



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO ENGENHARIA CIVIL**

FANNY CRISTINA ALMEIDA DE MEDEIROS

**VIABILIDADE DO REUSO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO NA
IRRIGAÇÃO DE CANTEIROS URBANOS EM MOSSORÓ/RN**

Caraúbas – RN

2017.2

FANNY CRISTINA ALMEIDA DE MEDEIROS

**VIABILIDADE DO REUSO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO NA
IRRIGAÇÃO DE CANTEIROS URBANOS EM MOSSORÓ/RN**

Monografia apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA, campus
Caraúbas, como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil

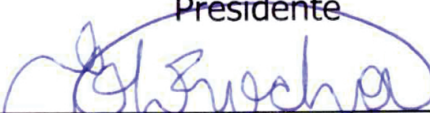
Orientador (a): Prof. Ma. Leonete Cristina de
Araújo Ferreira Medeiros Silva - UFERSA

Defendida em: 27 / 03 / 2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Ma. Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva
Presidente



Prof.ª Dra. Edna Lucia da Rocha Linhares
Membro



Eng.ª Margarida Martins Moura Henriques
Membro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar e acima de tudo quero agradecer a Deus, por ter me guiado e dado forças para chegar até aqui. Mesmo nos momentos mais difíceis da Graduação, quando eu não consegui fazer engenharia civil na UFERSA campus Mossoró, ele me guiou e mostrou que nada na vida acontece por acaso, mostrou que cursar engenharia civil em Caraúbas foi a melhor opção.

À toda a minha família que sempre me apoiou e torceu por mim. Em especial a minha mãe que é minha base, meu tudo. A minha avó materna que faleceu durante a minha graduação, mas em vida torcia e rezava muito por mim, de onde ela estiver ela está feliz com a minha conquista. A minha avó paterna que sempre me apoiou nas minhas batalhas e comemorou junto as minhas vitórias. A meu pai que do jeito calado dele sempre torce e me apoia. E a minha irmã que é minha amiga e companheira para todas as horas.

Ao meu namorado e amor que esteve comigo na minha caminhada durante o curso. Obrigada pela paciência, apoio e todo o amor dedicado.

A todos os meus amigos, aos que o IFRN me deu de presente, adoro todos, os que a UFERSA Mossoró me presenteou, os autossuficientes, e os que a UFERSA Caraúbas me presenteou, foi o apoio de vocês que tornou as nossas viagens diárias, Mossoró – Caraúbas – Caraúbas – Mossoró mais leves e divertidas.

A todos os meus professores do Campus Caraúbas, adorei conhecer e ter o prazer de aprender com cada um de vocês, principalmente o Prof. Luís que me ajudou bastante no início do curso e que é um professor e uma pessoa incrível.

À orientadora Profa. Ma. Leonete por ter abraçado comigo esse tema, e também pelo apoio, paciência e atenção durante a orientação deste trabalho.

À CAERN por ter disponibilizado os dados para realização deste trabalho e a todos que lá trabalham, que direta ou indiretamente me ajudaram na realização deste trabalho. Em especial, a Eng. Margarida, na ajuda da coleta de dados necessários ao estudo, e ao operador Paulo, na ajuda durante as coletas das amostras na ETE.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do reúso do efluente final da ETE Cajazeiras localizada no município de Mossoró para irrigação de praças e canteiros urbanos. O período experimental (dez/2017 a mar/2018), foi dividido em 2 períodos pluviométricos, um período de seca e um de chuva. As variáveis avaliadas foram pH, CE, STD, RAS, salinidade e coliformes termotolerantes, *Escherichia.col.* A RAS e salinidade foram calculadas, para avaliar o problema potencial de infiltração e o risco de salinização do solo, respectivamente. Os resultados obtidos foram submetidos a técnica estatística do “box-plot”. A classificação de Riverside foi aplicada para definir as categorias de uso do efluente final, quanto a sua salinidade e a sodicidade. O pH de todas as amostras esteve dentro da faixa ideal para irrigação de 6,5 a 8,4. Quanto à salinidade avaliada através do STD, o efluente apresentou salinidade média. Na avaliação dos problemas potenciais de infiltração (CE e RAS), o efluente final da ETE não apresentaram nenhum um grau de restrição de uso. De acordo com a classificação de Riverside, o efluente final se enquadrou em C3 – S1. A qualidade microbiológica do efluente final não atendeu aos padrões sanitários da OMS e da NBR 13.969/97 devido ao excesso de coliformes termotolerantes, sendo impróprios para irrigação irrestrita. O efluente foi avaliado do ponto de vista qualitativo e foi impossibilitado de uso devido a não atender ao critério microbiológico para uso de irrigação urbana e avaliado quantitativamente, na qual supriria com folga toda a demanda de água da prefeitura.

Palavras-chaves: água, infiltração, salinidade, irrestrita.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Fluxograma típico de um sistema de lagoa facultativa primária.....	18
Figura 2	– Fluxograma típico de um sistema de lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa.....	19
Figura 3	– Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada facultativa.....	20
Figura 4	– Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação.....	21
Figura 5	– Fluxograma típico de um sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série.....	21
Figura 6	– Classificação de Riverside para a qualidade da água na irrigação.....	32
Figura 7	– Localização da cidade de Mossoró-RN.....	38
Figura 8	– Áreas de atendimento do sistema de esgotamento sanitário do município de Mossoró/RN.....	39
Figura 9	– Localização ETE Cajazeiras.....	40
Figura 10	– Vista superior da ETE Cajazeiras.....	41
Figura 11	– Principais pontos da ETE.....	42
Figura 12	– Coletas de amostras.....	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Representação dos valores de pH no efluente final da ETE Cajazeiras e seus limites para uso, segundo Paganini (1997).....	48
Gráfico 2	–	Representação, em “box plot”, dos valores de pH no efluente final da ETE Cajazeiras	49
Gráfico 3	–	Representação dos valores de pH no efluente final da ETE Cajazeiras e seus limites para uso, segundo Ayers & Westcot (1999).....	50
Gráfico 4	–	Representação, em “box plot”, dos valores de CD no efluente final da ETE Cajazeiras.....	51
Gráfico 5	–	Representação, em “box plot”, dos valores de RAS no efluente final da ETE Cajazeiras.....	53
Gráfico 6	–	Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade do efluente final da ETE Cajazeiras.....	54
Gráfico 7	–	Representação, em “box plot”, dos valores normalizados de Escherichia coli no efluente final da ETE Cajazeiras e limite estabelecido pela OMS.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Diretrizes sanitárias da Organização Mundial da Saúde (OMS).....	24
Quadro 2	–	Pautas microbiológicas revistas e recomendadas para o uso de águas residuais tratadas na agricultura (a).....	26
Quadro 3	–	Parâmetros para esgotos.....	27
Quadro 4	–	Classes de salinidade para águas de irrigação.....	33
Quadro 5	–	Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação.....	34
Quadro 6	–	Características de dimensionamento da ETE Cajazeiras.....	43
Quadro 7	–	Parâmetros a serem analisados de acordo com cada critério.	44
Quadro 8	–	Informações das coletas.....	44
Quadro 9	–	Parâmetros microbiológicas e físico-química e procedimentos analíticos empregados.....	46
Quadro 10	–	Grau de restrição de uso do efluente da ETA Cajazeiras, de acordo com Ayers e Westcot (1999).....	52
Quadro 11	–	Dados da ETE Cajazeiras com a oferta do efluente e a demanda pela água de reúso.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Concentração de Cálcio (Ca°) contida na água do solo, próximo à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação HCo_3/Ca e CEa	
		¹²³	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OMS	Organização Mundial da Saúde
NBR	Norma Brasileira
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
pH	Potencial Hidrogeniônico
OD	Oxigênio Dissolvido
STV	Sólidos Totais Voláteis
S. Sed	Sólidos Sedimentáveis
PT	Fósforo Total
OG	Óleos e Graxas residuais
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
CE	Condutividade Elétrica
RAS	Razão de Absorção de Sódio
RAS°	Razão de Absorção de Sódio Modificado
CO ₂	Dióxido de Carbono
HCO ³	Bicarbonato
Ca°	Cálcio corrigido
USSL	United States Salinity Laboratory
SST	Sólidos Suspensos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SABESB	Companhia de Saneamento de São Paulo
CEDAE	Companhia Estadual de Água do Rio de Janeiro
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente
SNIS	Sistema de Abastecimento de Água
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
P22	Poço 22
P26	Poço 26
RN	Rio Grande do Norte
m ³	Metro cúbico

%	Porcentagem
°C	Grau Celsos
nº	número

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	Caracterização do Esgoto Sanitário.....	15
3.2	Tratamento de Esgoto Sanitário.....	15
3.3	Descrição e Caracterização das Lagoas de Estabilização	17
3.3.1	Lagoas facultativas.....	17
3.3.2	Lagoas anaeróbias - lagoas facultativas	19
3.3.3	Lagoas aeradas facultativamente.....	19
3.3.4	Sistema de lagoas de mistura completa - lagoas completa - lagoas de decantação.....	20
3.3.5	Lagoa de maturação.....	21
3.4	Reúso de água.....	22
3.5	Qualidade de água para reúso na irrigação.....	23
3.5.1	Parâmetros microbiológicos.....	23
3.5.2	Parâmetros físico-químicos.....	28
3.6	Experiência de Reúso para fins urbanos.....	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	Panorama da área de estudo – Mossoró	38
4.1.1	Localização.....	38
4.1.2	Esgotamento Sanitário – Mossoró.....	39
4.2	Descrição e caracterização do sistema de tratamento	40
4.3	Desenvolvimento da pesquisa.....	43
4.3.1	Planejamento de experimentos.....	44
4.3.2	Análises laboratoriais.....	45
4.3.3	Critérios de avaliação para reúso.....	46
4.3.4	Caracterização de praças e canteiros urbanos.....	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1	Estatística dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	48

5.1.1	pH – Potencial Hidrogeniônico.....	48
5.1.2	CE – Condutividade Elétrica.....	50
5.1.3	Razão de absorção de sódio.....	52
5.1.4	Termotolerantes – Escherichia coli.....	54
5.2	Avaliação da viabilidade do uso do efluente.....	56
5.2.1	Qualitativa.....	56
5.2.2	Qualitativa.....	57
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

O município de Mossoró, Rio Grande do Norte, localizada no semiárido nordestino, é umas das muitas cidades do estado que convive diariamente com seca e como consequência, ocorre o racionamento no abastecimento de água. Por possuir clima temperado e com altas temperaturas, os efluentes de esgoto, do município, são tratados através de lagoas de estabilização e lançados em corpos d'água, podendo causar eutrofização do corpo hídrico quando há excesso de nitrogênio e fósforo. Para evitar este fenômeno e para um uso mais sustentável, o reuso de água surge como uma alternativa ao uso da água potável para a irrigação, promovendo a preservação dos recursos hídricos. Para isso é necessário que o efluente final atenda aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos mínimos exigidos de qualidade de água para reuso.

De acordo com os dados do SINIS, Mossoró possui três lagoas de estabilização que trata 40,29% dos esgotos gerados na cidade, as lagoas são compostas por lagoas facultativas em série com lagoas de maturação e após o tratamento o efluente final é lançado no Rio Apodi-Mossoró (BRASIL, 2014).

Diariamente são utilizados milhares de m³ de água potável para os mais diversos usos urbanos como: irrigação na agricultura, lavagem de ruas, irrigação de canteiro, entre outros, como isso são relevantes estudos para o reuso das águas residuárias das lagoas de estabilização, como forma de reduzir o uso da água potável através da utilização de uma água de menor qualidade.

Uma possível forma de utilização das águas residuárias é na irrigação de canteiros urbanos, a exemplo do modelo adotado na cidade de Petrópolis/RJ. O efluente final das lagoas de estabilização é rico em nutrientes e muitas vezes podem ser utilizados para esse fim diminuindo o uso da água potável e incentivando a população a reutilizar a água.

A reutilização dos efluentes de estações de tratamento (ETES) na irrigação é uma troca inteligente da utilização de uma água potável, já tão escassa na região semiárida, por uma água de qualidade inferior que respeitando parâmetros pré-definidos pela OMS e a NBR 13969/97 (ABNT, 1997) pode ser classificada e utilizada para fins específicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as condições de reúso do efluente final da lagoa de estabilização Cajazeiras, localizada no município de Mossoró/RN, para uso na irrigação em canteiros urbanos.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar coletas do efluente final de ETE em períodos chuvosos e períodos de seca;
- Avaliar os parâmetros físico-químicos (pH, CE e RAS) e microbiológicos do efluente final (*Escherichia coli*);
- Classificar o efluente final para reúso, segundo os parâmetros da OMS e da NBR 13969: 1997 (ABNT, 1997);
- Avaliar a viabilidade do uso do efluente final na irrigação de canteiros urbanos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Caracterização do esgoto sanitário

De acordo com Norma Brasileira NBR 9648/1986, o esgoto doméstico é definido como o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. E esgoto sanitário é definido como o despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária (ABNT, 1986).

A produção de esgoto está atrelada ao consumo de água e sua produção acompanha as alterações que a mesma sofre nas diferentes estações do ano, dias da semana e horas do dia. Com isso contribuindo com as alterações das características dos esgotos sanitários, não só relacionados a taxa de fluxo, mas também em termos de composição e concentração. Essa variabilidade está relacionada com as atividades humanas, industriais e condições climáticas (POTIER; PONS, 2006).

Para Mackenzie (2010), as principais características físicas do esgoto doméstico fresco é o odor semelhante ao de querosene, e coloração cinza. As características químicas do esgoto, constituída pelos compostos químicos presentes no esgoto sanitário, é quase ilimitada, logo, as análises mais utilizadas na caracterização química são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Metcalf e Eddy (2003) citam mais parâmetros utilizados para avaliar e caracterizar o esgoto sanitário bruto e tratado são eles: Potencial Hidrogeniônico (pH), temperatura, Oxigênio Dissolvido (OD), Nitrogênio Amoniacal (NA), DBO, DQO, Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Sedimentáveis (S. Sed.), Fósforo Total (PT) e Óleos e Graxas Residuais (OG).

3.2 Tratamento de esgoto sanitário

Para o tratamento de esgotos sanitários, existem diversas alternativas disponíveis e a escolha da mais adequada depende de inúmeros fatores, tais como: área disponível para implantação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE); topografia dos possíveis locais de implantação e das bacias de drenagem e esgotamento sanitário; os volumes diários a serem tratados e variações horárias e sazonais da vazão do efluente; características do corpo receptor

de esgotos tratados; disponibilidade e grau de instrução da equipe operacional responsável pelo sistema; disponibilidade e custos operacionais de consumo de energia elétrica; clima e variações de temperatura da região; disponibilidade de locais e/ou sistemas de reaproveitamento e/ou disposição adequada dos resíduos gerados pela ETE (CETESB, 1988).

De acordo com a área, com os recursos financeiros disponíveis e com o grau de eficiência que se deseja obter, um ou outro processo de tratamento pode ser mais apropriado. A estimativa de eficiência esperada nos diversos níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário também devem ser utilizados na escolha e no projeto da ETE (VON SPERLING, 2005).

O grau de tratamento de efluentes é comumente dividido em tratamento preliminar, primário, secundário e terciário classificando-se de acordo com o nível de remoção de poluentes ao qual se deseja atingir e é determinado através do maior nível de tratamento o qual o esgoto é submetido (VON SPERLING, 2005).

O preliminar tem o objetivo de retirada de sólidos sedimentáveis e, em consequência, parte da matéria orgânica. A remoção de sólidos grosseiros é realizada frequentemente através de grades que impedem a passagem de materiais. E a remoção de areia através de desarenadores, que utilizam de sedimentação simples onde os grãos de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, vão para o fundo do tanque e a matéria orgânica, segue para as etapas a jusante. Os dois mecanismos de retirada são de ordem física (VON SPERLING, 2005).

No tratamento primário, o efluente passante na unidade de tratamento preliminar ainda contém sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes que podem ser parcialmente removidos na de unidades de sedimentação, através de tanques de decantação. O efluente flui lentamente através dos decantadores, de forma a permitir que os sólidos em suspensão, possam sedimentarem no fundo. Os materiais flutuantes, com menor densidade que o efluente, ficam em suspensão na superfície, são coletados e removidos do tanque para após serem tratados. Ao final desta etapa ocorre uma redução de sólidos em suspensão em torno de 60 a 70%, e de demanda biológica de oxigênio (DBO) em torno de 25 a 35%. (VON SPERLING, 2005).

O tratamento secundário tem como principal função a remoção de matéria orgânica. Para isso é incluída na etapa biológica, através de reações bioquímicas, realizadas por microrganismos. Todo o processo é realizado através do contato efetivo entre as bactérias, protozoários, fungos e outros e material orgânico do efluente, de tal forma que possam ser utilizados como alimento pelos microrganismos, de modo a converter a matéria orgânica em

gás carbônico, água e material celular. Para uma efetiva decomposição da matéria orgânica são necessárias condições de temperatura, pH, tempo de contato e outros. Entre os principais métodos de tratamento os mais comuns são: lagoas de estabilização e variantes, processos de disposição sobre o solo, reatores anaeróbios, lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes. Cada um desses tratamento tem seu nível de eficiência de remoção de DBO (VON SPERLING, 2005).

O tratamento terciário funciona como uma unidade de polimento final do efluente. É utilizado na remoção de poluentes tóxicos ou não biodegradáveis ou eliminação de poluentes não degradáveis no tratamento secundário. Os métodos mais utilizados são as lagoas de maturação, desinfecção, processos de remoção de nutrientes e filtração fina (HENZ, et al 2016).

3.3 Descrição e caracterização das lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização constituem-se como o sistema mais simples e amplamente utilizado para o tratamento de efluente. Existem diversos tipos de lagoas, com diferentes níveis de simplicidade operacional e necessidade de requisitos de área. Em linhas gerais são bastante indicadas para regiões de clima quente, com altas temperaturas e insolação elevada, para países em desenvolvimento, pois tem necessidade de poucos ou quase nenhum equipamento e disponibilidade de grandes áreas em um grande número de localidades. É o sistema de tratamento mais utilizado no Brasil (VON SPERLING, 2013).

As lagoas frequentemente são nomeadas de acordo com a posição na série da unidade de tratamento. A primeira lagoa da série, lagoa primária, recebe o efluente bruto, constituindo uma lagoa facultativa. A segunda lagoa, lagoa secundária, recebe o efluente de uma outra lagoa a montante, usualmente uma lagoa anaeróbia. E as lagoas subsequentes são usualmente lagoas de maturação (VON SPERLING, 2013).

3.3.1 Lagoas facultativas

Dentre os tipos de lagoas de estabilização, a lagoa facultativa é de processo mais simples, dependendo exclusivamente de fenômenos naturais. O afluente entra de forma contínua em uma das margens da lagoa e sai continuamente na margem oposta. E durante esse

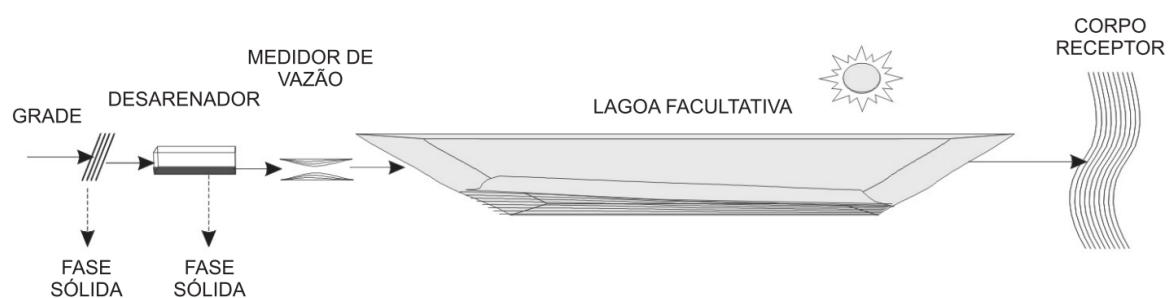
percurso, de vários dias, ocorre um conjunto de processos que promove o tratamento do mesmo (VON SPERLING, 2013).

Com a detenção do efluente na lagoa, parte da matéria orgânica em suspensão tendem-se a sedimentar, formando o lodo de fundo, esse lodo sofre decomposição anaeróbica, sendo convertido em gás carbônico, metano, entre outros compostos (VON SPERLING, 2013).

A matéria orgânica dissolvida, não sedimentada, é decomposta por bactérias facultativas que se utilizam da matéria orgânica como fonte de energia, através da respiração. Na ocorrência de respiração aeróbia a presença de oxigênio é suprida pela fotossíntese realizadas pelas algas. Havendo um equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico. Como para a ocorrência da fotossíntese é necessária uma fonte de energia luminosa, sol, na superfície da lagoa tem-se um processo aeróbio e, a medida que se aprofunda na massa líquida, com uma menor penetração solar, tende a ocorrer uma decomposição anaeróbia, com uma predominância de consumo de oxigênio acima da produção (VON SPERLING, 2013).

Como se trata de processo essencialmente natural, sem a necessidade de equipamentos, a estabilização da matéria orgânica é lenta, implicando um maior período de detenção na lagoa, usualmente superior a 20 dias. E com a obrigatoriedade da fotossíntese são necessárias grandes áreas de exposição solar, requerendo das lagoas facultativas grandes extensões, como observado na Figura 1 (VON SPERLING, 2013).

Figura 1: Fluxograma típico de um sistema de lagoa facultativa primária.



Fonte: Von Sperling, 2013.

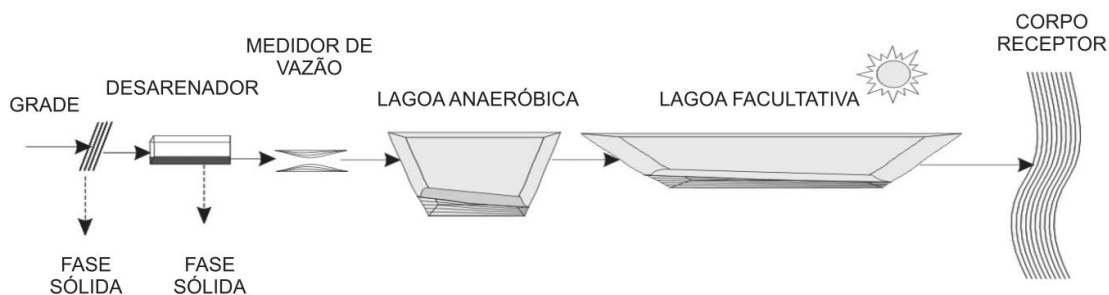
3.3.2 Lagoas anaeróbias – lagoas facultativas

O processo de lagoa facultativa, apesar de uma adequada eficiência, requer grandes áreas, como solução, para locais que não dispõem do espaço necessário, pode-se utilizar do sistema de lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa, como mostrado na Figura 2 (VON SPERLING, 2013).

O esgoto bruto entra na lagoa anaeróbia, com menores dimensões e mais profunda, que devido a maior profundidade quase não há ocorrência de fotossíntese, predominando condições anaeróbias. As bactérias anaeróbias por possuir uma taxa metabólica e de produção mais baixa do que as bactérias aeróbias, para um período de 2 a 5 dias, a decomposição é apenas parcial, atingindo uma remoção da DBO, da ordem de 50 a 70%, contribuindo para um alívio da carga orgânica para a lagoa facultativa. Com uma carga de 30 a 50% do esgoto bruto é necessário lagoas facultativas de menores dimensões (VON SPERLING, 2013).

Um inconveniente desse sistema é a possibilidade de maus cheiros, na etapa anaeróbia, devido a liberação de gás sulfídrico. Necessitando um afastamento de residências (VON SPERLING, 2013).

Figura 2: Fluxograma típico de um sistema de lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa.



Fonte: Von Sperling, 2013.

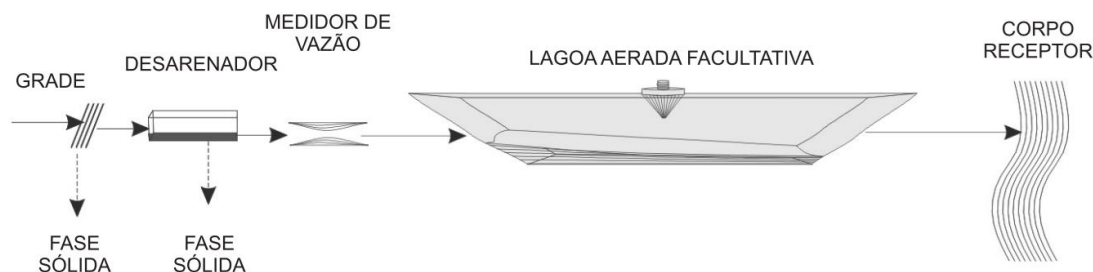
3.3.3 Lagoas aeradas facultativamente

São lagoas de dimensões ainda mais reduzidas, que as lagoas anaeróbias – facultativas. E tem como principal diferença com relação a lagoa facultativa convencional a forma de suprimento de oxigênio que é adquirido através de aeradores (SPERLING, 2013).

Os aeradores provocam um turbilhonamento na massa líquida permitindo a penetração do oxigênio atmosférico. Com isso, permite que a decomposição da matéria orgânica ocorra mais rapidamente, na ordem de 5 a 10 dias (SPERLING, 2013).

Mesmo com o turbilhonamento dos esgotos, não é possível manter os sólidos em suspensão, formando uma camada de lodo no fundo da lagoa, a ser decomposta de forma anaeróbia, como observado na Figura 3. Devido a introdução de equipamentos, as lagoas aeradas têm seu nível de operação elevada e um consumo de energia elétrica, aumentando seus custos de operação (SPERLING, 2013).

Figura 3: Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada facultativa.



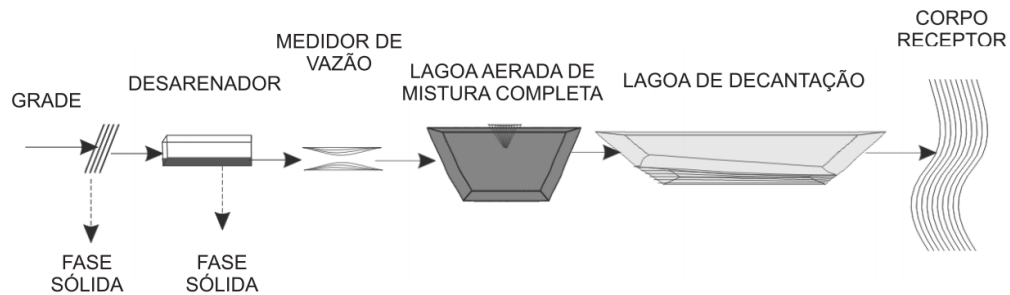
Fonte: Von Sperling, 2013.

3.3.4 Sistema de lagoas de mistura completa – lagoas completa – lagoas de decantação

Possibilita lagoas com dimensões ainda menores que as lagoas aeradas, devido ao aumento do nível de aeração, possibilitando uma turbulência tal que, além de garantir a oxigenação, permite que os sólidos sejam mantidos em suspensão no meio líquido possibilitando uma mistura completa da massa líquida e uma maior concentração de bactérias. Com isso, aumenta a eficiência do sistema e reduz o tempo de retenção. O tempo de detenção é na ordem de 2 a 4 dias (SPERLING, 2013).

O inconveniente desse sistema é a passagem da biomassa em conjunto com o efluente obrigando a utilização de uma lagoa de decantação para que os sólidos em suspensão venham a sedimentar e com isso possa ser separado do líquido. Os sólidos sedimentados no fundo da lagoa formam um lodo que deve ser retirado, após algum período, como mostrado na Figura 4 (SPERLING, 2013).

Figura 4: Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação.



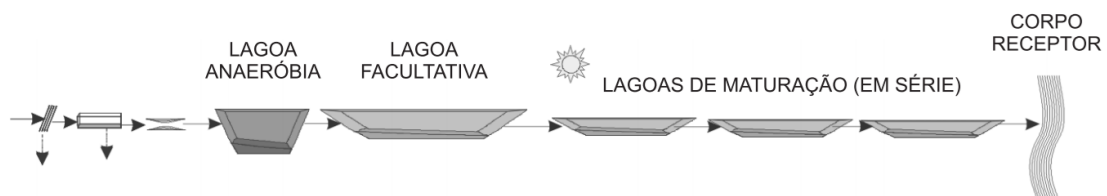
Fonte: Von Sperling, 2013.

3.3.5 Lagoa de maturação

As lagoas de maturação têm a função de remover patógenos, possibilitando um polimento do afluente advindo das outras lagoas. Para isso são dimensionadas para predominar condições ambientais adversas para os microrganismos patogênicos, como radiação solar (ultra-violeta), elevado pH, elevado oxigênio dissolvido (OD), temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos (SPERLING, 2013).

As lagoas de maturação constituem um pós-tratamento de processos que objetivam a remoção da DBO, sendo sua eficiência na remoção de coliformes é muito elevada. Constituindo uma alternativa econômica à desinfecção do efluente, mostrado na Figura 5 abaixo (SPERLING, 2013).

Figura 5: Fluxograma típico de um sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série.



Fonte: Von Sperling, 2013.

3.4 Reúso de água

A situação de escassez hídrica é antiga no Brasil e principalmente no Nordeste brasileiro, surgindo, então a necessidade de implementação de sistemas que visem o reaproveitamento das águas residuárias, dado que somente a região Nordeste com uma população de 53,59 milhões de pessoas gera em média 6,37 milhões de m³ de esgoto por dia que são lançados, na sua maior parte, em corpos aquáticos, sem o devido tratamento (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018)

Segundo Caixeta (2010), a reutilização de água de qualidade inferior em atividades menos exigentes é de fundamental importância nos dias de hoje, em primeiro lugar, como forma de preservar a água de melhor qualidade para o consumo humano e outros similares, proporcionando aumento da oferta e otimizando o uso dos recursos hídricos; e segundo como forma de mitigar a contaminação dos corpos receptores.

De uma maneira geral, o reúso de água pode ser de forma direta ou indireta podendo ser planejada ou não. Em 1973, a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou a seguinte classificação (MANCUSO e SANTOS, 2002):

- Reúso Indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizadas novamente a jusante, de forma diluída;
- Reúso Direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- Reciclagem Interna: é o uso da água internamente a instalação industrial, tendo como objetivo a economia de água e o controle da população.

A resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2016), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a política de reúso direto não potável de água, apresenta as seguintes definições:

- Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, industriais, agroindustriais e agropecuária, tratados ou não;
- Reúso de água: utilização de água residuária;
- Água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas.

Portanto, o reúso de água pode ser definido como a utilização das águas residuárias, para o mesmo ou outro fim, tendo este sofrido processo de tratamento ou não.

3.5 Qualidade de água para reúso na irrigação

Para se usar uma água residuária na irrigação, deve-se seguir diretrizes e normas estabelecidas por órgãos competentes para evitar riscos à saúde da população, descritas abaixo. A qualidade da água para irrigação está relacionada com a concentração de sais dissolvidos e com sua composição iônica, devendo ser avaliada pelas suas características químicas, físicas e microbiológicas.

3.5.1 Parâmetros microbiológicos

A qualidade microbiológica da água para reúso é avaliada segundo diretrizes sanitárias da Organização Mundial da Saúde (OMS) e NBR 13.969/97 que têm a finalidade de minimizar os riscos à saúde pública.

A presença de organismos patogênicos em águas residuárias não significa obrigatoriamente a transmissão de doenças, pois depende: das características dos microrganismos (dose infectiva, carga residual e latência), dos hospedeiros (imunidade natural ou adquirida, idade, sexo, condições gerais de saúde) e de fatores associados à educação sanitária que fazem com que o risco real de contrair doenças seja muito inferior ao risco potencial (HESPANHOL, 2003).

Considerando a dose infectante é necessário avaliar no efluente dos sistemas de tratamento de águas residuárias a concentração de microrganismos indicadores de contaminação fecal, considerando que esse valor limita seu uso.

Os padrões sanitários estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) são divididos de acordo com a condução de reúso, mostrado na Quadro 1.

Quadro 1: Diretrizes sanitárias da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Categoria	Condições de reúso	Grupos de riscos	Nematódeos intestinais (nº de ovos/L)	Coliformes fecais (UFC/100mL)	Sistema de tratamento adequado para garantir a qualidade microbiológica
A	Culturas ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos.	Operários, consumidores e público.	≤ 1	≤ 1000	Lagoa de estabilização em série ou tratamento equivalente.
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores.	Operários	≤ 1	-	Retenção em lagoas de estabilização (8 a 10 dias).
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, não havendo exposição de trabalhadores e do público	Nenhum	-	-	Pré-tratamento (sedimentação primária)

Fonte: Von Sperling, 2013.

Três pontos básicos foram estabelecidos para a revisão dos padrões da OMS:

- ausência de microrganismos indicadores de contaminação fecal nas águas residuárias;
- ausência de casos excessivos de enfermidades na população exposta;
- um risco estimado, gerado mediante um modelo, inferior ao risco definido como aceitável.

Segundo Blumenthal et al. (2000), no reúso de água para irrigação irrestrita existem indícios epidemiológicos de que o limite estabelecido para ovos de nematóides (≤ 1 ovo/L) é inadequado nas condições que favorecem a sobrevivência desses ovos, devendo ser revisado e

alterado para $\leq 0,1$ ovo/L. E em relação à irrigação restrita, alguns dados apontam a necessidade de estabelecer limites orientativos para a exposição de bactérias coliformes fecais, a fim de proteger os agricultores.

O valor do limite orientativo dependerá do método de irrigação empregado e da idade das pessoas expostas. Essas revisões têm como objetivo proporcionar guias às autoridades governamentais para que se tomem decisões a fim de proteger a saúde pública quando se usa água residuária na agricultura. As revisões sugeridas nas diretrizes estabelecidas pela OMS (WHO, 1989) encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2: Pautas microbiológicas revistas e recomendadas para o uso de águas residuais tratadas na agricultura (a).

Categoria	Finalidades da utilização das águas	Grupo exposto	Técnica de irrigação	Nematódeos intestinais (b) (média aritmética do n° de ovos por litro) (c)	Coliformes fecais (média geométrica do no por 0,1 litros) (d)	Tratamento necessário para a água alcançar o padrão exigido de qualidade microbiológica
A	Irrigação sem restrições A1: vegetais consumidos usualmente crus; campos de esportes; parques públicos (e).	Trabalhadores agrícolas; consumidores; público em geral.	Qualquer	$\leq 0,1$ (f)	≤ 1.000	Série de “lagoas de estabilização de dejetos” (LED) bem projetadas, “tanques de tratamento e armazenamento de águas residuais consecutivos” (TTAARC), ou tratamento equivalente (ex. tratamento secundário convencional complementado por lagoas de polimento ou filtração e desinfecção).
B	Irrigação com restrições: cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores (g).	B1	(a) Aspersor	≤ 1	≤ 100.000	Retenção em séries de LED incluindo lagoa de maturação; ou em TTAARC, ou tratamento equivalente (ex. tratamento secundário convencional complementado por lagoas de polimento ou filtração).
		B2 como B1	(b) Inundação/sulcos	≤ 1	≤ 1.000	O mesmo da categoria A
		B3 Trabalhadores, crianças até 15 anos, comunidades próximas.	Qualquer	$\leq 0,1$	≤ 1.000	O mesmo da categoria A
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, se não houver a exposição de trabalhadores agrícolas e do público.	Nenhum	Gotejamento	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento como o requerido pela tecnologia de irrigação, mas nunca menos do que uma fase de sedimentação primária.

- (a) Os fatores epidemiológicos, sociais e ambientais locais devem ser levados em consideração e, por conseguinte, as pautas modificadas.
- (b) Espécies *Ascaris* e *Tricuris* e *Anquilostomas*; a pauta também tem o propósito de proteger contra os riscos representados pelos protozoários parasitas.
- (c) Durante a época de irrigação; se as águas residuais forem tratadas em LED ou TTAARC projetados para alcançar essas quantidades de ovos, então não será necessário o monitoramento rotineiro de qualidade do efluente.
- (d) Durante a época de irrigação; as contagens de coliformes fecais deveriam preferentemente ser feitas semanalmente, ou pelo menos mensalmente.
- (e) Uma pauta mais rigorosa (≤ 200 coliformes fecais por 100 ml) é apropriada para gramados públicos, tais como os existentes em parques, hotéis etc. com os quais o público pode ter contato direto.
- (f) Essa pauta pode ser aumentada para ≤ 1 ovo por litro se (i) as condições forem de calor e baixa umidade, e a superfície de irrigação não estiver sendo utilizada, ou (ii) se o tratamento de águas residuais for complementado com campanhas de quimioterapia antihelmíntica em áreas de reutilização de águas residuais.
- (g) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deveria cessar duas semanas antes da colheita das frutas, e nenhuma fruta deveria ser recolhida do solo. Não se deveria usar irrigação com aspersores.

Fonte: Blumenthal (et al.) (2000)

Também é necessário respeitar os parâmetros para esgotos, conforme reuso, estabelecidos pela NBR 13.969/97 mostrado na Quadro 3.

- Coliforme fecal < 5 000 NMP/100 ml;
- oxigênio dissolvido > 2,0 mg/l.

Quadro 3: Parâmetros para esgotos.

Classes	Parâmetros	Comentários
Classe 1 - Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possíveis aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes.	• turbidez <5 UNT; • coliforme fecal - < 200 NMP/100 mL; • sólidos dissolvidos totais < 200 mg/L; • pH entre 6,0 e 8,0; • cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.	Nesse nível, serão geralmente necessários tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração.
Classe 2 - Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	• turbidez < 5 UNT; • coliforme fecal - < 500 NMP/100 mL; • cloro residual > 0,5 mg/L.	Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes;
Classe 3 - Reuso nas descargas das bacias sanitárias	• turbidez < 10; • coliformes fecais < 500 NMP/100 mL.	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;
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 < 5 000 NMP/100 mL • oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L.	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: ABNT – NBR 13.969/97.

3.5.2 Parâmetros físico-químicos

pH – Potencial Hidrogeniônico

Segundo Paganini (1997), o pH é uma escala logarítmica utilizada para medir a concentração de cátions hidrônio (H^+ ou H_3O^+) presentes na solução e indica o qual ácida, básica ou neutra a solução esteja. As águas de irrigação com elevada acidez ou basicidade podem acarretar toxicidade às plantas, deficiência nos nutrientes, problemas na estrutura do solo e deterioração nos equipamentos de irrigação. Paganini (1997), indica que o pH das águas de irrigação deve estar numa faixa de 6,5 a 8,4. O mesmo autor cita que o pH exerce grande influência nas características do solo, incluindo a disponibilidade de nutrientes para as plantas, a solubilidade de elementos potencialmente tóxicos e a atividade microbiana.

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica, representada por σ , é a medida da facilidade com a qual a água permite a passagem de corrente elétrica, sendo medida em S/m (siemens por metro). A medição da condutividade é uma maneira indireta e simples de inferir a presença de íons provenientes de substâncias polares, geralmente sais inorgânicos, dissolvidos na água, como cloretos, sulfetos, carbonatos, fosfatos (MEDEIROS, 2007).

Segundo Oliveira et al. (1998), há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, e com isso estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma amostra. Os compostos orgânicos não se dissociam em água, logo não afetam a condutividade. As determinações de pH e condutividade elétrica (CE) fornecem subsídios para se avaliar a possibilidade de precipitação de sais e a indução da salinidade em função da prática de irrigação.

Sódio

Segundo Paganini (2003), o sódio, quando presente na água de irrigação, dificulta a permeabilidade do solo. Um fator que afeta a toxicidade do sódio é a deficiência de cálcio e magnésio, com isso, se as concentrações de sódio, cálcio e magnésio no solo não se

apresentarem de forma equilibradas podem acarretar problemas de infiltração da água no solo. A Razão de Adsorção de Sódio (RAS) indica os limites de proporcionalidade entre esses elementos.

Uma água de irrigação com salinidade muito baixa ou com um alto valor da RAS pode provocar severa redução da infiltração. Dessa forma o cálculo da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) assume papel determinante, posto que a combinação CE e RAS serve para avaliar os perigos que a água oferece, respectivamente, em termos de indução de salinidade e aumento nos teores de sódio na solução do solo.

A razão de adsorção de sódio (RAS) é dada pela Equação 1:

$$RAS = \frac{Na}{\left(\frac{Ca+Mg}{2}\right)^{0,5}} \quad (1)$$

Onde:

Na: Concentração de sódio (meq/L)

Ca: Concentração de cálcio (meq/L)

Mg: Concentração de magnésio (meq/L)

obtidas através de análise da água.

A Razão de Adsorção de Sódio modificada (RASo) é ajustada através da concentração de cálcio na água ao valor de equilíbrio esperado após a irrigação, esta relação prevê melhor os problemas de infiltração causados por concentrações relativamente altas de sódio ou baixas de cálcio nas águas de irrigação. No cálculo é incluindo os efeitos do dióxido de carbono (CO²), do bicarbonato (HCO₃) e da salinidade sobre o cálcio originalmente contido na água de irrigação e que não forma parte da água do solo. (SUAREZ, 1981 e RHOADES, 1982; apud AYERS & WESTCOT, 1999).

A Razão de Adsorção de Sódio modificada (RAS°) é dada pela Equação 2:

$$RAS^{\circ} = \frac{Na}{\left(\frac{Ca^{\circ}+Mg}{2}\right)^{0,5}} \quad (2)$$

Onde:

Na: teor de sódio na água de irrigação, meq/L;

Ca°: teor corrigido de cálcio na água de irrigação, meq/L;

Mg: teor de magnésio na água de irrigação, meq/L.

O valor de Ca° é o teor de cálcio da água, corrigido pela salinidade da água (CEa) para o teor de bicarbonato em relação ao seu próprio teor de cálcio (HCO₃/Ca) e pela pressão parcial do dióxido de carbono (CO₂) exercida nos primeiros milímetros do solo (AYERS & WESTCOT, 1999). A Tabela 1 apresenta valores de cálcio corrigidos (Ca°) para serem utilizados na Equação 2.

As águas residuárias devem ser analisadas, verificando-se a presença de sódio, cálcio e magnésio, além da condutividade elétrica e a alcalinidade de carbonato e bicarbonato.

Tabela 1: Concentração de Cálcio (Ca°) contida na água do solo, próximo à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação HCO₃/Ca e CEa ¹²³.

Valor de HCO ₃ /Ca da água	Salinidade e água aplicada (Cea) – dS/m											
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,05	13,20	13,61	13,92	14,4	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,54
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,9	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,8	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,6	3,7	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,8	4	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3	3,1	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,3
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,7	2,84	2,95	3,14	3,28
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,1	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,7	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,3	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,4	1,48	1,54	1,63	1,7
2,25	1,04	1,08	1,1	1,14	1,17	1,21	1,26	1,3	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,4	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,3
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,9	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,8	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
4,50	0,66	0,68	69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,9	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,1	0,74	0,76	0,8	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,51	0,51	0,53	56	0,58
20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,32	0,32	0,33	0,35	0,37
30,00	0,18	0,19	0,2	0,2	0,21	0,21	0,22	0,24	0,24	0,25	0,27	28

Fonte: Suarez, 1981, apud Ayers & Westcot, 1999.

Quanto maior a RAS e quanto maiores as concentrações dos sais dissolvidos menos apropriada à água se torna para a irrigação, pois aumenta os problemas potenciais de infiltração da água no solo, como também, aumentam os riscos de salinizar o solo, comprometendo o desenvolvimento das culturas e contaminando o meio ambiente.

Um dos critérios mais aceitos e usados para classificar a água para uso na irrigação é o de Riverside (RICHARDS, 1954) do *United States Salinity Laboratory* (USSL). Esta classificação é baseada na condutividade elétrica em μ mhos/cm e na Razão de Adsorção de Sódio (RAS) (Figura 6).

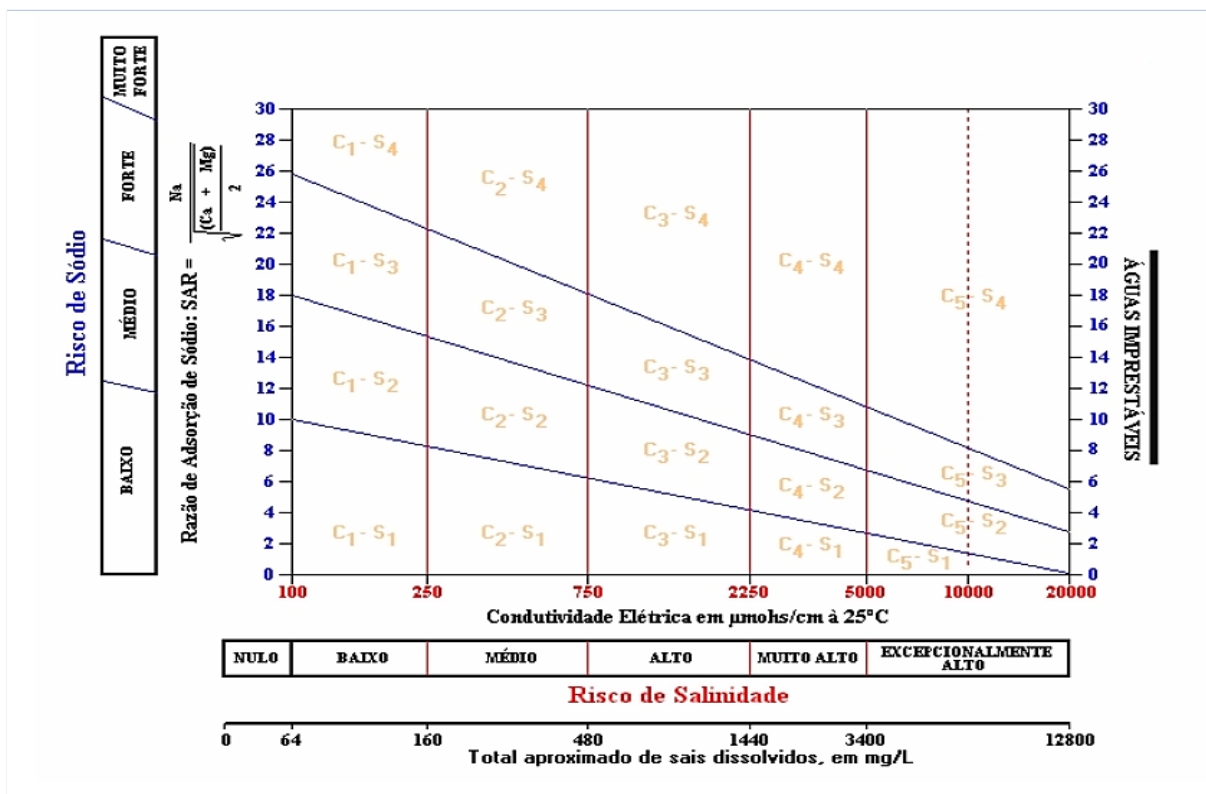
As categorias de água para irrigação segundo o USSL (RICHARDS, 1954) são:

- C0: águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação;
- C1: águas de salinidade fraca, CE compreendida entre 100 e 250 μ mhos/cm a 25°C (sólidos dissolvidos: 64 a 160 mg/l). Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca;
- C2: águas de salinidade média, CE entre 250 e 750 μ mhos/cm a 25°C (sólidos dissolvidos: 160 a 480 mg/l). Devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ainda ser cultivados na maioria dos casos;
- C3: águas de alta salinidade, CE entre 750 e 2250 μ mhos/cm a 25°C (sólidos dissolvidos: 480 a 1440 mg/l). Só podem ser utilizadas em solos bem drenados. Mesmo em solos bem cuidados, devem ser tomadas precauções especiais para evitar a salinização e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados;
- C4: -águas de salinidade muito alta, com CE entre 2250 e 5000 μ mhos/cm a 25°C (sólidos dissolvidos: 1440 a 3200 mg/l). Geralmente não servem para irrigação, podendo ser, excepcionalmente, utilizadas em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. Apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados nestas condições;
- C5: - águas de salinidade extremamente alta, CE entre 5000 e 20000 μ mhos/cm a 25°C (sólidos dissolvidos: 3200 a 12800 mg/l). São águas utilizáveis apenas em solos

excessivamente permeáveis e muito bem cuidados. Com única exceção no cultivo de palmeiras;

- S1: - águas fracamente sódicas; podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Prestam-se ao cultivo de quase todos os vegetais;
- S2: - águas medianamente sódicas; apresentam perigo de sódio para solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizados nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, com boa permeabilidade;
- S3: - águas altamente sódicas; há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo os gipsíferos. Exigem tratamento especial do solo (boa drenagem, lixiviação e presença de matéria orgânica) e podem ser utilizadas em vegetais com alta tolerância ao sódio;
- S4: - águas extremamente sódicas; geralmente imprestáveis para a irrigação, salvo se a salinidade global for fraca ou, pelo menos, média. Podem ser aplicadas em solos altamente drenáveis ricos em carbonatos.

Figura 6: Classificação de Riverside para a qualidade da água na irrigação.



Fonte: Richards, 1954.

Sólidos suspensos totais

Os sólidos suspensos totais (SST) são compostos por material orgânico e inorgânico que podem vir a interferir nas atividades agrícolas, pois ficam retidos na superfície do solo impedindo a infiltração da água de irrigação necessária ao rendimento das culturas, além da possível deposição desses sólidos nas folhas dificultando a atividade de fotossíntese e também podendo vir a se depositar nos aspeores provocando o entupimento do equipamento. A presença desses sólidos favorece o crescimento de microrganismos que agravem os problemas mencionados (JIMÉNEZ, 2001).

Sólidos totais dissolvidos

Para Damaceno (1999), a quantidade de sólidos totais dissolvidos são um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade da água de irrigação, pois o mesmo está relacionado com a concentração totais de sais. A salinidade da solução solo é normalmente relacionada com a salinidade de irrigação.

Os sólidos totais dissolvidos é uma medida indireta de sais inorgânicos e seu valor é proporcional à condutividade elétrica. A irrigação quando feita com água que contem sais, introduz estes ao perfil ao solo. E quando não são lixiviados, os sais se acumulam e diminuem a produtividade podendo vir a prejudicar o rendimento das culturas.

EPA – Austrália (1991), apud Mancuso (2003) recomenda a classificação de irrigação de acordo com o total de sais dissolvidos, mostrado no Quadro 4.

Quadro 4: Classes de salinidade para águas de irrigação.

Classe	Descrição	STD (mg/L)	CE (µS/cm)	CE (dS/m)
1	Salinidade baixa	0 – 125	0 – 270	0 – 0,3
2	Salinidade média	125 – 500	270 – 780	0,3 – 0,8
3	Salinidade alta	500 – 1500	780 – 2340	0,8 – 2,3
4	Salinidade muito alta	1500 – 3500	2340 – 5470	2,3 – 5,5
5	Salinidade extremamente alta	> 3500	>5470	>5,5

Fonte: EPA – Austrália (1991), apud Mancuso (2003).

Tsutiya (2001) afirma que uma concentração elevada de sais dissolvidos ocasiona um aumento da pressão osmótica impedindo as plantas de absorver água. Uma salinidade elevada no nível radicular ocasiona a queima das folhas, impossibilita o crescimento e ocasiona a destruição das plantas. Com isso, quando a salinidade da água de irrigação ultrapassa determinados limites, o desenvolvimento e a produtividade ficam prejudicados. O autor relata que até STD de 1000mg/L, não existe efeitos salinos, porém para valores acima de 5000mg/L apenas algumas culturas são tolerantes apresentando uma boa produtividade.

Salinidade

A salinidade é um parâmetro de medida da quantidade de sais dissolvidos em uma determinada amostra de água, ela é analisada de forma indireta através dos parâmetros de condutividade elétrica e dos sólidos totais dissolvidos, ambas as medidas podem serem utilizadas pois as mesmas são equivalentes.

É importante frisar a importância relativa à salinidade que diversas culturas possuem, algumas não são afetadas por elevadas concentrações de sais, produzindo rendimentos aceitáveis, outras, são extremamente sensíveis. Um dos métodos mais utilizados para medir a qualidade da água para o uso na irrigação é o de Ayers & Westcott (1999) mostrado no Quadro 5.

Quadro 5: Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação

Problema Potencial	Unidades	Grau de restrição para uso		
		Nenhum	Ligeiro-Mode- rado	Severo
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para a cultura)				
CEa ou	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	>0,3
SDT	mg/L	<450	450 – 2000	>2000
Infiltração (avaliada usando-se CEa e RAS, conjuntamente)				
RAS = 0 – 3 e CEa =		>0,7	0,7 – 0,2	<0,2
RAS = 3 – 6 e CEa =		>1,2	1,2 – 0,3	<0,3
RAS = 6 – 12 e CEa =		>1,9	1,9 – 0,5	<0,5

RAS = 12 – 20 e CEa =		>2,9	2,9 – 1,3	<1,3
RAS = 20 – 40 e CEa =		>5,0	5,0 – 2,9	<2,9
Toxidade de íons específicos (afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na)				
Irrigação por superfície	RAS	<3	3 – 9	>9
Irrigação por aspersão	Meq/L	<3	>3	
Cloreto (CL)				
Irrigação por superfície	meq/L	<4	4 - 10	>10
Irrigação por aspersão	meq/L	<3	>3	
Boro (B)	meq/L	<0,7	0,7 – 3,0	>3,0
Outros (afetam culturas sensíveis)				
Nitrogênio (NO ³ - N)	mg/L	<5,0	5,0 - 30	>30
Bicarbonato (HCO ₃) – apenas aspersão convencional	meq/L	<1,5	1,5 – 8,5	>8,5
pH	Faixa normal: 6,5 – 8,4			

Fonte: Ayers & Westcot (1999).

O controle da salinidade é de extrema importância no monitoramento da qualidade da água para irrigação. Para este controle se utiliza o parâmetro de condutividade elétrica da água, pois a mesma tem uma relação de proporcionalidade com os teores de sais contidos na água.

3.6 Experiência de Reúso para fins urbanos

Na área urbana os usos potenciais são: irrigação de campos de golfe e quadras esportivas, faixas verdes decorativas ao longo de ruas e estradas, gramados residenciais, viveiros de plantas ornamentais, parques e cemitérios, descarga em toaletes, lavagem de veículos, reserva de incêndio, recreação, construção civil (compactação do solo, controle de poeira, lavagem de agregados, produção de concreto), limpeza de tubulações, sistemas decorativos tais como espelhos d'água, chafarizes, fontes luminosas, entre outros (BERNARDI, 2003).

SABESP

A companhia de Saneamento de São Paulo (SABESP) adota o reúso de água de forma pioneira desde de 1998, com a transformação de Estação de Tratamento de Esgotos convencionais, ETE Jesus Netto, em uma estação para produção de água de reúso. Atualmente são produzidos, em média, 468 L de água por segundo para o fornecimento externo ou uso interno para a limpeza de equipamentos ou manutenção de suas áreas, nas estações Jesus Netto, Barueri e Parque Novo Mundo. O excedente na produção, a companhia estendeu a outras empresas e a seis prefeituras da Região Metropolitana de São Paulo que usam o produto para efetuar a limpeza pública das ruas após as feiras livres, caminhões devidamente preparados seguem às estações de tratamento de esgotos da SABESP para abastecer da água de reúso (SABESP, 2018).

Atualmente a empresa possui 7,8 Km de redes para o fornecimento de água de reúso. Em parceria com a iniciativa privada, foi construído o Aquapolo Ambiental, que utiliza os esgotos tratados da ETE ABC, da SABESP, e após tratamento adicional de ultra filtração por membranas, produz água de reúso para utilização no Polo Petroquímico da Região do Grande ABC. Aproximadamente 1 bilhão de litros por mês são destinados ao Polo Petroquímico (SABESP, 2018).

CEDAE

A Companhia Estadual de Águas do Rio de Janeiro (CEDAE) vem utilizando os efluentes de suas estações de tratamento de esgotos (ETEs), ETE Alegria e ETE Penha, para reúso urbano e industrial.

A ETE Alegria funciona como um importante instrumento no Projeto de Despoluição da Baía de Guanabara, com capacidade para tratar até 2500 litros de esgotos por segundo. O processo de tratamento biológico utilizado pela a estação é o de lotos ativados e os produtos finais são água de reúso, biossólidos e biogás. Na ETE é mantido o projeto de águas de reúso da ETE Alegria, em que algumas empresas fazem a coleta para utilização em processos industriais, um exemplo é o Consórcio Porto Rio que utiliza a água de reúso para abastecimento de equipamentos de perfuração de rochas para umedecer bases de pavimentos, vias e calçadas. (CEDAE, 2008)

A ETE Penha, localizada na zona norte do Rio de Janeiro, também produz água obtidas a partir do tratamento pelo processo de lodos ativados, a estação tem capacidade de fornecer 21.600 m³/mês.

Os principais usos da água de reúso é na própria manutenção da própria ETE, com o abastecimento de caminhões de desentupimento, lavagem de centrífugas e na diluição de polímeros utilizados para retirar a umidade do lodo dentro da própria ETE e na lavagem de veículos e pátio de trabalho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4. 1 Panorama da área de estudo – Mossoró

4.1.1 Localização

O município de Mossoró localiza-se no Estado do Rio Grande do Norte, a 05°11'15 Sul e a 37°20'39" Oeste, situando-se na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião de Mossoró, abrangendo uma área de 2.110,21 km², equivalente a 4,00% da superfície estadual. Limita-se a oeste com o município de Baraúna e Governador Dix-Sept Rosado, ao sul com Governador Dix-Sept Rosado e Upanema, a leste com Serra do Mel, Areia Branca, Assu e Grossos e ao norte com Grossos e Tibau. Está a uma distância de 285Km da capital, Natal. O acesso, partindo de Natal, dá-se através da rodovia pavimentada BR-304 (IDEMA, 2008).

Figura 7: Localização da cidade de Mossoró-RN.



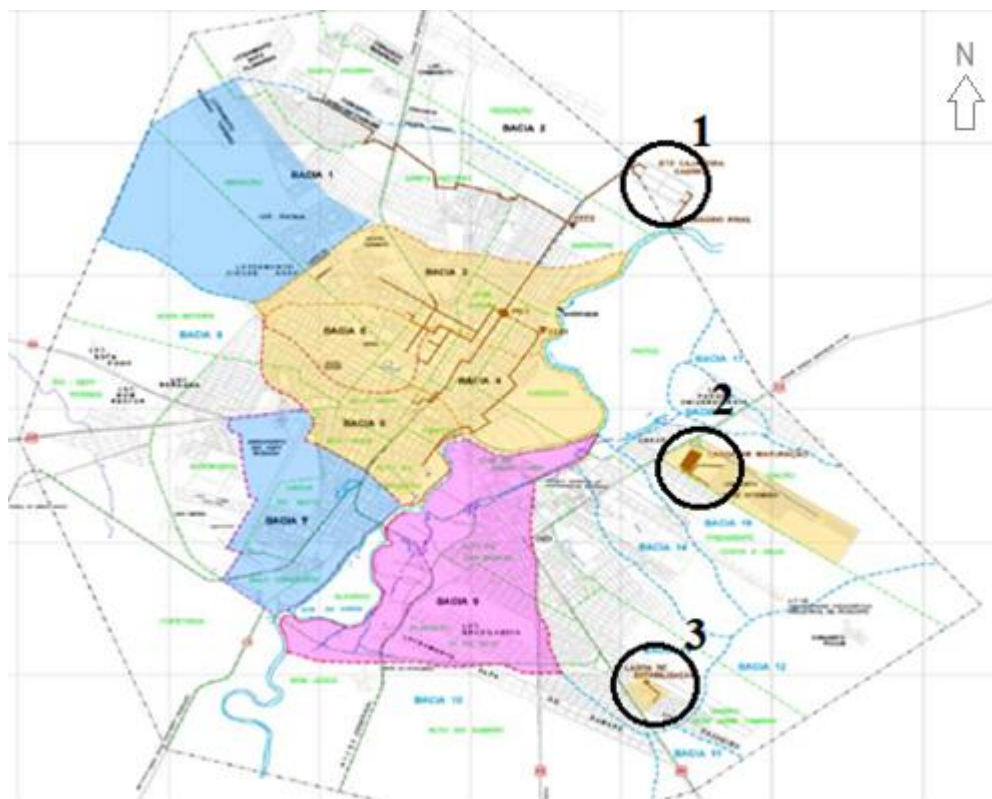
Fonte: Plano de desenvolvimento para o sistema de saneamento básico do município de Mossoró/RN, 2010.

O município possui clima característico do tipo semiárido, com uma sensação térmica de calor elevado, com duas estações bem definidas, uma chuvosa, de fevereiro a abril e outra seca, de maio a janeiro, com incidência de temperaturas elevadas, principalmente nos meses de setembro a dezembro, variando entre 22,0 °C e 36,0 °C. Quanto ao relevo os solos que predominam são de origem sedimentares, com dominação dos cambisolos que se apresentam com fertilidade natural alta (IDEMA, 2008).

4.1.2 Esgotamento Sanitário – Mossoró

De acordo com o SNIS (2015) o índice de coleta de esgoto no município é de 42,80%, atendendo uma população de 129.456 habitantes, tratando de um volume 4,7 milhões de m³/ano de esgoto. Atualmente no município existem três unidades de tratamento: a ETE Cajazeiras, ETE Vingt Rosado e ETE Rincão.

Figura 8: Áreas de atendimento do sistema de esgotamento sanitário - Mossoró/RN.



Fonte: Brasil, 2010 – Adaptação (2018).

1- ETE Cajazeiras, 2 – ETE Rincão, 3 – ETE – Vingt Rosado

4.2 Descrição e caracterização do sistema de tratamento

O município de Mossoró é dividido pelo Rio Apodi - Mossoró, os esgotos coletados na margem leste da cidade têm como destino final a ETE Cajazeiras, conforme mostrado na Figura 9. A ETE é responsável pelo tratamento dos esgotos dos bairros: Santa Delmira, Abolição I e II, Boa Vista, Doze Anos, Alto da Conceição, Centro, Bom Jardim, Barrocas, Santo Antônio, Nova Betânia, e seus efluentes tratados tem como destino final lançamento direto no Rio Mossoró, que é realizado por meio de um emissário de gravidade (HENRIQUES, 2016).

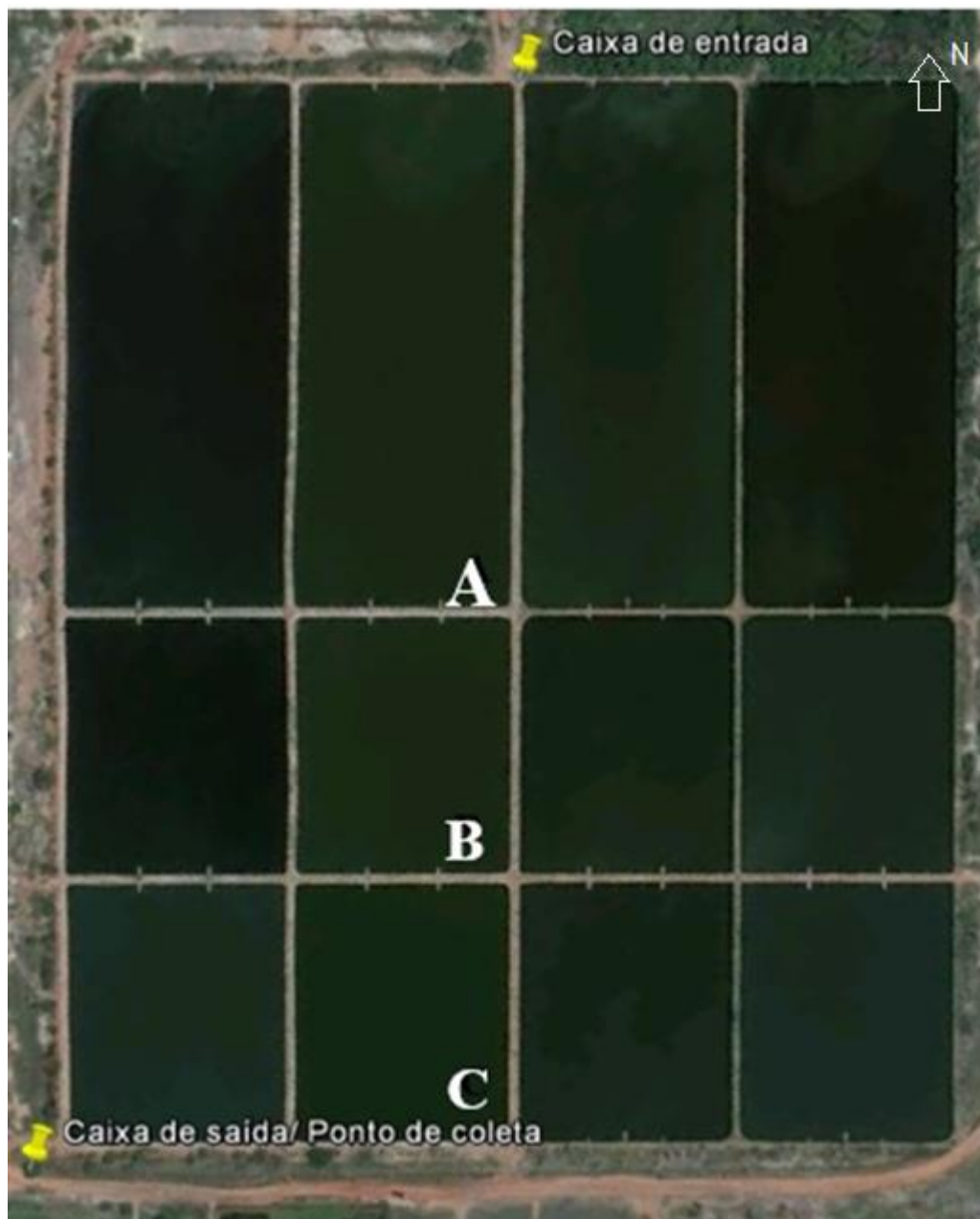
Figura 9: Localização ETE Cajazeiras.



Fonte: Dados da pesquisa (2018); Google Earth (2016), Escala 1:2003 – Adaptação (2018).

A ETE Cajazeira é composta por quatro lagoas facultativas morfométricamente iguais e oito lagoas de maturação também morfométricamente iguais, formando quatro séries em paralelo, conforme demonstra na Figura 10 abaixo (HENRIQUES, 2016).

Figura 10: Vista superior da ETE Cajazeiras.



Fonte: Dados da pesquisa (2018); Google Earth (2016), Escala 1:300 – Adaptação (2018).

A – Lagoa facultativa, B – Lagoa de Maturação, C – Lagoa de Maturação.

Figura 11: Principais pontos da ETE.



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

1 – Efluente bruto e Grade de Barras, 2 – Caixa de areia e Calha Parshall, 3 – Lagoas facultativas, 4 – Lagoas de maturação.

A população total atendida pela ETE é 175.175 habitantes e a população atendida por cada série é 43.794 habitantes. Como se pode observar na Figura 11 a ETE é composta por tratamento preliminar, realizado através da caixa de areia (2) e Grade de barras (1), imediatamente após a caixa de areia está posicionada a Calha Parshall, com a função de monitorar o volume de efluente de entrada. Após esse dispositivo o sistema possui uma caixa distribuidora que divide o efluente bruto para as quatro séries de lagoas facultativas responsável pelo tratamento secundário. O efluente tratado é encaminhado as lagoas de maturação responsável por os remover patógenos, possibilitando um polimento do efluente (HENRIQUES, 2016).

No Quadro 6 estão expostos os principais parâmetros de projeto, dentre eles podemos destacar que o tempo de detenção hidráulico nas lagoas de maturação é de 5 dias e nas

facultativas é de 12,5 dias, a eficiência de remoção de coliformes em ambas as lagoas foi projetado com valor superior a 99%, já no que diz respeito a eficiência na remoção de DBO nas lagoas facultativas ela é superior a 83% e na de maturação superior a 72% de acordo com o que preconiza na CONAMA 430 (HENRIQUES, 2016).

Quadro 6: Características de dimensionamento da ETE Cajazeiras.

Caracterís- ticas	Parâmetros	Lagoa faculta- tiva	Lagoa de ma- turação 1	Lagoa de ma- turação 2
Físicas	Largura (m)	338,30	165,30	165,30
	Comprimento (m)	133,80	132,50	132,50
	Área (ha)	4,53	2,19	2,19
	Profundidade (m)	2,00	1,70	1,70
	Volume (m ³)	90.529,08	37.233,83	37.233,83
Operacionais	λ_s (Kg.DBO/ha.d) *	400	137,44	137,44
	Vazão média de projeto de cada série do sistema de tratamento (l/s)	81,10	81,10	81,10
	TDH - Tempo de Detenção Hidráulico (dias)	12,50	5,00**	5,00**
	Eficiência na remoção de DBO (%)	83,83	72,85	72,85
	Eficiência na remoção de Coliformes Fecais (%)	99,36	99,97	99,97

* λ_s (Kg.DBO/ha.d) - Taxa de aplicação superficial

** Valor adotado

Fonte: CAERN (2008) – Adaptação (2018)

4. 3 Desenvolvimento da pesquisa

O trabalho foi desenvolvido através de levantamentos de dados, análises microbiológicas e físico-química fornecido pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) da ETE Cajazeiras, análises químicas realizadas no laboratório de solo e água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e levantamento de dados de praças e canteiros urbanos fornecidos pela prefeitura municipal através da Secretaria de Infraestrutura, Meio Ambiente, Urbanismo e Serviços Urbanos.

Para a realização do trabalho foi seguido cinco etapas: o planejamento e monitoramento da ETE Cajazeiras, análises microbiológicas e físico-química da qualidade do efluente final da

lagoa, com o método de análise dos parâmetros apresentados no Quadro 7, avaliação das análises de acordo com o item 3.4, caracterização de praças e canteiros urbanos, do município de Mossoró, e avaliação da viabilidade do uso do efluente na irrigação urbana.

Quadro 7: Parâmetros a serem analisados de acordo com cada critério.

Critério	Parâmetro	Período de análise	
OMS	Nematódeos	-	Não analisado
OMS e NBR 13.969/97	Coliformes fecais	Jan/2010 a fev/2018	Verificado*
NBR 13.969/97	Turbidez	-	Não analisado
NBR 13.969/97	Cloro Residual	-	Não aplicado
Critério de irrigação	pH	dez/2017 a mar/18	Analisado
Critério de irrigação	Condutividade Elétrica	dez/2017 a mar/18	Analisado
Critério de irrigação	Sólidos Totais Dissolvidos	-	Não analisado
Critério de irrigação	Sódio - RAS	dez/2017 a mar/18	Analisado

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

*Obtidos da CAERN

Alguns parâmetros não analisados não foram realizados devido a impossibilidade da realização das análises, restringindo o estudo aos parâmetros possíveis de análise. No trabalho foi possível a realização dos principais parâmetros adotados pela OMS e a NBR 13.969/97, viabilizando o estudo.

4.3.1 Planejamento de experimentos

O monitoramento do efluente final foi realizado no período de dezembro/2017 a março/2018 com frequência mensal e coleta de amostra em horários matutinos, como descrito no Quadro 8.

Quadro 8: Informações das coletas.

Coleta	Data	Horário	Temperatura	Obs
1	21/12/17	08:33	26 °C	Período seco

2	22/01/18	08:52	27,5 °C	Período seco
3	27/02/18	08:24	27,5 °C	Período chuvoso
4	08/03/18	08:16	28,5 °C	Período chuvoso

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O efeito da precipitação pluviométrica sobre os valores das concentrações dos parâmetros analisados foi avaliado, de acordo com o período da coleta da amostra. Nos meses de dezembro e janeiro no período de seca e nos meses de fevereiro e março no período chuvoso.

A coleta das amostras deu-se conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12: Coletas de amostras.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

4.3.2 Caracterização de praças e canteiros urbanos

As áreas verdes públicas, praças e canteiros urbanos no município são mantidas pela Secretaria Municipal de Infraestrutura, Meio Ambiente, Urbanismo e Serviços Urbanos, que é

o órgão municipal responsável por planejar, avaliar e controlar o paisagismo urbano de Mossoró.

Segundo a secretaria, as praças e canteiros urbanos de Mossoró são irrigadas com água da CAERN, como ponto de coleta os poços P22 e P26 e transportada através de carros pipas. Vale enfatizar que a rega dessas áreas verdes é realizada com água tratada, como será detalhada a seguir.

Segundo a secretaria, com base em dados de 2008 a 2012, eram irrigados aproximadamente 40 mil m² em conjunto canteiros e praças, abrangendo aproximadamente as principais áreas verdes da cidade. O transporte da água é terceirizado e a contratação era feita via licitação. A rega era realizada por 11 caminhões-pipa. Cada caminhão realizava 2 viagens por dia, trabalhando em média 20 dias por mês (de segunda a sexta). Portanto, o consumo de água aproximadamente 150 m³/dia e 3.000 m³/mês. Esse volume seria o suficiente para abastecer uma população de 1.250 hab/dia, com um *per capita* de 120 L/hab.

4.3.3 Análises laboratoriais

Os parâmetros analisados, os métodos analíticos empregados, bem como as referências dos métodos são descritos abaixo no Quadro 9. As análises microbiológicas foram fornecidas pela CAERN e as análises químicas foram realizadas no laboratório de solo e água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Quadro 9: Parâmetros microbiológicas e físico-química e procedimentos analíticos empregados.

Parâmetro (und)	Método	Referência
Coliformes fecais (NMP/100mL)	Tubos múltiplos	APHA et al. (1995)
pH	Potenciométrico	APHA et al. (1995)
Condutividade Elétrica (dS/cm)	Resistência Elétrica	APHA et al. (1995)
Sódio (mg/L)	Fotometria de chama	APHA et al. (1995)
Cálcio (mg/L)	Titulométrico	APHA et al. (1995)
Magnésio (mg/L)	Titulométrico	APHA et al. (1995)

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

4.3.4 Critérios de avaliação para reúso

Os dados físico-químicos e microbiológicos foram avaliados estatisticamente, para se obter informações sobre a qualidade da água residuária para uso na irrigação urbana. Será analisada a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), como também, a condutividade elétrica para se ter informações sobre o potencial de infiltração e o teor de sais contidos na água residuária e, assim, poder verificar se o efluente final da ETE está dentro das restrições para reúso. Os parâmetros parasitológicos e microbiológicos serão avaliados segundo os padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da NBR 13.969/97, como distrito no item 3.4.

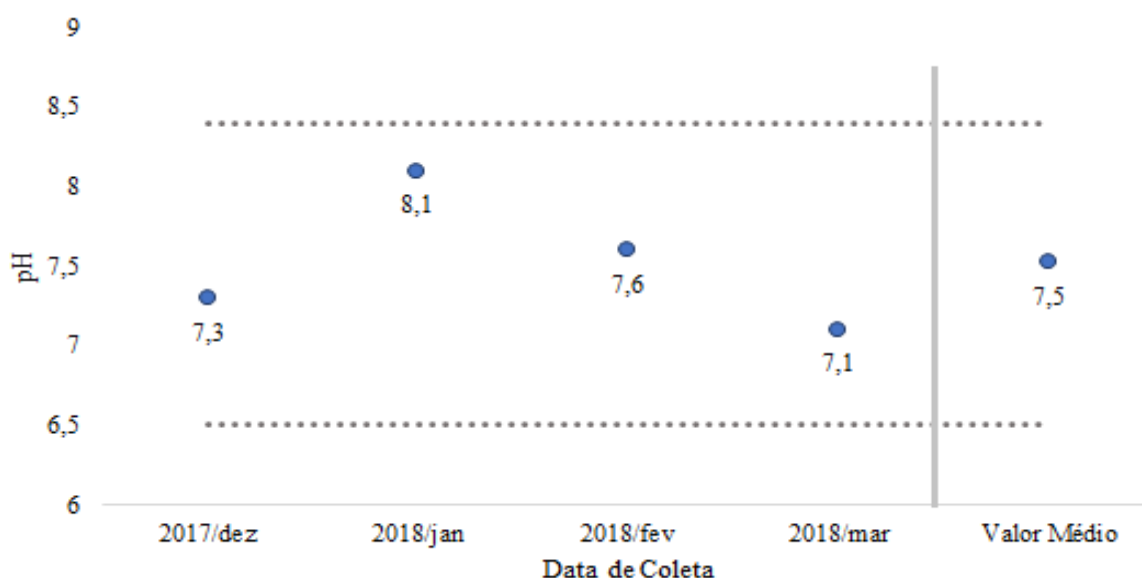
5.0 RESULTADOS

5.1 Estatística dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos

5.1.1 pH – Potencial Hidrogeniônico

O Gráfico 1 mostra os valores dos dados coletados de pH do efluente final da ETE Cajazeiras e distribuído entre a faixa de 6,4 a 8,4 considerado por Paganini (1997), como adequada para a irrigação.

Gráfico 1: Representação dos valores de pH no efluente final da ETE Cajazeiras e seus limites para uso, segundo Paganini (1997)

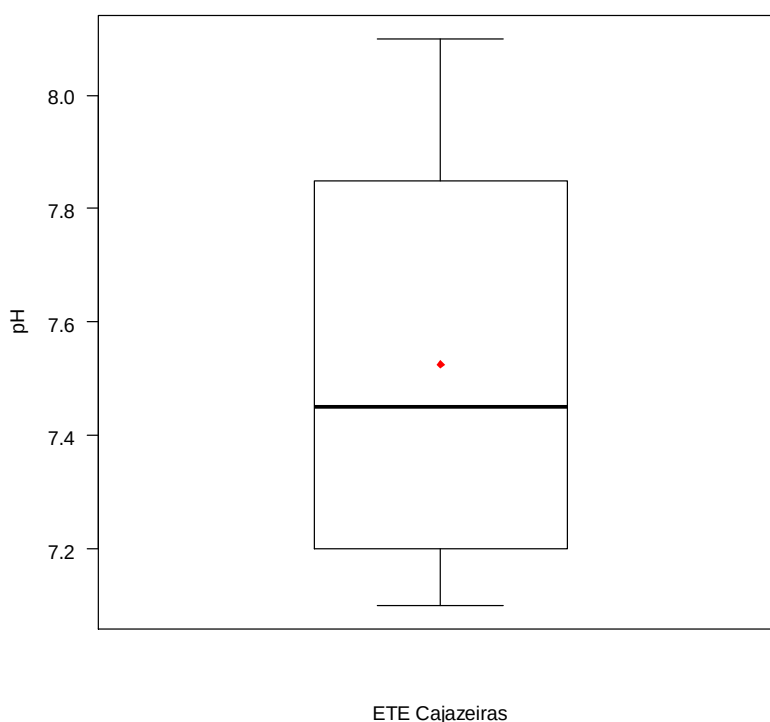


Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

O Gráfico 1 denota a distribuição dos dados coletados de pH do efluente final da ETE Cajazeiras. O valor mínimo verificado durante o estudo foi no mês de março 7,1, obtido durante um período de seca e o valor máximo foi no mês de janeiro 8,1, também no período de seca. Os valores obtidos no período seco (7,3 e 8,1) e os valores no período chuvoso (7,6 e 7,1), apresentou um desvio padrão de apenas 0,22, com isso percebeu-se que o aumento pluviométrico pouco exerceu influência nos valores obtidos.

Como o pH da água utilizado na irrigação exerce grande influência no pH do solo, se faz necessário a verificação deste parâmetro para que não ocorra desequilíbrio no solo a ser utilizado. De acordo Bastos et al. (2003) o pH do solo está de modo direto relacionado com a sua fertilidade por interferir na solubilidade dos elementos minerais e na sua disponibilidade.

Gráfico 2: Representação, em “box plot”, dos valores de pH no efluente final da ETE Cajazeiras



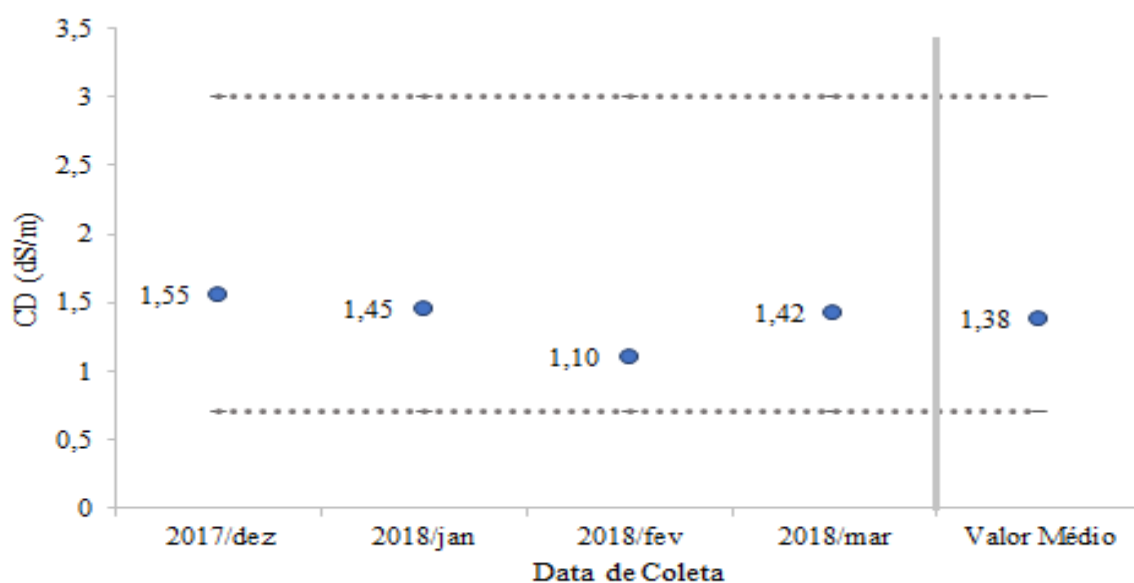
Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Segundo Paganini (1997) o pH não é um parâmetro restritivo mais o ideal é que a água utilizada na irrigação tenha um valor dentro da faixa 6,5 a 8,4. Segundo Ayers & Westcot (1999) pH fora da faixa ideal pode ser corrigido com a aplicações de corretivos na água, apesar de muitas vezes a aplicação da correção do pH seja realizada diretamente no solo, medida que deve ser adotada afim de evitar danos de corrosão nos equipamentos de irrigação a ser utilizados.

5.1.2 CE – Condutividade Elétrica

Os valores de condutividade elétrica para os períodos do estudo são apresentados no Gráfico 3. Percebe-se que o efluente final da ETA, não apresentou restrição quanto a salinidade, todas as amostras variaram dentro dos limites 0,7 a 3,0 estabelecidos por Ayers & Westcot (1999) no Quadro 5.

Gráfico 3: Representação dos valores de pH no efluente final da ETE Cajazeiras e seus limites para uso, segundo Ayers & Westcot (1999)



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

O Gráfico 4 apresenta a distribuição dos dados coletados de CE do efluente final da ETA Cajazeiras. O valor mínimo verificado durante o estudo foi no mês de fevereiro 1,1 e o valor máximo no mês dezembro 1,55.

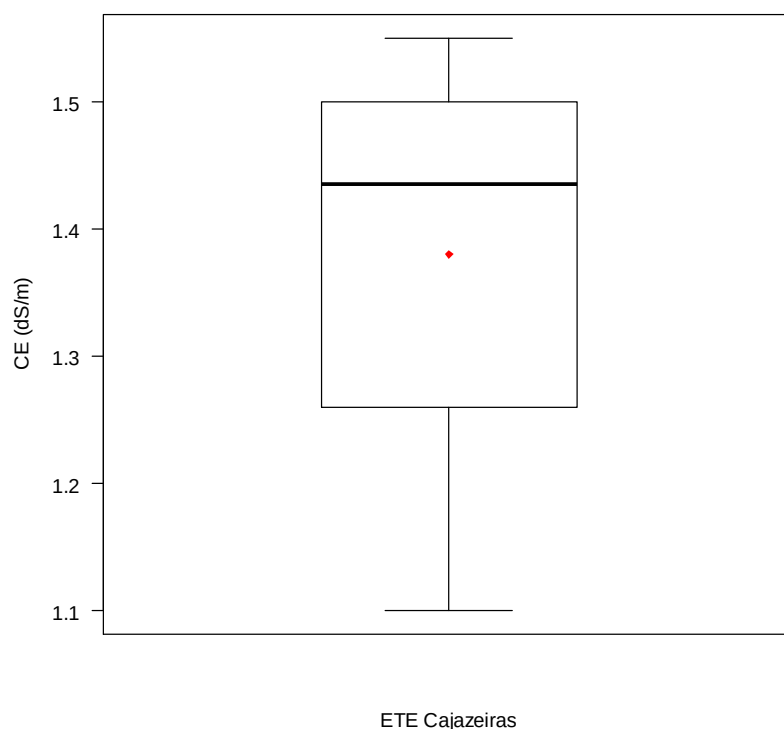
Não foi observado grandes variações nos valores de CE entre os duas regimes pluviométricos, ou seja, os valores do período de seca (1,55 e 1,45) foram bem próximo do período chuvoso (1,10 e 1,42), o que pode ser observado através do desvio padrão de apenas 0,10. A pequena diminuição nos valores no período chuvoso nos meses de fevereiro e março pode ser explicado pela maior precipitação pluviométrica que ocasiona uma diluição dos íons de sais, isso devido a ocorrência de entrada de água de chuva através de ligações clandestinas e da própria precipitação na lagoa, porém o volume não é suficiente para gerar grades variações

na CE aja visto que a coleta da amostra é realizada na caixa de saída da lagoa e durante todo o tratamento ocorre um alto nível de evaporação.

A salinidade não é um parâmetro restritivo pelos padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da NBR 13.969/97 para qualidade de água de reúso, porém é de grande importância seu controle a nível de qualidade de água para a irrigação.

Para Bastos *et al.* (2003) o risco potencial de salinização do solo é avaliado com tomando como parâmetro a salinidade da água utilizada na irrigação que é medida através da condutividade elétrica. Paganini (2003) cita que águas com salinidade muito alta na faixa de 2,3 a 5,5 dS/m e águas extremamente salinas maiores que 5,5 dS/m podem ocasionar à contaminação do lençol freático através da lixiviação de sais, sulfato, nitrato ou outros componentes que podem estar presentes na água de irrigação.

Gráfico 4: Representação, em “box plot”, dos valores de CE no efluente final da ETE Cajazeiras



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

5.1.3 Razão de absorção de sódio

Para o cálculo da RAS foi analisado, em simultâneo, os valores de RAS com os de CE. A partir dos dados obtidos elaborou-se o Quadro 10 que mostra o enquadramento do efluente no grau de restrição ao uso. Para o intervalo de RAS existentes e o intervalo avaliado, 50% dos resultados obtidos (janeiro e fevereiro) enquadrou o efluente na categoria ligeiro - moderado grau de restrição e os outros 50% dos resultados (dezembro e março) na categoria nenhum grau de restrição para uso. Utilizando a média dos valores para a classificação do efluente final obtém-se nenhum grau de restrição para o uso.

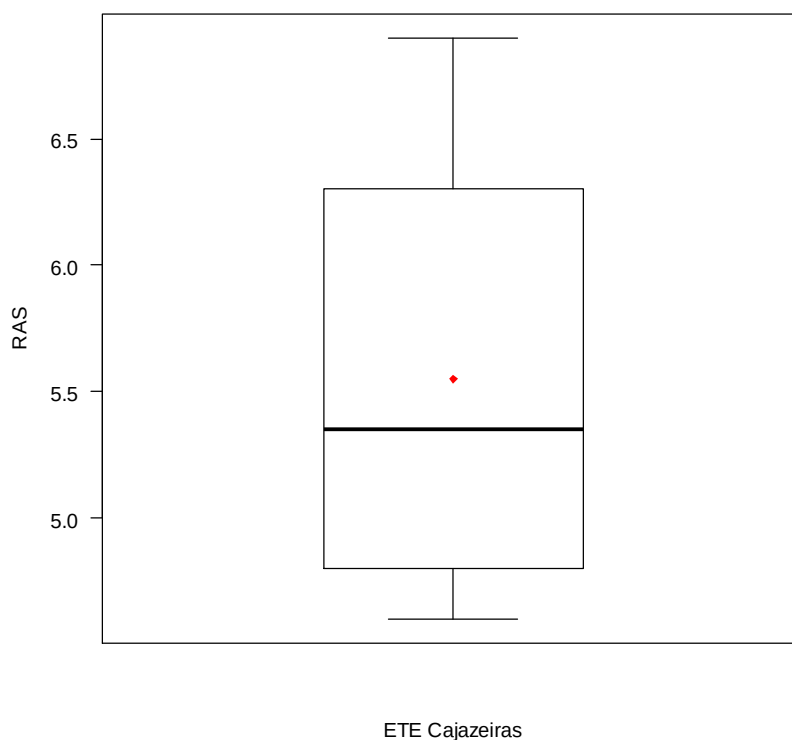
Quadro 10: Grau de restrição de uso do efluente da ETA Cajazeiras, de acordo com Ayers e Westcot (1999).

Problema Potencial	Grau de restrição para uso		
	Nenhum	Ligeiro-Moderado	Severo
Infiltração (avaliada usando-se CEa e RAS, conjuntamente)			
RAS = 3 – 6 e CEa =	>1,2	1,2 – 0,3	<0,3
2017/dez	1,55		
2018/fev		1,10	
2018/mar	1,42		
Média	1,38		
RAS = 6 – 12 e CEa =	>1,9	1,9 – 0,5	<0,5
2018/jan		1,45	

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Na representação em “box plot” pode-se observar que o maior valor de RAS é de 6,9, representado pelo limite superior do Gráfico 5 e o menor valor foi de 4,6 no limite inferior. Também é possível observar a distribuição dos valores de RAS quanto a média e a mediana. Para a RAS obteve-se um desvio padrão de 0,50.

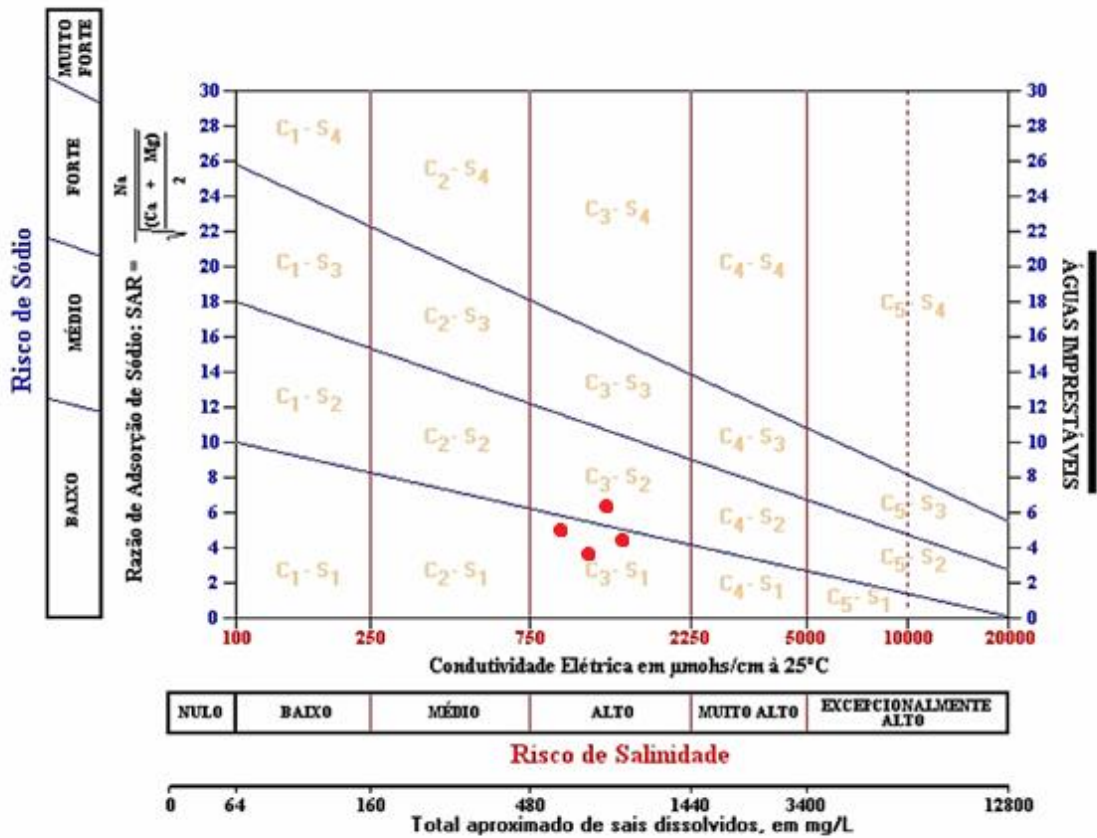
Gráfico 5: Representação, em “box plot”, dos valores de RAS no efluente final da ETE Cajazeiras



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Segundo a classificação de Riverside (Richards, 1954) as águas de irrigação podem ser classificadas de acordo o seu risco de sodicidade e salinidade. No estudo, mostrado na Gráfico 6, 75% das amostras apresentaram a classificação C3 – S1 e 25% com classificação C3 – S2 mostrando que esse efluente tem um alto risco quanto à salinidade (C3) e um baixo (S1) a médio (S2) risco a sodicidade. Essa classificação (C3 – águas de alta salinidade) indica que o efluente poderia ser utilizado em solos bem drenados, porém deve-se tomar precauções especiais para evitar a salinização do solo e é adequado apenas para o cultivo de vegetais de alta tolerância salina; para o risco de sodicidade (S1 – fracamente sódico) poderia ser utilizado em quase todos os tipos de solo e ao cultivo de quase todos os vegetais.

Gráfico 6: Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade do efluente final da ETE Cajazeiras



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

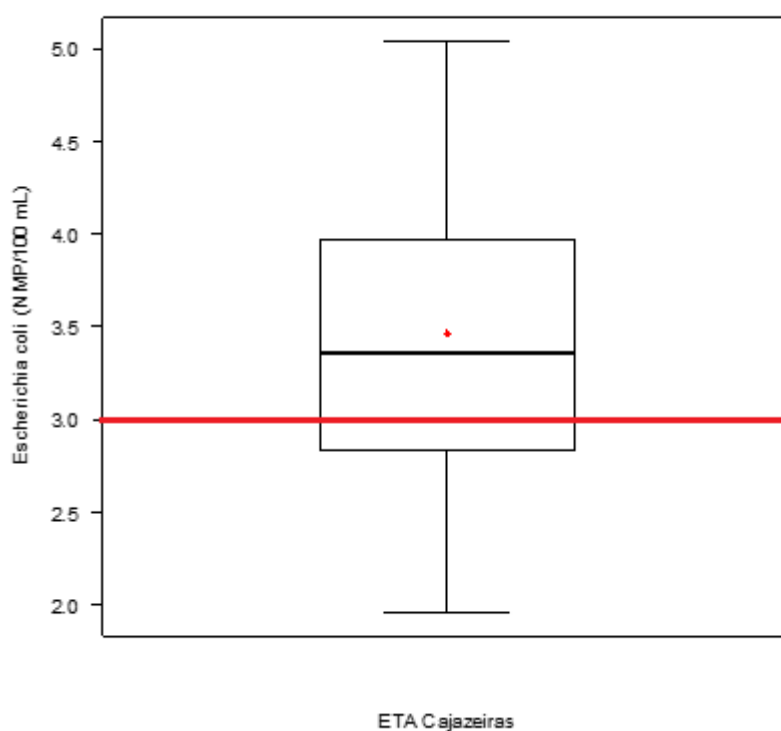
De acordo com Embrapa (2018), os Cambissolos, tipo de solo predominante na região de Mossoró, apresentam espessura mediana (50-100 cm de profundidade), não têm restrição de drenagem e apresentam bom potencial agrícola. Com isso, mesmo com uma alta salinidade é possível a utilização do efluente na irrigação.

5.1.4 Termotplerantes – *Escherichia coli*

As concentrações de *Escherichia coli* foram utilizadas para analisar a qualidade microbiológica dos efluentes finais segundo os padrões da OMS e da NBR 13.969/97 (ABNT, 1997), descrito no item 3.5.1.

A representação no Gráfico 7, em “box plot”, para o período de estudo mostrou que a maior parte dos dados coletados ficaram acima do limite estabelecido pela OMS (1000 NNP/100mL) para uso irrestrito. Utilizando o valor da média para a classificação segundo os padrões sanitários da OMS, Quadro 1, o efluente enquadra-se na categoria B, com condições de uso para irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores. Porém essa classificação impossibilita o uso do efluente em aguação de praças e canteiros urbanos.

Gráfico 7: Representação, em “box plot”, dos valores normalizados de Escherichia coli no efluente final da ETE Cajazeiras e limite estabelecido pela OMS



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Na classificação segundo a NBR 13969/97 (ABNT,1997), utilizando a média dos valores o efluente pode ser classificado na classe 4 - Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Classificação que também impossibilita seu uso na irrigação urbana.

Segundo Mayo (1992), um dos principais fatores é a concentração de sólidos, os quais prejudicam a penetração da luz e, por consequência, reduz a morte de bactérias. Para Medeiros (2007), o alto número de *Escherichia coli* evidencia a sobrecarga do sistema de tratamento – lagoa de estabilização, possivelmente devido ao aumento da população urbana e a falta de investimento na expansão do sistema.

Várias soluções poderiam ser adotadas, como a expansão da ETE existente, diminuindo a sobrecarga do sistema, melhorias na lagoa de maturação, aumento tempo de detenção nas lagoas de maturação ou construção de uma nova lagoa maturação, de forma a reduzir os índices de *Escherichia coli*. Após a saída do efluente da lagoa de maturação poderia ser adotado um pós tratamento, com um filtro de pedra, que aumentaria a qualidade sanitária e removeria o excesso de algas, melhorando a turbidez e cor e diminuindo a possibilidade de rejeição da população.

5.2 Avaliação da viabilidade do uso do efluente

5.2.1 Qualitativa

Para os parâmetros físico-químicos foram avaliados o enquadramento nos limites considerado apropriados para uso do efluente na irrigação e suas restrições ao uso. Abaixo está descrito a viabilidade de cada parâmetro analisado.

- para o parâmetro pH, o efluente final da ETE, em todas as amostras ficaram dentro da faixa de 6,5 a 8,4 considerada adequada para irrigação;
- quanto a salinidade, avaliada através do parâmetro de condutividade elétrica, todas as amostras também ficaram dentro dos limites de 0,7 a 3,0 apontado como apropriada para o uso na irrigação;
- para os valores de CE e RAS, utilizando a classificação de Ayers e Westcot (1999), o efluente do estudo não apresenta nenhum grau de restrição de uso na irrigação;
- porém de acordo com a classificação de Riverside, o efluente se enquadra em C3-S1 (75% das amostras), mostrando que o efluente apresenta alto risco de salinidade (C3) e baixo risco de sodicidade (S1). Porém o efluente pode ser utilizado em solos bem drenados, como é caso de Mossoró (cambissolos), sem prejuízos para o solo ou para a planta.

Para o parâmetro microbiológico, o efluente final da ETE Cajazeiras não atingiu o padrão recomendado pela OMS (VON SPERLING, 2013) e da NBR 13969/97 para ser utilizado na irrigação irrestrita, inviabilizando seu uso na aguação de praças de canteiros urbanos sem um pré-tratamento. O efluente estaria adequado apenas para o uso na irrigação de forragens, classificação A.

5.2.2 Quantitativa

Para a ETE do estudo foi realizado uma análise quantitativa de compatibilização entre a oferta do efluente e a demanda pela água de reúso. O Quadro 11 apresenta dados de localização e de possibilidade de utilização do efluente para a aguação das áreas de praças e canteiros urbanos.

Quadro 11: Dados da ETE Cajazeiras com a oferta do efluente e a demanda pela água de reúso

Sistema	Qmed (L/s)	Qdisp para reúso (m³/dia)	Qdem da prefeitura (m³/dia)
ETE Cajazeiras	81,10	7.707,04	150,00

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Qmed – Vazão média, Qdisp - Vazão de saída, Qdem – Vazão de demanda da prefeitura

Conforme apresentado no Quadro 11 a vazão disponível para reúso é capaz de suprir a vazão demandada pela prefeitura para irrigação urbana.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do exposto nesse trabalho, foi possível obter dados que mostram o potencial de reúso de água das estações de tratamento de esgoto. Utilizando a ETE Cajazeiras do estudo foi possível constatar que os esgotos devem ser tratados por processos eficientes, para que os efluentes finais atinjam os padrões requeridos pelas normas para reúso.

No aspecto microbiológico, o efluente da ETE Cajazeiras em 95% das amostras não atingiu o padrão recomendado pela OMS (VON SPERLING, 2014) e da NBR 13969/97 (ABNT, 1997) para ser utilizado na irrigação irrestrita.

Nos parâmetros físicos-químicos, o efluente do estudo atendeu em 100% das amostras os parâmetros de pH e condutividade elétrica. Na classificação de Ayers e Westcot (1999) a RAS do efluente da ETE, em 75% das amostras, não apresentou nenhum grau de restrição de uso, porém na classificação de Riverside 75% das amostras apresentaram alto risco a salinidade e baixo risco a sodicidade, porém é possível sua utilização no aguçação urbana devido ao solo do município, cambissolo, ser bem drenado.

Do ponto de vista quantitativo, o estudo mostra que a ETE dispõe de vazão suficiente de efluente para reúso para suprir toda demanda de irrigação urbana necessária diariamente pela prefeitura na aguçação de praça e canteiros urbanos. O volume de água demandado por dia na rega das áreas verdes representa apenas aproximadamente 2% do volume do efluente produzido diariamente pela ETE.

Com isso podemos concluir que não é possível a utilização do efluente final da ETE na aguçação das praças e canteiros urbanos unicamente devido o mesmo não atender ao critério microbiológico. Uma solução proposta seria melhorias na lagoa de maturação, como o aumento tempo de detenção ou a construção de uma nova lagoa, de forma a reduzir os índices de *Escherichia coli* e um pós-tratamento que aumentaria a qualidade sanitária, removendo o excesso de algas, melhorando a turbidez e cor, bem como diminuindo a possibilidade de rejeição da população.

Apesar do número reduzido de amostras, fica evidente que o reúso das águas provenientes de ETE é uma possibilidade possível e tanto a Companhia de saneamento quando a Prefeitura de Mossoró poderia obter ganhos ambientais e de imagem.

Porém, deve-se atentar para que o reúso das águas seja visto como parte de uma atividade mais ampla na gestão dos recursos hídricos. Paralela a implantação do reúso, práticas

visando o uso racional e eficiente da água, controle das perdas e desperdícios, uso mais consciente do consumo de água e a minimização da produção de efluentes, devem serem aplicadas em conjunto, para obter assim uma melhor gestão dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1986. **Norma NBR 9648/1986 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, BR, 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1997. **Norma NBR 13.969/1997 – Tanque sépticos – Unidades de tratamento complementar e deposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, BR, 1997.

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington, DC: APHA, 1995.

AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura. “Water Quality for Agriculture”**. FAO. Tradução H. R. Ghery e J. F. de Medeiros, UFPB. Campina Grande – PB, 1999.

BASTOS, R. K. X., MARQUES, M. O., **Utilização de esgoto tratado em fertirrigação, hidroponia e piscicultura – Uma análise crítica**. In: **Utilização de esgoto tratado em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**/ Rafael Kopschitz Xavier Bastos (coordenador). – Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 267 p. : il. Projeto PROSAB.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54 - 28 nov. 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes para a prática de reúso direto não potável de água e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 9 mar. 2006.

BRASIL, 2010. Fundação Getúlio Vargas (Org.). **Plano de Desenvolvimento para o Sistema de Saneamento Básico do Município de Mossoró**. Rio de Janeiro. Fundação Getúlio Vargas, 2010. 54p.

BERNARDI, Cristina Costa. **Reúso de água para irrigação**. 2003. 63 f. Monografia (Especialização) – Curso de Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, ISEA-FGV/Ecobusiness School, Brasília, 2003.

BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; PEASEY, A.; PALACIOS, G. R.; STOOT, R., **Guidelines for the Microbiological Quality of Treated Wastewater used in Agriculture: Recommendations for revising WHO guidelines**. Bulletin of the health Organization, 2000.

CAIXETA, Cláudia Elizângela Tolentino. **Avaliação do atual potencial de reúso de água no estado do Ceará e proposta para um sistema de gestão**. 2010. 323 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

CETESB, 1988. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Ciência e Tecnologia. À Serviço do Meio Ambiente. **Tecnologias para tratamento de esgotos sanitários, 1988**. SISTTRAT. Disponível em:
<http://www.flipper.ind.br/32%20%20TECNOLOGIAS%20%20PARA%20O%20TRATAMETNO%20DE%20ESGOTO.htm>. Acesso em: 02 dez. 2017.

CONAMA 430. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 5357 - 13 maio 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 3 fev. 2018.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE – CAERN, 2008. **Características físicas e operacionais de dimensionamento da ETE Cajazeiras**. CAERN, 2008.

DAMACENO, F. A. V., **Seminário: Caracterização das águas residuárias para fins de irrigação**. Doutorado em Recursos Naturais, Campina Grande, 1999.

HESPANHOL, I. **Saúde pública e reúso agrícola de esgotos e biossódios**. In: MAANCUSO P.C.S., SANTOS, H. F. dos (eds). **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2013^a.

EMBRAPA (Brasil). **Árvore do conhecimento: Bioma Caatinga**. 2018. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3o02wx5ok0wtedt3n5ubswf.html>. Acesso em: 19 mar. 2018.

HENRIQUES, Margarida Martins de Moura. **Diagnóstico operacional da Estação de Tratamento de Esgotos das Cajazeiras na cidade de Mossoró**. 2016. 46f. Monografia (Especialização) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Saneamento Básico e Ambiental, Universidade Cidade de São Paulo, Natal, 2016.

HENZ, Flávia M.; PAULA, Laís R.; NEVES, Maria I. R.; RIBEIRO, Natalia T.; BORTOLINI, Joseane. **Reuso da água para fins agrícolas**. Anais da X SEAGRO, Agronomia, Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz (FAG), Cascavel - PR, 2016.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE – IDEMA. **Perfil do seu município-2008**. Natal, 2008. Disponível em <http://www.idema.rn.gov.br>. Acessado em: 04 de fevereiro de 2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Situação Saneamento no Brasil**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

JIMÉNEZ CISMEROS, BLANCA E., **La contaminación ambiental em México: causas, efectos e tecnologia apropiada**. México: Limusa, Colégio de Ingenieros Ambientales de México, A. C., Instituto de Ingeniería de la Unam y Femisca, 2001.

RICHARDS, L. A. (Ed) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: US Department of Agriculture, 1954. (USDA Agriculture Handbook, 60).

MACKENZIE, L. D. **Water and wastewater engineering: Design principles and practice**. Ed. McGraw-Hill Companies. 2010.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2002.

MANCUSO, P. C. S., SANTOS H.F., **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003.

MAYO, A. W. Modelling coliform mortality in wastentabilization ponds. **J. Environ. Eng., ASCE**, v 121, 1992.

MEDEIROS, Gislaine Maria Gomes de. **Condições de reúso dos efluentes finais das ETE's do estado da Paraíba**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4 ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. New York: McGraw -Hill, 2003.

PAGANINI, WANDERLEY DA SILVA, **Disposição de esgotos no solo (escoamento à superfície)**, São Paulo, 1997.

POTIER, O; PONS, M. N. **Elements of modelling and control of urban wastewater treatment systems**. In.: QUEVAUVILLER, P; THOMAS, O; BEKEN, A. V. D. **Wastewater Quality Monitoring and Treatment**. Ed. John Wiley & Sons, Ltd, England, 2006.

SABESP (São Paulo). **Água de reúso**. 2018. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=569>. Acesso em: 06 fev. 2018.

CETESB, 1988. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Ciência e Tecnologia. À Serviço do Meio Ambiente. **Tecnologias para tratamento de esgotos sanitários, 1988**. SISTTRAT. Disponível em: <http://www.flipper.ind.br/32%20%20TECNOLOGIAS%20%20PARA%20O%20TRATAMETNO%20DE%20ESGOTO.htm>. Acesso em: 02 dez. 2017.

TSUTIYA, M. T., II – 007 – **Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do estado de São Paulo**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2001.

VON SPERLING, Marcos, **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 3a edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, Marcos, **Lagoas de estabilização**, 2a edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.