. Use of ultraviolet radiation for inactivation of bacteria and coliphages in pretreated wastewater. Water rescarch, v 27, p. 397-403, 1993.
- Fao. 1985b. Water quality for agriculture, by R.S. Ayers & D.W. Westcot. Irrigation and Drainage Paper No. 29 (Rev. 1). Rome
- Ferraz, D.L.M. Cunha, P.E.V. Neto, C.F. Araújo, A.L.C. Avaliação do desempenho operacional de uma ETE em escala real, composta de retor uasb seguido de tanque de aeração com biodiscos. XII SIBESA. XII Simpósio Ítalo brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. 2014
- Ferreira, F. D. Caraiola, M. Eficiência do lodo ativado em fluxo continuo para tratamento de esgoto. Revista acadêmica ciência agraria ambiental. Curitiba. v,6. p.259-279,2008.
- Google SketchUp 8. Disponível em: < <https://google-sketchup.br.uptodown.com/windows/download/22553>> Acesso em:08 maio,2018.

- Hespanhol, I. Água e saneamento básico. In:Rebouças, A.C; Braga, B; Tundisi, J.G. (orgs.). Águas doce no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. 3. Ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. Cap.9. p. 269 - 324.
- Jordão, E. P.; Pessôa, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 7 ed. Rio de Janeiro: 2014. 1087p
- Lacerda, P.M. Rodrigues, R. Nalini Júnior, H. Malafaia, A. G. Rodrigues, A.S.L. Influência da irrigação com águas residuárias no desenvolvimento de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., v. 9, n. 2, p. 159-168, abr./jun. 2011
- Latif-Eugenín, F.; Beaz-Hidalgo, R.; Silvera-Simón, C.; Fernandez-Cassi, X.; María J. F. Chlorinated and ultraviolet radiation -treated reclaimed irrigation water is the source of Aeromonas found in vegetables used for human consumption. Environmental Research. v. 154, p 190-195, 2017.
- Malafaia, G. Araújo, F.G. Leandro, W.M. Rodrigues, A.S.L. Teor de nutrientes em folhas de milho fertilizado com vermicomposto de lodo de curtume e irrigado com água residuária doméstica. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. ISSN 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X vol. 11 n. 4 Taubaté – Oct. / Dec. 2016.
- Medeiros, R.C. Comparação da resistência de protozoários patogênicos. – giárdia spp. e Cryptosporidium spp.– e de microrganismos indicadores à desinfecção seqüencial Cloro- Radiação Ultravioleta e Ozônio – Radiação Ultravioleta. 2010. 212 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) –Universidade de São Carlos, São Carlos, 2010.
- Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5. ed. New York: McGraw Hill, 2014.
- Miller Júnior, G. T. Água e poluição. G. T. M. (org); Ciência Ambiental. Tradução de ALL TASKS. 11ª Ed. São Paulo: Cengage Learning,. Cap.11. p. 265 – 300. 2008
- Mossoró. Prefeitura Municipal de Mossoró. Plano de desenvolvimento para o sistema de saneamento básico do município de Mossoró. Rio de Janeiro: FGV, 2010. 54p.
- Nobre, S. S. S. Monitoramento da estação de tratamento de esgoto de um condomínio residencial em Mossoró/RN. Pau dos Ferros: UFERSA, 2015. 37p. Monografia.
- Oliveira, C. S. Sá, O. R. Avaliação da eficiência do tratamento de efluentes em um abatedouro do município de Passos, MG, Brasil. Ciência et Praxis v. 8, n. 16, 2015. P 13-20.
- Petta, R. A.; Melo, A. C.; Nascimento, P. S. R. Subsídio à gestão ambiental do rio Apodi-Mossoró na área urbana de Mossoró - RN. Geografia, v. 19, p. 127-144, 2010.

- Reis, J. A. T.; Mendonça, A. S. F. Desenvolvimento de sistema de controle ótimo para processo de tratamento de efluentes. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.19, p. 401-410, 2014.
- Ribeiro, J. W.; Rooke, J. M. S. Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. Juiz de Fora: UFJF, 2010.36p. Monografia.
- Rice, E. W.; Baird, R. B.; Clesceri, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington DC: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496 p.
- Rolin, H. O.; Chaves, J. R.; Nunes, A. B. A.; Silva Filho, H. A.; Santos, E. V. M. Qualidade dos efluentes de sistemas de tratamento biológico UASB e UCT para reúso agrícola. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 9, p. 393-414. 2016
- Santos, S.A.; Merlini, L.S. Prevalência de enteroparasitoses na população do município de Maria Helena, Paraná. *Ciênc. saúde coletiva*. ISSN 1413-8123. vol.15 no. 3 Rio de Janeiro May 2010.
- Souza, W. J.; Duarte, S. N. Água residuária: tratamento e aplicações em áreas agrícolas. Piracicaba: FEALQ, 2014. 197p.
- Taghipour, F. Ultraviolet and ionizing radiation for microorganism inactivation. *Water Research*, v. 38, p. 3940–3948, 2004.
- Toyama, D.; Santino, M. B. C.; Fushita, A. T. Qualidade da água e doenças de veiculação hídrica: o caso dos municípios de barra bonita e Igarapu do Tietê –SP. V SIGA Ciência (Simpósio Científico de Gestão Ambiental), v, 1. 6p.2016
- Tucci, C. E. M. Água no meio urbano. In: Rebouças, A. C; Braga, B.; Tundisi, J.G. (orgs.). *Águas doce no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. Cap.12. p. 399 - 432.
- Usepa –US. Environmental protection agency 2006. Ultraviolet disinfection Guidana manual for the final long term2enhanced suface water treatment rule. November. EPA 815-R-06-07.
- Vesilind, P. A. Morgan, S. M. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 456p.
- von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte UFMG, 2005. 452p.
- von Sperling, M. Lodos ativados. 3 ed. 2012. Belo Horizonte UFMG, 428p.
- Zhang, A.; LI, Y. Removal of phenolic endocrine disrupting compounds from waste activated sludge using UV, H₂O₂, and UV/H₂O₂ oxidation processes: effects of reaction conditions and sludge matrix. *Science of the Total Environment*, v. 15, p. 493-307-23, 2014.