

EXPOSIÇÃO E DISCRIMINAÇÃO ACERCA DO TRATAMENTO DE ESGOTO E REÚSO DA ETER GUADALAJARA – CAUCAIA/CE

RAYLAN CAMINHA DE VASCONCELOS

EDITORA AMPLLA

 AMPLLAEDITORA

 www.ampllaeditora.com.br



EXPOSIÇÃO E DISCRIMINAÇÃO ACERCA DO TRATAMENTO DE ESGOTO E REÚSO DA ETER GUADALAJARA – CAUCAIA/CE

RAYLAN CAMINHA DE VASCONCELOS

EDITORA AMPLLA

 AMPLLAEDITORA

 www.ampllaeditora.com.br



2020 - Editora Amplla
Copyright © Editora Amplla
Copyright do Texto © 2020 Raylan Caminha de Vasconcelos
Copyright da Edição © 2020 Editora Amplla
Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares
Diagramação: Higor Costa de Brito
Edição de Arte: Higor Costa de Brito
Revisão: Raylan Caminha de Vasconcelos

EXPOSIÇÃO E DISCRIMINAÇÃO ACERCA DO TRATAMENTO DE ESGOTO E REÚSO DA ETER GUADALAJARA – CAUCAIA/CE por Raylan Caminha de Vasconcelos está licenciado sob CC BY 4.0.



Esta licença exige que as reutilizações deem crédito ao criador. Ele permite que os reutilizadores distribuam, remixem, adaptem e construam o material em qualquer meio ou formato, mesmo para fins comerciais.

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, não representando a posição oficial da Editora Amplla. É permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor. Todos os direitos para esta edição foram cedidos à Editora Amplla pelo autor.

Conselho Editorial

Bergson Rodrigo Siqueira de Melo - Universidade Estadual do Ceará
Carla Caroline Alves Carvalho - Universidade Federal de Campina Grande
Cícero Batista do Nascimento Filho - Universidade Federal do Ceará
Clécio Danilo Dias da Silva - Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Dylan Ávila Alves - Instituto Federal Goiano
Érica Rios de Carvalho - Universidade Católica do Salvador
Gilberto de Melo Junior - Universidade Federal de Goiás
Higor Costa de Brito - Universidade Federal de Campina Grande
Italan Carneiro Bezerra - Instituto Federal da Paraíba
Ivo Batista Conde - Universidade Estadual do Ceará
João Henriques de Sousa Júnior - Universidade Federal de Santa Catarina
Joilson Silva de Sousa - Instituto Federal do Rio Grande do Norte
José Cândido Rodrigues Neto - Universidade Estadual da Paraíba
Luís Paulo Souza e Souza - Universidade Federal do Amazonas
Manoel Mariano Neto da Silva - Universidade Federal de Campina Grande

Marina Magalhães de Morais - Universidade Federal de Campina Grande
Natan Galves Santana - Universidade Paranaense
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Neide Kazue Sakugawa Shinohara - Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sabrynna Brito Oliveira - Universidade Federal de Minas Gerais
Samuel Miranda Mattos - Universidade Estadual do Ceará
Tatiana Paschoalette Rodrigues Bachur - Universidade Estadual do Ceará
Telma Regina Stroparo - Universidade Estadual do Centro-Oeste
Virginia Tomaz Machado - Faculdade Santa Maria de Cajazeiras
Walmir Fernandes Pereira - Miami University of Science and Technology
Wanessa Dunga de Assis - Universidade Federal de Campina Grande
Wellington Alves Silva - Universidade Estadual de Roraima
Yáscara Maia Araújo de Brito - Universidade Federal de Campina Grande
Yuciara Barbosa Costa Ferreira - Universidade Federal de Campina Grande

ISBN: 978-65-88332-01-6

Editora Amplla
Campina Grande – PB – Brasil
contato@ampllaeditora.com.br
www.ampllaeditora.com.br

EDITORA
AMPLLA
2020

**EXPOSIÇÃO E DISCRIMINAÇÃO ACERCA DO TRATAMENTO DE ESGOTO E REÚSO DA ETER
GUADALAJARA - CAUCAIA/CE**

2020 - Editora Ampla

Copyright © Editora Ampla

Copyright do Texto © 2020 Raylan Caminha de Vasconcelos

Copyright da Edição © 2020 Editora Ampla

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Diagramação: Higor Costa de Brito

Edição de Arte: Higor Costa de Brito

Revisão: Raylan Caminha de Vasconcelos

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Vasconcelos, Raylan Caminha de
Exposição e discriminação acerca do tratamento
de esgoto e reúso da eter Guadalajara : Caucaia/CE
[livro eletrônico] / Raylan Caminha de
Vasconcelos. -- 1. ed. -- Campina Grande, PB :
Editora Ampla, 2020.
PDF

Bibliografia

ISBN 978-65-88332-01-6

1. Água - Aspectos ambientais 2. Água - Aspectos
econômicos 3. Água - Consumo 4. Água - Poluição -
Guadalajara - Caucaia (CE) 5. Água - Reúso
6. Esgotos - Tratamento I. Título.

20-42318

CDD-363.7098132

Índices para catálogo sistemático:

1. Tratamento de esgoto e reúso : Guadalajara :
Caucaia : Ceará : Problemas sociais
363.7098132

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

APRESENTAÇÃO

A presente obra, constitui-se de uma explicação juntamente com uma discriminação de todo o processo de tratamento tanto de esgoto como de reúso da ETER (Estação de Tratamento de Esgoto e Reúso) Guadalajara, situada no município de Caucaia, estado do Ceará.

O livro acima de tudo, destaca a colaboração e contribuição do reúso de águas residuárias para o desenvolvimento sustentável, proporcionando assim que as atuais e futuras gerações possam desfrutar de um espaço ecologicamente correto.

Espero que possa contribuir para a ampliação do conhecimento.

Venha aprender um pouco sobre o reúso de águas residuárias e o tratamento de efluentes. Boa leitura!

Raylan Caminha de Vasconcelos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reúso indireto.....	15
Figura 2 - Reúso direto.....	16
Figura 3 - Formas potenciais de reúso da água.....	18
Figura 4 - Uso da água por setores.....	20
Figura 5 - Configuração das lagoas de estabilização.....	32
Figura 6 - Esquema dos principais objetivos das lagoas de estabilização.....	35
Figura 7 - Esquema de uma lagoa facultativa.....	36
Figura 8 - Esquema de funcionamento da lagoa facultativa.....	38
Figura 9 - Esquema de um sistema australiano.....	40
Figura 10 - Esquema de uma Lagoa Aerada Facultativa.....	42
Figura 11 - Esquema de uma lagoa aerada de mistura completa seguida de uma lagoa de decantação.....	44
Figura 12 - Esquema de três lagoas de maturação em série.....	46
Figura 13 - Localização do município de Caucaia na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).....	49
Figura 14 - Localização da ETER Guadalajara por satélite.....	50
Figura 15 - Vista espacial das 5 lagoas de estabilização da ETE Guadalajara.....	51
Figura 16 - Fluxograma do tratamento de esgoto da ETE Guadalajara.....	52
Figura 17 - Gradeamento da ETE Guadalajara.....	53
Figura 18 - Desarenador da ETE Guadalajara.....	54
Figura 19 - Calha Parshall da ETE Guadalajara.....	54
Figura 20 - Lagoa anaeróbia da ETE Guadalajara.....	56
Figura 21 - Lagoa facultativa da ETE Guadalajara.....	57
Figura 22 - Lagoa de maturação 1.....	58
Figura 23 - Lagoa de maturação 2.....	58
Figura 24 - Lagoa de maturação 3.....	59
Figura 25 - Caixa de saída da ETE Guadalajara.....	60
Figura 26 - Lagoa do Tabapuá.....	60
Figura 27 - Visão espacial do início do processo de tratamento de esgoto a sua destinação final.....	61
Figura 28 - Visão geral da ETR Guadalajara.....	62
Figura 29 - Quadro de comando da ETR Guadalajara.....	62

Figura 30 - Fluxograma do sistema de reúso da ETR Guadalajara	63
Figura 31 - Comporta para iniciar o processo de tratamento de reúso	64
Figura 32 - Chicanas utilizadas na ETER Guadalajara	64
Figura 33 - Bomba dosadora de policloreto de alumínio	65
Figura 34 - Filtro vórtice da ETR Guadalajara	65
Figura 35 - Disco de Wellan utilizado na ETR Guadalajara.....	66
Figura 36 - Filtros de areia utilizados na ETR Guadalajara	66
Figura 37 - Sistema de ozonização RXT da ETR Guadalajara.....	67
Figura 38 - Aparelho responsável pela radiação ultravioleta da ETR Guadalajara.....	67
Figura 39 - Filtros de carvão usados na ETR Guadalajara.....	68
Figura 40 - Filtros de Propileno usados na ETR Guadalajara	68
Figura 41 - Bomba dosadora de cloro empregada na ETR Guadalajara	69
Figura 42 - Medição da vazão do efluente tratado	69
Figura 43 - Fluxograma completo dos processos de tratamento da ETER Guadalajara ..	70
Figura 44 - Antes e depois do tratamento do efluente	70
Figura 45 - Acessórios das tubulações	71
Figura 46 - Tanque de armazenamento da água de reúso da ETR Guadalajara	71
Figura 47 - Armazenamento dos produtos químicos usados no processo de tratamento para reúso	72
Figura 48 - Estado da pintura da ETER Guadalajara	73
Figura 49 - Estado da pintura das estacas e do muro do entorno da ETER Guadalajara.	74
Figura 50 - Vegetação no entorno da lagoa facultativa	74
Figura 51 - Vegetação nas vias de circulação da ETER Guadalajara	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Destino da água de reúso e suas possíveis utilidades	18
Quadro 2 - Níveis de tratamento e suas respectivas remoções.	27
Quadro 3 - Resumo das lagoas de estabilização.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - ETE's da Região Metropolitana de Fortaleza juntamente com os tipos de lagoas de estabilização.....	34
Tabela 2 - Dados gerais da cidade de Caucaia.....	48
Tabela 3 - Dimensões das 5 lagoas de estabilização da ETE Guadalajara.....	51

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETR	Estação de Tratamento de Reúso
ETER	Estação de Tratamento de Esgoto e Reúso
GNR	Gás Natural Renovável
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará
MS	Ministério da Saúde
NMP	Número mais provável
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAC	Policloreto de Alumínio
Ph	Potencial Hidrogeniônico
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SI	Sistema Internacional de Unidades
UN-TEM	Unidade de Negócio Metropolitana Macrocoleta e Tratamento de Esgoto
UV	Ultra- Violeta

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
CAPÍTULO II - REÚSO DE ÁGUA	14
2.1 REÚSO DE ÁGUA: EXEMPLO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	14
2.2 FORMAS DE CONDUÇÃO DO REÚSO.....	15
2.3 REÚSO E SUAS APLICAÇÕES.....	17
2.4 REÚSO NA AGRICULTURA	19
2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REÚSO NO BRASIL	22
2.5.1 VANTAGENS DO REÚSO NO BRASIL	22
2.5.2 DESVANTAGENS DO REÚSO NO BRASIL	23
2.6 ASPECTOS LEGAIS DO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL	23
CAPÍTULO III - NÍVEIS DO TRATAMENTO DE ESGOTOS E LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	27
3.1 NÍVEIS DO TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	27
3.2 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO: TRATAMENTO BIOLÓGICO DO ESGOTO DOMÉSTICO	30
3.2.1 LAGOAS FACULTATIVAS	35
3.2.1.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	36
3.2.2 SISTEMA DE LAGOAS ANAERÓBIAS SEGUIDAS POR LAGOAS FACULTATIVAS (AUSTRALIANO)	38
3.2.2.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	40
3.2.3 LAGOAS AERADAS FACULTATIVAS	41
3.2.3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	41
3.2.4 LAGOAS AERADAS DE MISTURA COMPLETA SEGUIDAS DE LAGOAS DE DECANTAÇÃO.....	42
3.2.4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	43
3.2.5 LAGOAS DE MATURAÇÃO	44
3.2.5.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	45
CAPÍTULO IV - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	48
4.1 ASPECTOS GERAIS DO MUNICÍPIO EM ESTUDO	48
4.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	49

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ETE GUADALAJARA.....	50
4.4 TRATAMENTO DO EFLUENTE DOMÉSTICO	51
4.5. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE REÚSO (ETR).....	61
4.5.1 PROCESSO DE TRATAMENTO	63
CAPÍTULO V - RESULTADOS.....	73
5.1 CENÁRIOS ATUAIS DA ETER GUADALAJARA	73
5.2 SISTEMA OPERACIONAL.....	74
CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES.....	76
6.1 CONDIÇÕES DO FUNCIONAMENTO DA ETE.....	76
6.2 APROVEITAMENTOS EM REÚSO	76
6.3 IMPACTOS AMBIENTAIS NO CORPO HÍDRICO RECEPTOR	76
SUGESTÕES	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
SOBRE O AUTOR.....	84

De acordo com Tomaz (2008) o Brasil detém 12% do total de água doce do mundo, sendo considerado como país “rico em água”. Possui disponibilidade hídrica estimada em 35.732 m³/hab./ano. Entretanto, apesar de o Brasil possuir grande disponibilidade de recursos hídricos, estes não são distribuídos de maneira uniforme pelo país. As regiões com maior densidade populacional são as que possuem menor disponibilidade de água.

A disponibilidade de água doce na Terra excede, em muito a demanda humana. Grandes populações vivem em áreas que recebem abundantes precipitações pluviométricas, enquanto outras vivem em regiões semiáridas ou mesmo áridas.

O desenvolvimento do mundo moderno traz consigo diversos problemas ambientais, dentre eles o desperdício de água. Este recurso essencial a qualquer tipo de vida. De acordo com um estudo do Instituto Trata Brasil (2018), o Brasil desperdiçou 38% de água potável em 2016, o que representa quase 7 mil piscinas olímpicas de água potável perdidas todos os dias e uma perda financeira acima dos R\$ 10 bilhões/ ano.

A água não é inesgotável, mas, a maioria dos seres humanos ainda tem insistido em fazer uso da água de forma desenfreada, muitas vezes nem a usam, apenas desperdiçam. No entanto, têm sido desenvolvidas diversas maneiras de reciclar e reutilizar água que precisam ser amplamente difundidas e implantadas o mais rápido possível em tudo e por todos, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável (SILVA & SANTANA, 2014).

Em relação ao cenário legal sobre recursos hídricos, destacam-se as seguintes legislações: Lei Federal 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos; as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005, que estabelece as classificações dos corpos hídricos e diretrizes para seu enquadramento; e nº 430/2011, que dispõe sobre os padrões de lançamentos de efluentes. No Ceará a Lei nº 14.844/ 2010¹, institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, que trata especificamente sobre o reúso da água em seu Capítulo VII, discorrendo sobre o controle de perdas e desperdícios como parte integrante do uso racional da água. Apesar do arcabouço jurídico citado (leis e resoluções), não existem normas e padrões específicos que regulamentem o reúso de águas no Ceará.

Conforme informações do Diagnóstico de Recursos Hídricos (Ceará 2050), o Ceará é um estado com baixa disponibilidade hídrica, em virtude de fatores como: baixos índices de

¹ Atualiza a Lei Estadual nº 11.411/1987.

precipitação (inferiores a 900 mm); elevados índices de evaporação (superiores a 2.000 mm); regime de precipitação irregular (secas frequentes e por vezes plurianuais); e uma formação rochosa que dificulta a infiltração no solo (solo cristalino), sendo assim origina poucos recursos hídricos subterrâneos (SOUZA FILHO, 2018). Reiterando a necessidade de práticas de reutilização da água.

Uma das formas de mitigação desse problema é a implementação do reúso da água. Sendo este por definição, o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original (BREGA FILHO; MANCUSO, 2003).

Em razão principalmente da escassez dos recursos hídricos e da economia de energia pensa-se na tecnologia de reúso de águas residuárias. Esta, por sua vez, visa à transformação dos esgotos domésticos e industriais em água que pode ser utilizada tanto para fins potáveis como para fins não potáveis.

Sendo assim, esse trabalho irá evidenciar o panorama atual da ETER (Estação de Tratamento de Esgoto e Reúso) Guadalajara, localizada no município de Caucaia no Estado do Ceará, bem como analisar quais as possíveis utilidades que a água de reúso possa vir a ter naquela ETE, a fim de promover a economia de água. Dessa forma, o objetivo geral desta obra é realizar uma exposição juntamente com a discriminação de todo o tratamento de esgoto e reúso da ETER Guadalajara localizada em Caucaia/CE.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Muito se discute sobre as questões que envolvem uma possível escassez de água doce no planeta, entretanto, este é um recurso que ministrado de forma errada poderá deixar de existir. Para que isto não venha ocorrer, é preciso que esta questão seja tratada como uma responsabilidade social, pois a ausência deste bem afetará diretamente cada habitante.

A água, em sua maioria, quando passa pelo processo de depuração natural, é um recurso limpo e seguro. Contudo, as atividades antrópicas contribuem para deterioração de sua qualidade. A água que recebemos em nossas casas, proveniente da rede de abastecimento público é tratada e apresenta grau de potabilidade exigido pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde. Contudo, após o seu consumo quando descartada possa, assim a ser chamada de água residuária pelo grau de impureza que apresenta, havendo a necessidade de tratamento e reutilização a fim de minimizar a escassez, que muitas regiões do mundo já veem enfrentando.

As águas residuárias tratadas podem ser usadas para diversos fins, tais como: jardinagem, lavagem de veículos e ruas, dentre outros. O aumento no volume de esgotos adequadamente tratado e a redução do lançamento de dejetos nos corpos hídricos têm um papel fundamental no planejamento e na gestão dos recursos hídricos. O reúso planejado libera as fontes de água de boa qualidade para o abastecimento público e outros usos prioritários, além de contribuir para a conservação dos recursos, acrescentando uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos.

O crescimento acelerado das populações nas diversas cidades do mundo e das atividades econômicas aumenta a demanda pelos recursos hídricos. Isso tem contribuído para o aumento da escassez no abastecimento mundial. Muitos países têm adotado a escolha de fontes alternativas de abastecimento e o reúso de águas servidas como um meio de reduzir esta demanda.

O reúso é um processo que, além de diminuir o impacto causado ao meio ambiente, aplicado também às indústrias pode trazer redução nas despesas com as tarifas de consumo de água. E hoje a tecnologia avançada tem colaborado pela recuperação dos efluentes facilitando muito este processo e garantindo a economia e a qualidade final da água.

REÚSO DE ÁGUA**2.1 REÚSO DE ÁGUA: EXEMPLO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

O termo reúso tem sido utilizado para definir o uso da água tipicamente residuária ou água de qualidade inferior tratada ou não, consistindo no aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos e angariar benefícios, inclusive o de seu uso original. Essa tecnologia é uma das opções mais inteligentes no que se refere a racionalização dos recursos hídricos, no entanto depende da aceitação popular, aprovação mercadológica e vontade política para se efetivar de fato.

Em virtude da falta de legislação referente ao reúso de água no Brasil, o país caminha lentamente na direção da sustentabilidade, realidade já adotada mundialmente, principalmente no que se refere ao uso inteligente da água, no controle ambiental e nas consequentes vantagens socioeconômicas de envolver a natureza nos mais diversos projetos. Neste quadro, é requisito básico estar de acordo com a coerência dos paradigmas burocráticos, agilidade da política institucional e integração nas organizações públicas e privadas, também em empenho conjunto ao setor educacional, numa ampla ação que vai se refletir na conduta de cada indivíduo e consequentemente na adequação mercadológica. (TELLES e COSTA, 2007).

Além da escassez, o reúso da água para fins não potáveis decorre da dificuldade do atendimento da demanda de água de mananciais próximos e da necessidade de uma qualidade adequada. Com a política do reúso, importantes volumes de água potável são poupados, usando-se a água de qualidade inferior, geralmente oriundas de efluentes secundários pós-tratados, para atendimento de finalidades que podem prescindir da potabilidade (ABES, 1997).

Melhorar a forma de consumir a água é a garantia do desenvolvimento das atuais gerações com perspectivas melhores para o futuro. Sendo assim, abrange o principal intuito do desenvolvimento sustentável.

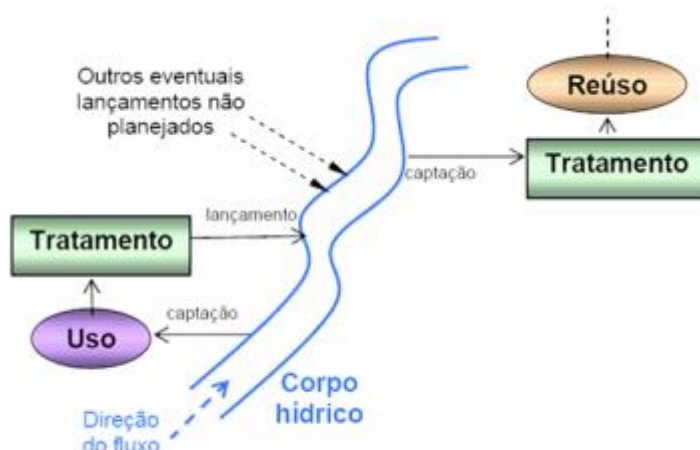
Entendemos assim, que o reúso de água e o desenvolvimento sustentável apresentam uma relação intrínseca. Algumas ações em relação a preservação da água fazem toda a diferença, tais como: armazenar a água da chuva, do banho, da louça, reutilizar água para lavagem de veículos, controlar a poeira ao invés de sempre lavar os espaços com água, implantar descargas sanitárias com menor volume de água e promover a irrigação de plantas. Todas essas posturas colaboram com a economia deste líquido tão precioso e garantem principalmente a suplementação das necessidades das futuras gerações.

2.2 FORMAS DE CONDUÇÃO DO REÚSO

Segundo Lavrador Filho (1987), o reúso da água pode ser conduzido de quatro maneiras diferentes:

Reúso indireto não planejado da água: ocorre quando no esgoto (podendo ser este tratado ou não) é lançado em um corpo hídrico (lago, reservatório ou aquífero subterrâneo) causando a sua diluição e após um certo tempo de detenção, este mesmo corpo hídrico é utilizado como manancial. Após o encontro entre a água e o esgoto, efetua-se a captação, seguida de tratamento adequado, e por fim ocorre a distribuição da água. Ao longo do seu curso, até o ponto de captação do novo usuário, a água está sujeita às ações naturais de seu ciclo hidrológico (diluição, sedimentação autodepuração), além de eventuais misturas com outros despejos advindos de diferentes atividades humanas, ou seja, sucede quando a água utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente colocada a caminho da jusante em sua forma diluída de maneira não intencional e não controlada.

Figura 1 - Reúso indireto



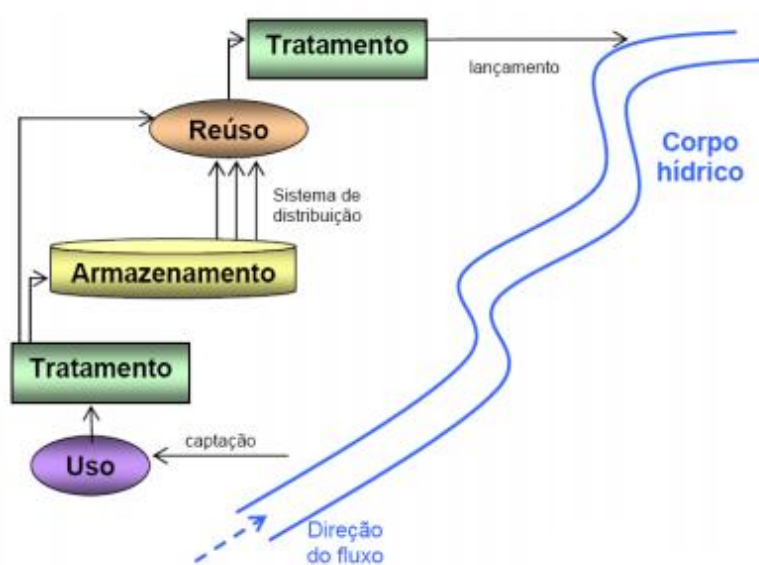
Fonte: Rodrigues, 2005.

- Reúso indireto planejado da água: sucede quando o efluente tratado é descarregado de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas à jusante de maneira controlada no atendimento de algum benefício. É necessário que o corpo receptor intermediário seja um corpo hídrico não poluído, para que através da diluição adequada, possa-se reduzir a carga poluidora a níveis aceitáveis. Este tipo de reutilização da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no percurso, garantindo assim que o rejeito tratado esteja sujeito

apenas a misturas de outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reúso objetivado.

- Reúso direto planejado da água: transcorre quando os efluentes depois de tratados são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso. Assim, sofrem em seu percurso os tratamentos adicionais e armazenamentos necessários, mas não são, em momento algum, descarregados no meio ambiente. É o caso de maior ocorrência, com destino à indústria ou à irrigação.

Figura 2 - Reúso direto



Fonte: Rodrigues, 2005.

- Reciclagem de água: é o reúso interno da água, antes de sofrer qualquer tipo de tratamento ou ir para o descarte. Nesse processo, essas águas já usadas tendem a atuarem como fonte suplementar de abastecimento do uso original. Este é um caso bem específico de reúso direto planejado.

Westerhoff (1984) classifica reúso de água a partir de duas grandes categorias: potável e não potável, a partir delas, temos subcategorias tais como:

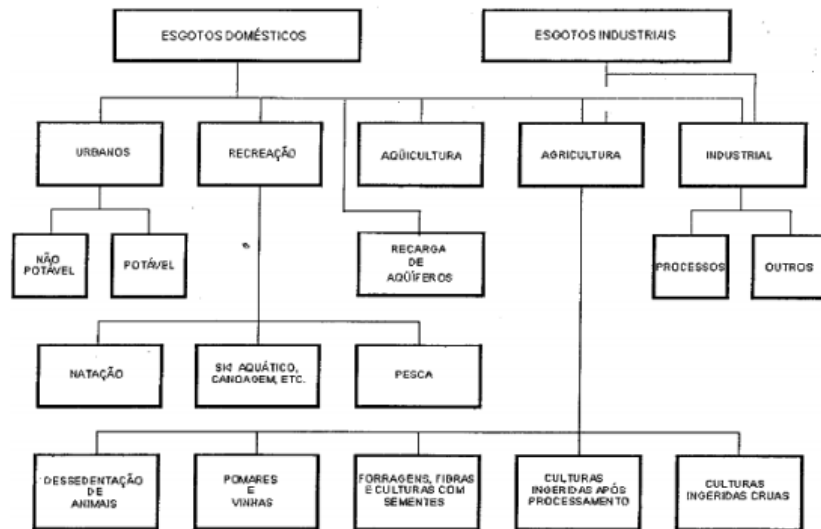
- Reúso potável direto: quando o esgoto é recuperado, por meio de tratamento avançado, e faz-se diretamente reutilizado no sistema de água potável.
- Reúso potável indireto: sucede do caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, obtém-se a purificação natural e subsequente a captação, o tratamento e finalmente a utilização da mesma como água potável.

- Reúso não potável para fins agrícolas: a prática dessa modalidade de reúso, via de regra haja como subproduto e recarga do lençol subterrâneo, tem por objetivo precípua a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas, cereais, plantas não alimentícias, pastagens e forrações, além de ser aplicável para a dessedentação de animais.
- Reúso não potável para fins recreacionais: são considerados aqui os casos de abastecimento de corpos d'águas superficiais como, lagos, reservatórios e rios usados para fins recreacionais. Ocorre este tipo de reúso também em paisagismo, como irrigação de jardins e parques públicos, lagos ornamentais e também na rega de campos esportivos.
- Reúso não potável para fins industriais: abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo e para utilização em caldeiras.
- Reúso não potável para fins domésticos: são considerados aqui os casos de reúso de água residenciais, como por exemplo: para a rega de jardins residenciais, para descargas sanitárias e na utilização desse tipo de água em grandes edifícios.
- Reúso para manutenção de vazões: a manutenção de vazões de cursos d'água promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando a uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carregadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiagem.
- Aquicultura: consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando à obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes presentes nos efluentes tratados.
- Recarga de aquíferos subterrâneos: é a recarga dos aquíferos subterrâneos com efluentes tratados, podendo se dar de forma direta, pela injeção sob pressão, ou de forma indireta, utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante.

2.3 REÚSO E SUAS APLICAÇÕES

Conforme podemos observar na figura 3 é possível analisar as diversas formas potenciais de reúso das águas e posteriormente o quadro 1 evidenciará as utilidades das águas recicladas tendo em vista os fins não potáveis.

Figura 3 - Formas potenciais de reúso da água



Fonte: Hespanhol, 2002.

Quadro 1 - Destino da água de reúso e suas possíveis utilidades

Destino para fins não potáveis	Utilidades
Domésticos	Reserva contra incêndios, lavagem de veículos e de pisos, descargas sanitárias, limpeza de tubulações de esgotos e de galerias de águas pluviais, controle de poeira, construção civil e compactação do solo.
Industriais	Como fluido de resfriamento, aquecimento e auxiliar, como preparação de soluções e reagentes químicos, para as operações de lavagens, geração de energia, rega de áreas verdes.
Aquíferos	Recarga gerenciada de aquíferos, controle de intrusão marinha e de recalques de subsolo, aumento da vazão em curso d'água.
Agrícola	Irrigação no plantio de alimentícios (milho, arroz, pimentão, alface) e de viveiros e de plantas ornamentais, proteção contra geadas.
Aquicultura	No cultivo de peixes ou plantas aquáticas para consumo humano e para animais.

Meio Ambiente	Para pesca, canoagem, esquiagem aquática, estabelecimentos recreativos, formação de represas e lagos.
Paisagística	Irrigação de parques, jardins, cemitérios, campos de golfe e campus universitários, sistemas decorativos aquáticos, chafarizes e espelhos d'água, lavagens de praças.

Fonte: Hespanhol, 2008.

TELLES e COSTA (2007) destacam as seguintes aplicações das águas recicladas:

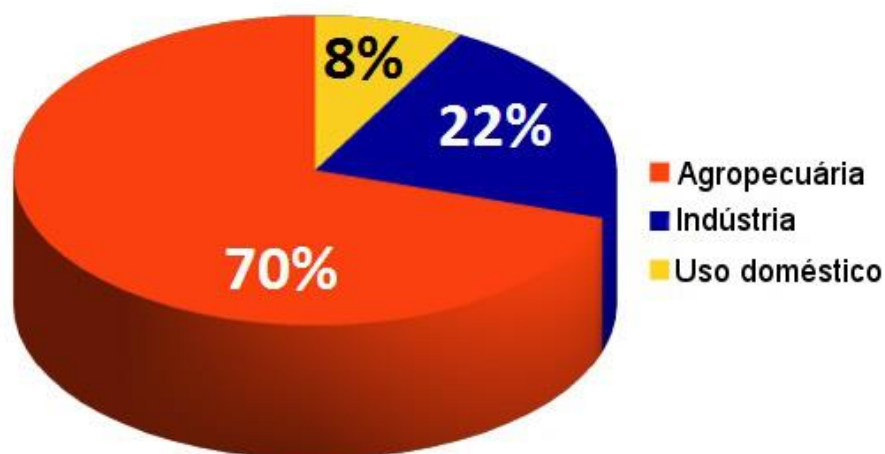
- Irrigação paisagística: parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestradas, campi universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.
- Irrigação de campos para cultivos: plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais e proteção contra geadas.
- Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras e água de processamento.
- Recarga de aquíferos: recarga de aquíferos potáveis, controle da cunha salina e controle de recalques de subsolo.
- Usos urbanos não potáveis: irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ônibus, trens e ruas e sistemas decorativos aquáticos, tais como: fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água, cura do concreto e para estabelecer a umidade ótima em compactação de solos.
- Finalidades ambientais: Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas e indústria de pesca.
- Usos diversos: aquicultura, construções, controle de poeira, dessentação de animais.

2.4 REÚSO NA AGRICULTURA

Em todo o mundo há uma crescente competição pelo uso da água entre diversos setores da sociedade, de tal modo que o consumo de água na agricultura irrigada é extremamente elevado em relação a outros tipos de uso. A área irrigada no Brasil está em torno de três milhões de hectares, que representa apenas 1,9% dos 155 milhões de hectares cultivados. A região Sul apresenta 35% da área irrigada, seguida da região Sudeste com 30%, Nordeste com 24% e as regiões Centro-Oeste e Norte, juntas, com 11% do total. Os Cadernos Setoriais dos Recursos

Hídricos (Ministério do Meio Ambiente, 2006) citam que a agricultura brasileira consome 69% da água dos mananciais, seguindo-se o abastecimento doméstico (21%) e a atividade industrial (10%). Dados semelhantes foram obtidos pelo FAO (2014), indicando que a agricultura consome 70% da água, enquanto que o consumo residencial e industrial é de 8% e 22%, respectivamente, conforme destacado na figura 4.

Figura 4 - Uso da água por setores



Fonte: FAO, 2017.

O uso de fontes alternativas de água pura para a agricultura é altamente desejável, favorecendo a realocação dos recursos hídricos utilizados para outros fins. Convém assinalar que alguns setores agrícolas estimam uma economia de apenas 10% de água utilizada na agricultura, o que aumentaria em 60% a oferta deste recurso para o uso doméstico (PHILLIPI Jr. et al., 2005).

O desenvolvimento agrícola depende da disponibilidade de água, principalmente do seu uso adequado, já que a utilização da água para a irrigação e o seu abastecimento rural são desafios relevantes para as áreas com escassez destes recursos. As regiões áridas e semiáridas são as que mais sofrem pressão em relação à distribuição de recursos hídricos, que no caso sucedem de forma mais ampla, em virtude da baixa oferta. Em vista disto, muitas atitudes são tomadas, como a verificação da administração das bacias hidrográficas locais, o aumento no tratamento de esgotos sanitários provenientes de centros urbanos, a adaptação do reúso de esgotos tratados para diversas atividades, como: irrigação, piscicultura, recreação, paisagismo e o uso industrial. (SOUSA et al., 2005).

Bouwer (2000) afirma que muitos países já incluem a reutilização da água no planejamento dos seus recursos hídricos, visto que os efluentes devem ser integrados aos recursos de água global. Daí nasce o incentivo do uso da irrigação de pequenas áreas agrícolas, de águas como as de esgoto doméstico, de drenagem agrícola e águas salinas, as quais podem ser subterrâneas, residuais brutas ou tratadas. Todas estas mencionadas devem ser consideradas fontes alternativas de uso. Estas práticas são mundialmente antigas, e de acordo com a Associação Nacional Brasileira de Normas Técnicas- ABNT – (2007) a prática de reúso de águas no Brasil, principalmente na irrigação e/ou agricultura, encontra-se bem difundida, no entanto, é um procedimento não constitucionalizado e vem se desenvolvendo sem nenhuma forma de controle ou planejamento (LÉON; CAVALLINI, 1999).

Um bom manejo de irrigação articulado com a cadeia correta de esgoto urbano deve procurar evitar o desenvolvimento vetorial de doenças e contribuir para o controle das mesmas. Isto vai implicar na mínima presença de águas livres, na adequada, construção e manutenção de canais, numa drenagem eficaz e na melhor distribuição econômica destes recursos (AYERS; WESTCOT, 1991).

Na Austrália, áreas de 600 hectares cultivadas com cana-de-açúcar estão sendo todas elas irrigadas com efluentes de tratamento de esgoto. A utilização dos efluentes proporcionou aumento de 45% da produção e 62,5% da produção de açúcar (Braddock & Downs, 2001). Países como o Japão, Estados Unidos, Austrália e países da União Europeia na região mediterrânea possuem mais de 3.300 instalações para tratamento e recuperação da água. No Japão, Estados Unidos e Europa predomina o reúso urbano, enquanto que nas regiões mediterrâneas e América Latina há predomínio do reúso agrícola (Bixio et al., 2008).

No Brasil, a prática do reúso na irrigação agrícola ainda é nova, restringindo-se praticamente as imensas áreas de cana-de-açúcar irrigadas com vinhaça. Alguns entraves legislativos e técnicos têm limitado sua expansão não apenas no Brasil, mas também em outros países latino americanos. Entre tais entraves políticos podemos citar: a falta de tratamento de esgoto e dejetos que causam o risco negativos em detrimento da utilização de produtos não tratados, danos estes para o ambiente e para a saúde pública; falta de estudos que subsidiem a criação da legislação que regulamente o reúso; falta de legislação apropriada para cada tipo de efluente; legislações muito restritivas em alguns casos; elevado custo de investimento inicial em sistemas de tratamento e distribuição; baixa competitividade no custo de água de reúso, pois quando se compara à água tratada: o custo da água de reúso deve ser menor que R\$ 3,00 por metro cúbico para que se possa competir com a água tratada (Costanzi, 2008).

Adentrando um pouco mais no que tange os entraves técnicos, podemos citar: a mistura de esgoto doméstico e industrial na mesma rede coletora; a falta de tratamento de esgoto, resultando em baixa oferta de efluentes tratados; - a ausência de tratamentos secundários e desinfecção, que removeriam contaminantes do efluente, possibilitando seu uso em culturas agrícolas.

2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REÚSO NO BRASIL

2.5.1 VANTAGENS DO REÚSO NO BRASIL

Conforme (BERNARDI, 2003), abaixo estão listadas algumas vantagens quanto ao reúso de água:

- Minimização da poluição hídrica dos mananciais;
- Permissão do uso sustentável de recursos hídricos;
- Incentivo do uso racional de águas de boa qualidade;
- Tendência de erodibilidade do solo fica minimizada;
- Controle de processos de desertificação;
- Economia com fertilizantes;
- Aumento da produtividade das culturas;
- Maximização da infraestrutura de abastecimento de água e tratamento de esgoto pela utilização múltipla de água aduzida;
- Reciclagem de efluentes;
- Recuperação e preservação do solo.

Sandri et al. (2007) afirmaram que o uso de águas residuárias revelam-se uma fonte de nutrientes para as plantas, interferindo principalmente na formação de massa fresca e, por consequência, nas áreas foliar das culturas irrigadas.

No cultivo de cultura de melancia, os autores Rego et al. (2005), afirmaram que a irrigação deste produto com efluentes tratados, foi equivalente à irrigação com água de poço adicionada a adubação química, demonstrando a possibilidade de utilização apenas de esgoto tratado sem adubação. Temos a economia não somente do adubo, mas também a água do poço, tornando a irrigação e o cultivo economicamente viáveis.

2.5.2 DESVANTAGENS DO REÚSO NO BRASIL

Como toda atividade, o reúso de água também apresenta os efeitos negativos que não devem ser ignoradas, dentre elas:

- Risco à saúde dos trabalhadores que estejam em contato prolongado com o efluente;
- Salinização do solo;
- Contaminação dos lençóis freáticos;
- Inserção dos poluentes químicos no solo;
- Hábitat de vetores de doenças.

Ainda citando como desvantagem destaca-se o crescimento desordenado de algas e vegetais que transportem o efluente, devido ao fenômeno de eutrofização. (SNEL, 2002). Metcalf e Eddy (2003) afirmaram que além destas desvantagens, dois outros problemas podem ser considerados: atenção a proteção da saúde pública e o nível de aceitação do público. Devido a isto é fundamental que se tenha um manejo eficiente e rigoroso para o sucesso no uso de efluentes tratados. A irrigação com águas residuárias, principalmente em hortaliças, induz uma preocupação latente que é a contaminação por organismos patogênicos. (BASTOS & MARA, 1992).

2.6 ASPECTOS LEGAIS DO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL

A primeira legislação no Brasil a abordar o uso da água foi o Código das Águas de 1934 instituído pelo Decreto Federal nº 24.643, que considerava a água um recurso inesgotável, portanto passível de utilização abundante. Pelo Código das Águas, os desvios das águas dos rios passaram a depender da outorga de concessões. O Código definiu os vários tipos de água do Território Nacional, os critérios para seu aproveitamento, os requisitos relacionados às autorizações para derivação, além de abordar a questão relacionada à contaminação dos corpos d'água (MIERZWA, 2002; CUNHA, 2008). No entanto, o documento assegurava o uso gratuito de qualquer rio ou nascente e ainda possibilitava a propriedade particular de corpos d'água, valorizando o uso dos rios para produção de energia elétrica.

Quanto ao reúso de águas, a prática já começava a crescer em diversos países, porém sem controle de qualidade quanto à produção de efluentes microbiologicamente seguros. Assim, em 1971, a OMS reconheceu definitivamente a valoração da importância dos riscos à saúde relacionados à reutilização de águas residuárias (PASCHOALATO et al., 2004).

Posteriormente, em 1973, a OMS publicou “Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Public Health Safeguards”, cujas diretrizes enfocavam métodos de tratamento de efluentes, visando à proteção da saúde pública. Mais tarde, em 1989, essas diretrizes foram atualizadas após estudos epidemiológicos, com o título “Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture” e novos critérios foram propostos para o uso da água de reúso na agricultura e aquicultura.

No Brasil, apesar dos avanços na área ambiental, apenas terem ocorrido no ano de 1981, com a instituição da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), pela Lei nº 6.983, e a criação do Conselho Nacional de Meio Ambiente, o país passou a contar com um arcabouço legal e com o ordenamento institucional necessário ao tratamento das questões ambientais. A PNMA estabelecia como princípios norteadores das ações governamentais para o meio ambiente, “os incentivos ao estudo e pesquisa de tecnologias orientadas para o uso nacional e a proteção dos recursos ambientais”, além da “racionalização do uso da água” (ANA, 2003).

Ainda em nosso país, conforme observado, não existem normas e padrões específicos para regulamentar e direcionar o reúso de águas residuárias e isto se deve à falta de tradição quanto à aplicação desta prática. A legislação apenas estabelece limites máximos de impureza para cada destino específico da água. Estes limites, chamados de padrões de qualidade, foram estabelecidos em 1986 pela Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A Resolução define quatro classes e mais uma especial, e classifica as águas como doces, salobras e salinas, estabelecendo parâmetros físico-químicos para cada classe dos corpos d’água, de acordo com a utilização que deve ser dada às mesmas. Apesar de a Resolução definir padrões para o lançamento de efluentes, vale ressaltar que as regras estabelecidas não satisfazem os problemas que eventualmente podem aparecer no reúso de águas residuárias (MIERZWA, 2002; PASCHOLATO et al., 2004; VIVACQUA, 2005).

A Resolução CONAMA nº 357, de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições padrões de lançamento de efluentes trata de classificar as águas em quatro classes e estipula parâmetros de qualidade de acordo com estas classes – substituiu a Resolução nº 20, porém, assim como esta, não contemplou o reúso. Mas ainda imperavam no Brasil as diretrizes do Código de Águas (1934), que mesmo considerado avançado para a época, deixava transparecer o comportamento da população e dos legisladores em considerar a água como um bem inesgotável, de utilização farta e abundante.

Somente com a Constituição Federal de 1988, instalou-se a consciência de que os recursos hídricos são finitos. De acordo com a Constituição compete à União legislar e instituir um sistema nacional para gerenciar os recursos hídricos, cujos direitos constitucionais serão divididos com os estados e municípios onde os cursos d'água se encontram. A Constituição também instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), pela Lei nº 9.433, em 1997.

Pela PNRH a água é reconhecida como um recurso natural limitado, como um bem de domínio público e dotado de valor econômico, portanto a cobrança pelo seu uso configura-se em um poderoso instrumento de gestão, em que é aplicado o princípio do poluidor-pagador, o qual possibilitará a conscientização do usuário. A Lei determina que o montante arrecadado com a cobrança pelo uso da água será aplicado, prioritariamente na bacia hidrográfica em que foi gerado (SETTI, 2000).

Segundo a CETESB (2010), a legislação hídrica brasileira foi inspirada no modelo francês e representa um exemplo ambicioso de gestão do uso dos rios. De acordo com a legislação, as decisões sobre os usos dos rios em todo o país serão tomadas pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, que são constituídos por representantes da sociedade civil, do estado e dos municípios.

O Brasil passou a atentar-se para temas como a racionalização do uso primário da água, estabelecendo princípios e instrumentos para a sua utilização. Porém, de acordo com Rapoport (2004), não houve, mais uma vez, preocupação com a fixação de critérios para a reutilização da água.

Para uma prática segura de reúso, os padrões a serem estabelecidos devem englobar parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, os quais ainda podem sofrer influência de crenças e preconceitos que a população possa ter sobre a questão, o que pode até determinar negativamente a aceitação da água de reúso. Um exemplo disso são as especificações publicadas no manual elaborado pela FUNASA, que trata, entre outros aspectos, da grande importância aos aspectos estéticos da água reciclada. De acordo com o manual, para um reúso vinculado ao adorno arquitetônico, exige-se grau de transparência, ausência de cor, odor, espuma ou qualquer outra substância ou componentes flutuantes (FUNASA, 2004).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) publicou a Resolução 54, em 2005, que estabelece os critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água (FIRJAN, 2006). Não somente no Brasil, mas em muitos países, a legislação sobre reúso é inexistente, muito branda ou muito restritiva. Faltam estudos que evidenciem quais as taxas seguras de aplicação para cada cultura e quais os reais danos que cada contaminante pode ocasionar ao sistema solo-

água-planta. A resolução COEMA N° 02/2017 dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras e o artigo 12, em especial, apresenta as condições para efluentes sanitários serem lançados em corpos hídricos.

E atualmente a lei das águas (Lei n° 9433/ 1997) incrementou em seus objetivos incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais. Além disso, em 09/07/2018 foi publicado no Diário Oficial do Estado de Ceará a lei n° 16.603 que dispõe sobre o reúso de água proveniente de aparelhos de ar condicionado no Estado do Ceará, em seu art. 1° prevê a obrigatoriedade do reúso de água proveniente de aparelhos de ar condicionado nos novos projetos de edificações residenciais multifamiliares, comerciais e industriais construídos no Estado do Ceará com o objetivo de contribuir para o uso racional da água no âmbito de nosso estado, no entanto a água não poderá ser usada para consumo humano, apenas para fins de regar plantas, lavar carros, alimentação de bacias sanitárias e lavagens de pisos ou de áreas externas.

NÍVEIS DO TRATAMENTO DE ESGOTOS E LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

3.1 NÍVEIS DO TRATAMENTO DE ESGOTOS

O tratamento dos esgotos é usualmente classificado através dos seguintes níveis: preliminar, primário, secundário e terciário (apenas eventualmente). O tratamento preliminar intenta apenas na remoção de sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e, em decorrência, parte da matéria orgânica. Em ambos predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes. Já no tratamento secundário, no qual predominam mecanismos biológicos, o objetivo é principalmente a remoção da matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fósforo). O tratamento terciário propõe a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário.

O tratamento preliminar deve existir em todas as estações de tratamento de esgotos sanitários em nível primário, secundário ou terciário. O tratamento secundário (biológico) pode ou não vir imediatamente após o tratamento preliminar. O tratamento terciário é raro em países em desenvolvimento. A remoção de nutrientes e de organismos patogênicos pode ser considerada como integrante do tratamento secundário ou do tratamento terciário, dependendo do processo adotado. A seguir, destaca-se o quadro 2 com os níveis de tratamento dos esgotos e o que cada um remove.

Quadro 2 - Níveis de tratamento e suas respectivas remoções.

Nível	Remoção
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis
	DBO em suspensão (associada à matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)
Secundário	DBO em suspensão (caso não haja tratamento primário: DBO associada a matéria orgânica em suspensão, presente no esgoto bruto)
	DBO em suspensão finamente particulada (caso haja tratamento primário: DBO associada à matéria orgânica em suspensão não sedimentáveis, não removida no tratamento primário)

	DBO solúvel (associada á matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos, presentes, tanto nos esgotos brutos, quanto no efluente do eventual tratamento primário, uma vez que sólidos dissolvidos não são removidos por sedimentação)
Terciário	Nutrientes
	Organismos patogênicos
	Compostos não biodegradáveis
	Metais pesados
	Sólidos inorgânicos dissolvidos
	Sólidos em suspensão remanescentes

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2017.

O tratamento preliminar destina-se principalmente à remoção de: sólidos grosseiros e areia. Os mecanismos básicos de remoção são de ordem física. Além das unidades de remoção de sólidos grosseiros, inclui-se também uma unidade para a medição da vazão. Usualmente esta é constituída por uma calha de dimensões padronizadas – calha Parshall - onde o valor medido do nível do líquido pode ser correlacionado com a vazão. Podem-se adotar também vertedores (retangulares ou triangulares) e mecanismos para a medição em tubulações fechadas, embora estes últimos sejam mais raros no caso do esgoto bruto.

As principais finalidades da remoção de sólidos grosseiros (gradeamento) são:

- Proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos (bombas e tubulações);
- Proteção das unidades de tratamento subsequentes;
- Proteção dos corpos receptores.
- As finalidades básicas da remoção de areia (desarenadores) são:
- Evitar abrasão nos equipamentos e tubulações;
- Eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução em tubulações, tanques, orifícios, sifões, etc.;
- Facilitar o transporte do líquido, principalmente a transferência de lodo, em suas diversas fases.

A remoção da areia contida nos esgotos é feita através de unidades especiais denominadas desarenadores. O mecanismo de remoção da areia é simplesmente o de sedimentação. Os grãos de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, sendo de sedimentação bem mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para as unidades a jusante. Existem formatos diferentes dos

desarenadores, que podem ser retangulares (mais comuns), quadrados (com fundo semicônico) e de outros formatos. As caixas de areia podem ser sem aeração (mais comuns) e aeradas (menos comuns). Existe uma diversidade de processos para a retirada e o transporte da areia sedimentada, desde os manuais até os completamente mecanizados.

O tratamento primário destina-se à remoção de: sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes.

Os esgotos, após passarem pelas unidades de tratamento preliminar, contêm ainda os sólidos em suspensão não grosseiros, os quais podem ser parcialmente removidos em unidades de sedimentação. Uma parte significativa destes sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica em suspensão. Assim, sua remoção por processos simples, como a sedimentação, implica na redução da carga de DBO dirigida ao tratamento secundário, onde sua remoção é de certa forma mais custosa. A eficiência de remoção de sólidos em suspensão situa-se em torno de 60 a 70%, e a de DBO em torno de 25 a 30%. Este nível é usado para sistemas como: decantadores primários e tanques sépticos.

O principal objetivo do tratamento secundário é a remoção da matéria orgânica. Esta se apresenta nas seguintes formas:

- Matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel ou filtrada), a qual não é removida por processos meramente físicos, como o de sedimentação, que ocorre no tratamento primário;
- Matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa ou particulada), a qual é em grande parte removida no eventual tratamento primário, mas cujos sólidos de sedimentabilidade mais lenta persistem na massa líquida.

Vários processos de tratamento secundário são concebidos de forma a acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores. Assim, a decomposição dos poluentes orgânicos degradáveis é alcançada, em condições controladas, em intervalos de tempo menores do que nos sistemas naturais.

A essência do tratamento secundário de esgotos domésticos é a inclusão de uma etapa biológica. Enquanto nos tratamentos preliminar e primário predominam mecanismos de ordem física, no tratamento secundário a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por micro-organismos.

Uma grande variedade de micro-organismos toma parte no processo: bactérias, protozoários, fungos e outros. A base de todo o processo biológico é o contato efetivo entre esses organismos e o material orgânico contido nos esgotos, de tal forma que esse possa ser utilizado

como alimento pelos micro-organismos. Existe uma grande variedade de método de tratamento em nível secundário, sendo que os mais comuns são: Lagoas de estabilização, Reatores anaeróbios, Lodos ativados, Reatores aeróbios com biofilmes, Wetlands (VON SPERLING, 2017).

3.2 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO: TRATAMENTO BIOLÓGICO DO ESGOTO DOMÉSTICO

Os despejos domésticos de pequenas comunidades vêm sendo tratados há séculos por meio de processos semelhantes aos que ocorrem nas lagoas de estabilização. Mesmo sem os especialistas se darem conta, este tratamento começou a ser realizado à medida que estes despejos, embora acidentalmente, foram encaminhados para lagos naturais ou artificiais (BENEVIDES, 2007).

De acordo com Jordão e Pessoa (2005), acredita-se que as primeiras lagoas criadas de forma acidental foram as de Santa Rosa na Califórnia (USA) em 1924, e a de Fessenden na Dakota do Norte (USA), em 1928. No caso de Santa Rosa, na tentativa de se evitar o custo da construção de uma estação de tratamento, o esgoto foi passado sobre um leito de pedras, acreditando-se que este teria um efeito de filtro percolador. Porém, não se obteve resultados satisfatórios, pois a passagem do esgoto acabou entupindo os vazios do leito causando um acúmulo de esgoto que chegou a 0,90 m de altura; no entanto o fluente obtido a partir desta “lagoa” apresentou características semelhantes às de um filtro biológico. Já em Fessenden, como não foi possível construir um corpo coletor adequado, o efluente da rede foi conduzido a uma depressão do terreno, localizado fora das cidades. Meses depois, foi constatado que a qualidade do efluente era equivalente à de um esgoto de tratamento secundário.

Jordão e Pessoa (2005) relataram ainda, que foi apenas nos últimos cinquenta anos que experimentos objetivos e critérios racionais de projetos começaram a ser desenvolvidos, de modo a se instituir parâmetros de carga orgânica, tempo de detenção, profundidade e outras características, também consideradas importantes. Na década de 1940 apareciam lagoas com acompanhamento operacional, sendo que, a partir do qual se preocupava em conhecer melhor parâmetros para dimensionamento e melhor entendimento de seu funcionamento.

As primeiras pesquisas objetivas nos Estados Unidos aconteceram nos estados da Dakota do Norte e Dakota do Sul, em 1948, quando entrou em operação a primeira lagoa projetada especificamente para receber e tratar esgoto bruto (lagoa de Maddock). Na mesma época, na Austrália, foram desenvolvidos estudos, para realizar tratamento de esgotos em lagoas. Este país foi o pioneiro no uso de lagoas em série, que alguns chamam de “lagoas australianas” (JORDÃO, PESSOA, 2005)

No Brasil, a primeira lagoa construída foi a de São José dos Campos, localizada no estado de São Paulo, copiando o sistema australiano, ou seja, duas lagoas em série; uma anaeróbia seguida de uma facultativa. Embora o acompanhamento da operação tenha sofrido descontinuidade, esta lagoa foi a primeira experiência de tipos de lagoas em nosso país. Em 1963, no Rio de Janeiro, foi construída uma lagoa também pioneira, na cidade de Deus; inicialmente facultativa e depois aerada (VON SPERLING, 1997). Desde então, muitas lagoas para o tratamento de esgotos, tanto urbano como rural, têm sido construídas no território nacional, assim como muitas pesquisas sobre os processos de tratamento nestes sistemas têm sido desenvolvidas.

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico satisfatório, especialmente indicadas para tratar esgoto sanitário de pequenas comunidades, em função da área requerida. Nestes sistemas a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas. Sua operação é simples, exige poucos equipamentos e possui uma manutenção relativamente barata. São reservatórios escavados, diretamente no solo, com a proteção dos taludes e do fundo, variando de acordo com o tipo de terreno utilizado. Devido à ausência de equipamentos mecânicos e a simplicidade construtiva, apresentam baixo custo de investimento e operação (COSTA et al., 2006).

Os sistemas de lagoas de estabilização, que incluem lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação, são considerados eficientes na remoção de organismos patogênicos do esgoto. Não provocam grandes remoções de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Por isto, são duplamente qualificados para terem os efluentes utilizados em projetos de irrigação de culturas (MOTA e VON SPERLING, 2009).

De acordo com Oliveira et al. (2010) esses reservatórios de estabilização, com dispositivos de acumulação e tratamento de águas residuais brutas e/ou pré-tratadas, revestem-se de uma fonte de água de importância fundamental, nas regiões áridas e semiáridas, quando se tem pretensão de reutilizar esses efluentes na irrigação de culturas, sem representar riscos à saúde pública.

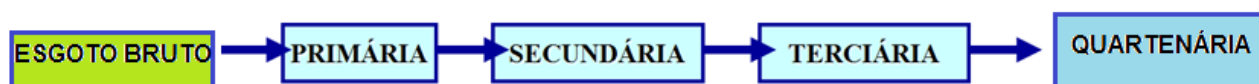
Uehara e Vidal (1989) definiram lagoas de estabilização como corpos de água lânticos, construídos pelo homem e destinados a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica, esgoto sanitário bruto e sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas. O tratamento é feito através de processos naturais: físicos, biológicos e bioquímicos, denominados autodepuração ou estabilização. Esses processos naturais, sob

condições parcialmente controladas, são os responsáveis pela transformação de compostos orgânicos putrescíveis em compostos minerais ou orgânicos mais estáveis. “As lagoas de estabilização constituem um processo biológico de tratamento de águas residuárias que se caracterizam pela simplicidade, eficiência e baixo custo.” (MATSUSHITA, S.D. apud KELLNER e PIRES, 1998).

De uma maneira geral, as lagoas de estabilização são classificadas em quatro tipos: anaeróbias, facultativas, de maturação, e de alta taxa. Conforme a disponibilidade de área e o nível de tratamento requerido para os efluentes, os sistemas de lagoas são configurados de maneira a utilizar apenas uma célula ou diversas células, que são arranjadas em série ou em paralelo. Tais arranjos visam também maior flexibilidade operacional (CEBALLOS, 1999; MENDONÇA, 1999).

As lagoas que recebem os esgotos brutos são as chamadas lagoas primárias. Aquelas que recebem o efluente de uma primária são chamadas secundárias. E assim, as lagoas de estabilização podem ser chamadas de terciárias, quaternárias e outras ordens sucessivas. (figura 5). Quando recebem efluentes de lagoas secundárias, podem também ser chamadas de maturação ou polimento, cujo objetivo principal é a remoção de micro-organismos patogênicos.

Figura 5 - Configuração das lagoas de estabilização



Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2017.

Nas lagoas de estabilização os esgotos são lançados e mantidos durante vários dias (período de detenção), necessários para que a matéria orgânica sofra, convenientemente, a ação de processos naturais de tratamento físico, bioquímico e biológico, denominados “autodepuração” ou “estabilização”. (DACACH, 1984).

Estes processos naturais, sob condições parcialmente controladas, são responsáveis pela transformação de compostos orgânicos putrescíveis em compostos minerais ou orgânicos mais estáveis, daí a denominação restritiva de “estabilização”. (BRANCO, 2002).

Conforme Von Sperling (2017), as lagoas de estabilização são indicadas para as condições brasileiras (regiões de clima quente e países em desenvolvimento), devido aos seguintes aspectos:

- Grande disponibilidade de área;
- Condições climáticas favoráveis (temperatura e insolação altas);
- Simplicidade operacional;
- Necessidade de pouco ou nenhum equipamento.

Dentre os processos utilizados no tratamento de águas residuárias, as lagoas de estabilização são os mais indicados para as regiões de clima tropical, onde normalmente há disponibilidade de terrenos e a temperatura é favorável ao seu desempenho. Dependendo da configuração, as lagoas de estabilização podem alcançar o grau de purificação desejado, a baixo custo financeiro, em vista da simplicidade de operação e manutenção. Quanto à redução de organismos patogênicos, nenhum dos processos de tratamento conhecido pode competir com as lagoas de estabilização (BASTOS e MARA, 1993; MONTE, 1995; SILVA e MARA, 1979; YÁNEZ, 1993).

No Ceará, a primeira lagoa de estabilização foi construída em 1974, num conjunto habitacional situado na zona oeste de Fortaleza, o conjunto Ceará (DA SILVA et al., 1999). O emprego desta tecnologia difundiu-se e recebeu grande impulso na última década. Hoje, existem 16 ETE's com lagoas em operação, localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) mencionadas abaixo na tabela 1 com suas características quanto aos tipos de lagoas de estabilização e seis em outros municípios (Juazeiro, Crateús, Quixadá, Trairi, Russas e Acaraú), operadas pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE.

Tabela 1 - ETE's da Região Metropolitana de Fortaleza juntamente com os tipos de lagoas de estabilização

ETE	Características
São Cristóvão	1 Lagoa anaeróbia + 1 facultativa + 2 maturação
Parque Fluminense	1 Lagoa anaeróbia + 1 facultativa + 1 maturação
Distrito Industrial	1 Lagoa anaeróbia + 1 facultativa + 3 maturação
Tupã-Mirim	1 Lagoa anaeróbia + 1 facultativa + 2 maturação
Conjunto Tabapuá	1 Lagoa facultativa + 2 maturação
Conjunto Palmeiras II	1 Lagoa anaeróbia + 3 maturação
Conjunto Ceará	3 Lagoas facultativas
Residencial Guadalajara	1 Lagoa anaeróbia + 1 facultativa + 3 maturação
Conjunto Jereissati III	1 Lagoa facultativa
Conjunto Araturi	1 Lagoa facultativa
Conjunto Esperança	1 Lagoa facultativa
Conjunto João Paulo II	1 Lagoa facultativa
Conj. Nova Metrópole	1 Lagoa facultativa
Conj. Planalto Caucaia	1 Lagoa facultativa
Conj. São Francisco	1 Lagoa facultativa
Conj. Tancredo Neves	1 Lagoa facultativa

Fonte: Adaptado da Cagece, 2015.

Frente ao aumento acelerado da construção de ETE's com lagoas de estabilização em todo o Estado e diante da escassez de água na região, observa-se que, a exemplo de experiências bem sucedidas em países como China, Estados Unidos, Austrália, Israel e Índia, o volume de todos esses efluentes tratados pode tornar-se um recurso hídrico estratégico para o desenvolvimento de atividades agrícolas, industriais, pecuárias e de piscicultura. Para tanto, é necessário priorizar os estudos de avaliação dos riscos ambientais e as implicações concernentes à saúde humana (BASTOS e MARA, 1992; FREIRE e SOBRINHO, 1993; MONTE, 1995).

As lagoas facultativas, sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas, lagoas aeradas facultativas e sistema de lagoas aeradas de mistura completa seguida por lagoas de decantação. Além destas lagoas, cujo principal objetivo é a remoção da matéria carbonácea,

analisam-se também as lagoas de maturação, direcionadas à remoção de organismos patogênicos, conforme o esquema abaixo. (VON SPERLING, 2017). A figura 6 destaca os principais objetivos das lagoas de estabilização de forma geral.

Figura 6 - Esquema dos principais objetivos das lagoas de estabilização



Fonte: Autor, 2018.

3.2.1 LAGOAS FACULTATIVAS

As lagoas facultativas são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização, envolve somente fenômenos puramente naturais. Basicamente, o processo consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam. Apresentam uma profundidade reduzida (1,5 m a 2,0 m). (VON SPERLING, 2017).

Locais ideais para a implantação desse tipo de lagoas são ambientes com elevada radiação solar e baixa nebulosidade. (VON SPERLING, 2017).

As vantagens relacionam-se à grande simplicidade e à confiabilidade da operação. Os processos naturais são confiáveis: não há equipamentos que possam estragar ou esquemas especiais requeridos. No entanto, a natureza é lenta, necessitando de longos tempos de detenção para que as reações se completem, o que implica em grandes requisitos de área. A atividade biológica é grandemente afetada pela temperatura, principalmente nas condições naturais das lagoas. Desta forma, as lagoas de estabilização são mais apropriadas onde a terra é barata, o clima favorável, e se deseja ter um método de tratamento que não requeira equipamentos ou uma capacitação especial dos operadores (ARCEIVALA, 1981).

Os custos das lagoas de estabilização são bastante competitivos, desde que os custos do terreno ou a necessidade de movimentos de terra não sejam excessivos. A construção é simples, envolvendo principalmente movimento de terra, e os custos operacionais são bem baixos, em comparação com outros métodos de tratamento. A eficiência do sistema é usualmente satisfatória, podendo chegar a níveis comparáveis à da maior parte dos tratamentos secundários.

As lagoas facultativas são aquelas em que ocorrem, simultaneamente, processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia, e reação fotossintética. Uma zona de atividade anaeróbia é sobreposta por uma zona de atividade biológica aeróbia, próxima à superfície (KELLNER e PIRES, 1998).

O termo facultativo refere-se à dualidade ambiental característica desse tipo de lagoa: aeróbia na superfície e anaeróbia no fundo. Durante a maior parte do dia, prevalecem as condições aeróbias na maior parte da coluna líquida, devido principalmente à produção de oxigênio fotossintético e a reaeração superficial. Ao anoitecer, cessada a incidência da luz solar sobre a lagoa, a produção de oxigênio, a partir da fotossíntese é interrompida. Com isso, passa a prevalecer à condição anaeróbia na maior parte da coluna líquida. Essa região em que ora aparece como aeróbia, ora como anaeróbia, caracteriza esse tipo de lagoa como facultativa, conforme demonstrado na figura 7.

Figura 7 - Esquema de uma lagoa facultativa



Fonte: Von Sperling, 2017.

3.2.1.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O esgoto afluente entra em uma extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta. Ao longo desse percurso, que demora vários dias, uma série de mecanismos contribui para a

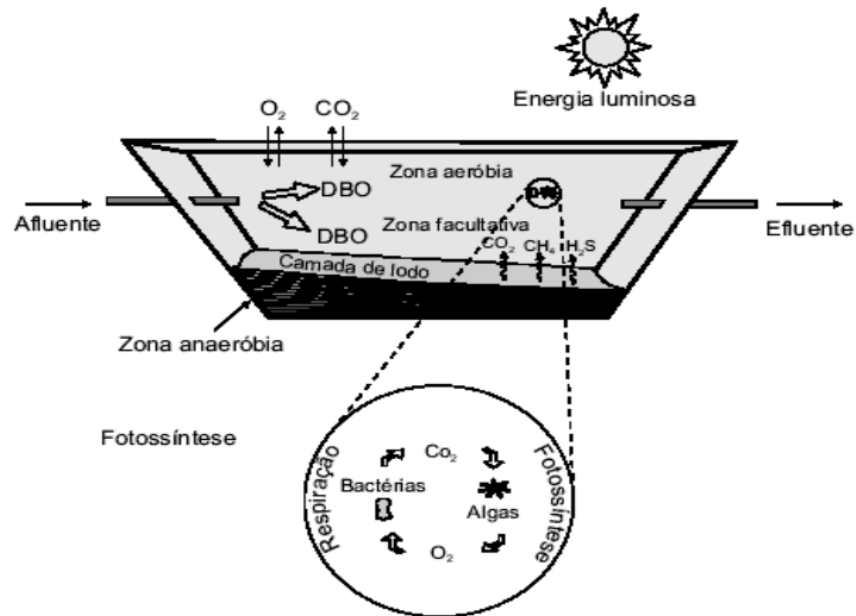
purificação dos esgotos. Estes mecanismos ocorrem nas três zonas das lagoas, denominadas: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa.

A matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo (zona anaeróbia). Este lodo sofre o processo de decomposição por micro-organismos anaeróbios, sendo convertido lentamente em gás carbônico, água, metano e outros. Após certo período de tempo, apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo. O gás sulfídrico gerado não causa problemas de mau cheiro, pelo fato de ser oxidado, por processos químicos e bioquímicos, na camada aeróbia superior.

A matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel), conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada) não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida. Na camada mais superficial, tem-se a zona aeróbia. Nesta zona, a matéria orgânica é oxidada por meio da respiração aeróbia. Há a necessidade da presença de oxigênio, o qual é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas. A fotossíntese produz matéria orgânica em quanto que a respiração oxida a matéria orgânica ocasionando um perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico.

A fotossíntese, por depender da energia solar, é mais elevada próximo à superfície da lagoa. À medida em que se aprofunda na lagoa, a penetração da luz é menor, o que ocasiona a predominância do consumo de oxigênio (respiração) sobre a sua produção (fotossíntese), com a eventual ausência de oxigênio dissolvido a partir de uma certa profundidade. Ademais, a fotossíntese só ocorre durante o dia. Devido a estes fatos, é essencial que haja diversos grupos de bactérias, responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, que possam sobreviver e proliferar, tanto na presença, quanto na ausência de oxigênio. Na ausência de oxigênio livre, são utilizados outros receptores de elétrons, como nitratos (condições anóxicas) e sulfatos e CO_2 (condições anaeróbias). Esta zona, onde pode ocorrer a presença ou a ausência de oxigênio, é denominada zona facultativa, conforme demonstrado na figura 8 (VON SPERLING, 2017).

Figura 8 - Esquema de funcionamento da lagoa facultativa



Fonte: Von Sperling, 2017.

VANTAGENS:

- Satisfatória eficiência na remoção de DBO;
- Construção, operação e manutenção simples;
- Reduzidos custos de implantação e operação;
- Ausência de equipamentos mecânicos;
- Requisitos energéticos praticamente nulos;
- Remoção de lodo necessária apenas após períodos superiores a 20 anos.

DESVANTAGENS:

- Elevados requisitos de área;
- Processo lento (TDH aproximadamente de 20 dias);
- Possibilidade do crescimento de insetos;
- Possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento dos padrões;

3.2.2 SISTEMA DE LAGOAS ANAERÓBIAS SEGUIDAS POR LAGOAS FACULTATIVAS (AUSTRALIANO)

As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial. Tal é alcançado através do lançamento de uma grande carga de DBO por unidade de volume da lagoa, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja várias vezes superior à taxa de produção. No balanço de

oxigênio, a produção pela fotossíntese e pela reaeração atmosféricas são, neste caso, desprezíveis.

As lagoas anaeróbias têm sido utilizadas para o tratamento de esgotos domésticos e despejos industriais predominantemente orgânicos com altos teores de DBO, como matadouros, laticínios, bebidas, etc.

A conversão da matéria orgânica em condições anaeróbias é lenta, pelo fato das bactérias anaeróbias se reproduzirem numa vagarosa taxa. Isto, por seu lado, é advindo de que as reações anaeróbias geram menos energia do que as reações aeróbias de estabilização da matéria orgânica. A temperatura do meio tem uma grande influência nas taxas de reprodução da biomassa e conversão do substrato, o que faz com que regiões de clima quente se tornem propícios a este tipo de lagoa.

As lagoas anaeróbias são usualmente profundas, da ordem de 3 m a 5 m. A profundidade é importante, no sentido de reduzir a possibilidade da penetração do oxigênio produzido na superfície para as demais camadas e assim a estabilização da matéria orgânica ocorra estritamente em condições anaeróbias. Pelo fato das lagoas serem mais profundas, a área requerida é correspondentemente menor.

Nas lagoas anaeróbias, a sedimentação é o principal mecanismo de eliminação dos micro-organismos patogênicos. Os ovos de helmintos sedimentam sob a ação do próprio peso. Bactérias, vírus e protozoários são aderidos ou adsorvidos aos sólidos sedimentáveis. A morte dos micro-organismos acontece na decomposição anaeróbia do lodo e pela ação de predadores. No entanto, esse processo de remoção de micro-organismos patogênicos é pouco eficiente e depende do tempo de detenção hidráulico. (CEBALLOS, 1999; NOGUEIRA, 1998; SILVA e MARA, 1979; SILVA, 1996). As lagoas anaeróbias não requerem qualquer equipamento especial e têm um consumo de energia praticamente desprezível.

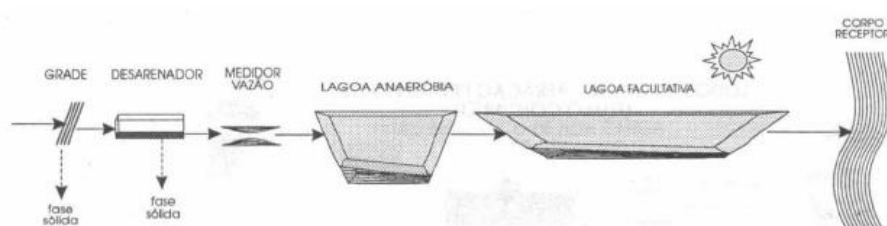
Os principais problemas operacionais das lagoas anaeróbias são os seguintes (CETESB, 1989; JORDÃO e PESSOA, 1995):

- Aparecimento de maus odores;
- Necessidade de um afastamento razoável às residências circunvizinhas;
- Proliferação de insetos;
- Crescimento de vegetais;
- Manchas verdes no encontro do nível de água com o talude;
- Entupimento das tubulações de entrada;
- Superfície da lagoa coberta por uma camada de espuma.

A eficiência de remoção de DBO nas lagoas anaeróbias é usualmente da ordem de 50% a 70%. A DBO efluente é ainda elevada, implicando na necessidade de uma unidade posterior de tratamento.

As unidades mais utilizadas são as lagoas facultativas, também denominadas de sistema australiano em que uma lagoa anaeróbia é seguida de uma facultativa, com isto melhora a eficiência global do sistema. Esse, por sua vez, é escolhido por ocupar 2/3 da área ocupada por um sistema de lagoa facultativa única. A figura 9 evidencia um esquema de um sistema australiano.

Figura 9 - Esquema de um sistema australiano



Fonte: Adaptado Von Sperling, 2017.

A remoção de DBO na lagoa anaeróbia proporciona uma substancial economia de área para a lagoa facultativa, fazendo com que o requisito de área total (lagoa anaeróbia + facultativa) seja em torno de 45 a 70% do requisito de uma lagoa facultativa única.

A existência de uma etapa anaeróbia em um reator aberto é sempre uma causa de preocupação, devido à possibilidade da geração de maus odores. Caso o sistema esteja bem equilibrado, a geração de mau cheiro não deve ocorrer, mas eventuais problemas operacionais podem conduzir à liberação de gás sulfídrico (H_2S), responsável por odores fétidos.

3.2.2.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O esgoto entra primeiro na lagoa anaeróbia que é menor e mais profunda. Quase toda matéria orgânica sedimenta e como o espelho d'água é pequeno, praticamente não há fotossíntese e a digestão da matéria orgânica ocorre via anaeróbia. Para uma permanência de aproximadamente 5 dias, haverá remoção da metade da carga orgânica.

De forma simplificada, a conversão anaeróbia se desenvolve em duas etapas:

Liquefação e formação de ácidos (através de bactérias acidogênicas);

Formação de metano (através das bactérias metanogênicas).

Na primeira fase não há remoção de DBO, apenas a conversão da matéria orgânica a outras formas (moléculas mais simples e depois em ácidos). É na segunda etapa que a DBO é removida, com a matéria orgânica (ácidos produzidos na primeira etapa) sendo convertida a

metano, gás carbônico e água, principalmente. O carbono orgânico é removido do meio líquido pelo fato do metano (CH_4) escapar para atmosfera. No momento de entrar na lagoa Facultativa, já com a metade da carga orgânica, o tratamento será finalizado.

3.2.3 LAGOAS AERADAS FACULTATIVAS

A lagoa aerada facultativa é utilizada quando se deseja ter um sistema predominantemente aeróbio, e de dimensões mais reduzidas que as lagoas facultativas ou o sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas.

A principal diferença com relação à lagoa facultativa convencional é quanto à forma de suprimento de oxigênio. Enquanto na lagoa facultativa o oxigênio é advindo da fotossíntese, no caso da lagoa aerada facultativa o oxigênio é obtido principalmente através de aeradores.

Devido à introdução de mecanização, as lagoas aeradas são menos simples em termos de manutenção e operação, comparadas com as lagoas facultativas convencionais. A redução dos requisitos de área é conseguida, portanto, com uma certa elevação no nível de operação, além da introdução do consumo de energia elétrica.

As lagoas facultativas convencionais sobrecarregadas e sem área para expansão podem ser convertidas a lagoas aeradas facultativas, através da inclusão de aeradores. É interessante, no entanto, prever essa possibilidade desde o período de projeto, como parte de cada etapa da estação, para que possa ser selecionada uma profundidade que seja compatível como os futuros equipamentos de aeração e colocadas placas protetoras de concreto no fundo, abaixo dos aeradores.

A remoção da DBO é em função do período de aeração, da temperatura e da natureza do esgoto. O despejo de efluente deve ser controlado para não prejudicar a eficiência do processo. O processo tem baixa produção de maus odores, sendo a eficiência na remoção de DBO de 70 a 90%, enquanto a eficiência na eliminação de patógenos vai de 60 a 99%. O consumo de energia é razoavelmente elevado. Em períodos entre 2 a 5 anos é necessária a remoção do lodo da lagoa de decantação (JORDÃO e PESSOA, 2005).

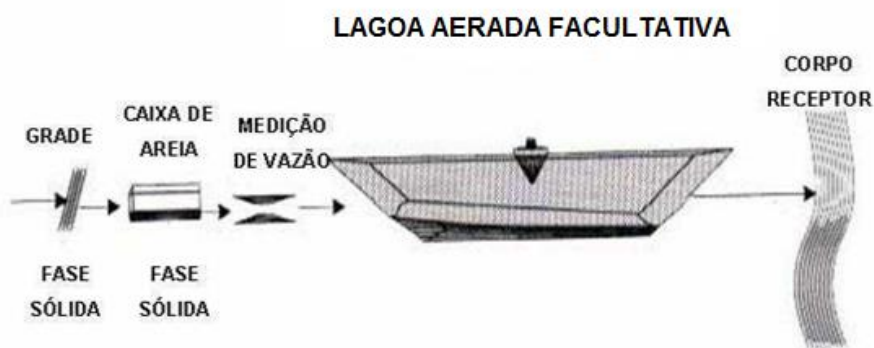
3.2.3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O esgoto entra na lagoa e a matéria orgânica particulada sedimenta até o fundo. A agitação promovida pelos aeradores não é suficiente para impedir a sedimentação. No fundo da lagoa o lodo (matéria orgânica particulada) formado é digerido anaerobiamente. A matéria orgânica dissolvida é digerida aerobiamente na massa líquida.

A lagoa é denominada facultativa pelo fato do nível de energia introduzido pelos aeradores ser suficiente apenas para a oxigenação, mas não para manter os sólidos (biomassa e sólidos em suspensão do esgoto bruto) dispersos na massa líquida. Desta forma, os sólidos tendem a sedimentar e constituir a camada de lodo de fundo, a ser decomposta anaerobiamente. Apenas a DBO solúvel e a DBO representada pelos sólidos de menores dimensões permanecem na massa líquida, vindo a sofrer decomposição aeróbia. Portanto, em termos da distribuição da biomassa heterotrófica, a lagoa se comporta como uma lagoa facultativa convencional.

Os aeradores mecânicos mais comumente utilizados em lagoas aeradas são unidades de eixo vertical que, ao rodarem em alta velocidade, causam um grande turbilhonamento na água. Este turbilhonamento propicia a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida, onde ele se dissolve. Com isto, consegue-se uma maior introdução de oxigênio, comparada à lagoa facultativa convencional, permitindo que a decomposição da matéria orgânica se dê mais rapidamente. Em decorrência, o tempo de detenção do esgoto na lagoa pode ser menor (da ordem de 5 a 10 dias), ou seja, o requisito de área é bem inferior. Tendo em vista esses preceitos, a figura 10 explica através de um esquema, uma lagoa aerada facultativa.

Figura 10 - Esquema de uma Lagoa Aerada Facultativa



Fonte: Von Sperling, 2017.

3.2.4 LAGOAS AERADAS DE MISTURA COMPLETA SEGUIDAS DE LAGOAS DE DECANTAÇÃO

As lagoas aeradas de mistura completa são essencialmente aeróbias. Os aeradores servem, não só para garantir a oxigenação do meio, mas também para manter os sólidos em suspensão (biomassa) dispersos no meio líquido. O tempo de detenção típico em uma lagoa aerada de mistura completa é da ordem de 2 a 4 dias.

A qualidade do efluente de uma lagoa aerada de mistura completa não é adequada para lançamento direto, pelo fato de conter elevados teores de sólidos em suspensão. Por esta razão,

estas lagoas são normalmente seguidas por outras lagoas (lagoas de decantação), onde a sedimentação e a estabilização destes sólidos possam ocorrer.

Os tempos de detenção nas lagoas de decantação são baixos, da ordem de 2 dias. Este tempo é suficiente para uma eficiente remoção dos sólidos em suspensão produzidos na lagoa aerada, mas não contribui na remoção bioquímica adicional de DBO, em virtude da baixa concentração de biomassa mantida em dispersão no meio líquido (a biomassa tende a sedimentar). Ademais, a capacidade de acúmulo de lodo é relativamente reduzida, implicando na necessidade de uma remoção a cada 1 a 5 anos.

A área requerida por esse sistema de lagoas é menor dentre os sistemas de lagoas. Os requisitos de energia são similares aos demais sistemas com lagoas aeradas. Possui um maior nível de aeração. Dentre os sistemas mencionados, esse é o mais eficiente e ocupa uma menor área. Porém, deve-se analisar a relação custo-benefício e a alta geração de lodo.

3.2.4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O esgoto entra na lagoa e é completamente digerido por micro-organismos aeróbios. A alta eficiência do sistema é garantida pela agitação (aumento da chance de contato entre os micro-organismos e a matéria orgânica- biomassa).

Quando sai da lagoa, o esgoto ainda não está completamente tratado. Devido à agitação, os micro-organismos que cresceram se alimentam do esgoto (biomassa), estão em suspensão na massa líquida e, portanto, precisam ser removidos. Sendo assim, sempre após uma unidade de mistura completa se faz necessário à presença de decantadores.

Na lagoa aerada, o nível de energia introduzido pelos aeradores cria uma turbulência tal que, além de garantir a oxigenação, permite ainda que todos os sólidos sejam mantidos dispersos no meio líquido, ou seja, não há sedimentação e, por conseguinte não há formação da zona de lodo no fundo do sistema. A denominação mistura completa, é, portanto, advinda do alto grau de energia por unidade de volume, responsável pela total mistura dos constituintes em toda a lagoa.

Entre os sólidos mantidos em suspensão e em mistura completa se incluem, além da matéria orgânica do esgoto bruto, também as bactérias (biomassa). Há, em decorrência, uma maior concentração de bactérias no meio líquido, além de um maior contato entre matéria orgânica e bactérias. Com isto, a eficiência da lagoa aeróbia aumenta, permitindo também uma redução em seu volume.

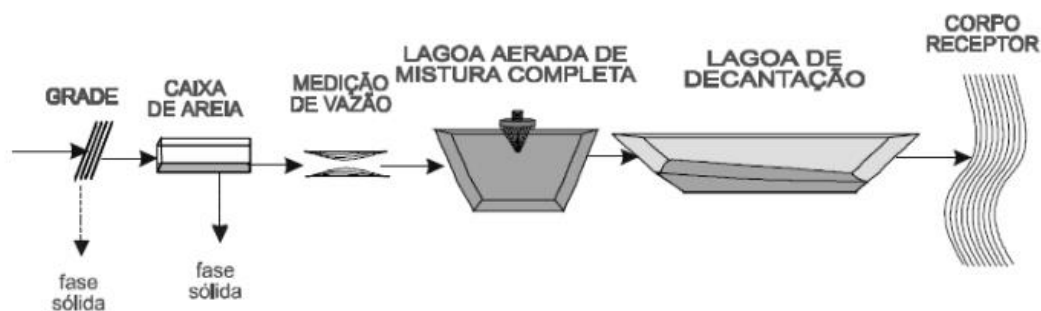
A lagoa aerada atua de forma similar aos tanques de aeração do sistema de lodos ativados. A principal diferença é a inexistência de recirculação de sólidos, característica essencial do sistema de lodos ativados. Devido à inexistência da recirculação, a concentração da biomassa

atinge apenas um determinado valor, ditado pela disponibilidade de substrato (carga de DBO) afluente. A concentração de sólidos em suspensão biológicos na lagoa aerada é da ordem de 20 a 30 vezes menor do que no reator dos sistemas de lodos ativados, o que justifica a elevadíssima eficiência deste último.

No entanto, apesar da boa eficiência das lagoas aeradas na remoção da matéria orgânica originalmente presente nos esgotos, qualidade do seu efluente não é satisfatória para lançamento direto no corpo receptor. A biomassa permanece em suspensão em todo o volume da lagoa, vindo, portanto, a sair com o efluente da lagoa aerada. Esta biomassa é, em última análise, também matéria orgânica, ainda que de uma natureza diferente da DBO do esgoto bruto. Esta matéria orgânica gerada na lagoa, caso lançada no corpo receptor, exerce também uma demanda de oxigênio, causando a deterioração da qualidade das águas.

Há necessidade, portanto, de uma unidade a jusante (lagoa de decantação), na qual os sólidos em suspensão (predominantemente a biomassa) possam vir a sedimentar. O efluente da lagoa de decantação sai com menor teor de sólidos, podendo ser lançado diretamente no corpo receptor. O esquema de uma lagoa aerada de mistura completa seguida de uma lagoa de decantação encontra-se descrito na figura 11.

Figura 11 - Esquema de uma lagoa aerada de mistura completa seguida de uma lagoa de decantação



Fonte: Von Sperling, 2017.

3.2.5 LAGOAS DE MATURAÇÃO

A remoção de organismos patogênicos é um dos objetivos mais importantes das lagoas de estabilização. Entre os organismos a serem removidos, incluem-se bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos. Uma certa remoção ocorre nas lagoas anaeróbias, facultativas e aeradas. No entanto, a grande remoção tem lugar nas lagoas de maturação, especialmente projetadas para esta finalidade.

As lagoas de maturação possibilitam um polimento no efluente (também são chamadas de lagoas de polimento) de qualquer um dos sistemas de lagoas de estabilização ou, em termos mais amplos, de qualquer sistema de tratamento de esgotos.

O principal objetivo das lagoas de maturação é o da remoção de patógenos, e não da remoção adicional de DBO. As lagoas de maturação constituem-se numa alternativa bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração e bastante segura.

3.2.5.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O ambiente ideal para os micro-organismos patogênicos é o trato intestinal humano. Fora deste, quer na rede de esgotos, no tratamento de esgotos, ou no corpo receptor, os organismos patogênicos tendem a morrer. Diversos fatores contribuem para a remoção dos organismos patogênicos:

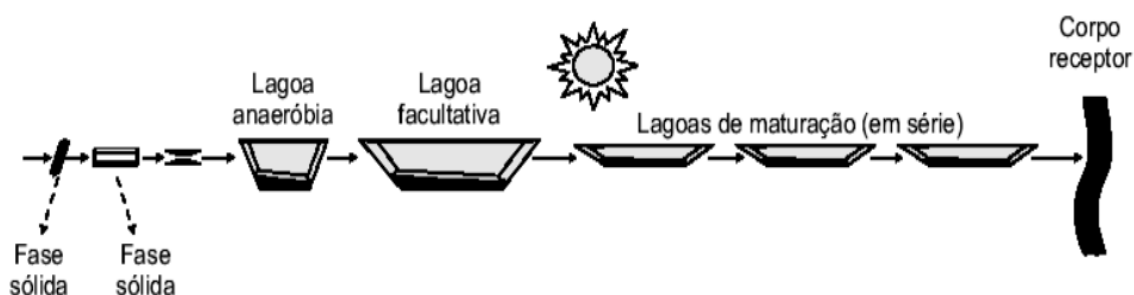
- Bactérias e vírus: temperatura, insolação, pH, escassez de alimento, organismos predadores, competição, compostos tóxicos.
- Cistos de protozoários e ovos de helmintos: sedimentação.

A lagoa de maturação é dimensionada de forma a fazer uma utilização ótima de alguns destes mecanismos, especialmente para a remoção de bactérias e vírus, os quais são representados pelos coliformes como indicadores. Alguns destes mecanismos se tornam mais efetivos com menores profundidades da lagoa, o que justifica o fato de que as lagoas de maturação sejam mais rasas, comparadas aos demais tipos de lagoas. Dentre os mecanismos associados à baixa profundidade da lagoa, pode-se citar (CAVALCANTI et al., 2001).

- Alta penetração da radiação solar (radiação ultravioleta)
- Elevado pH (devido à elevada atividade fotossintética) - $\text{pH} > 8,5$;
- Elevada concentração de OD (favorecendo uma comunidade aeróbia, mais eficiente na eliminação dos coliformes, além de aumentar a taxa de remoção devido a outros mecanismos, como de fotooxidação).
- As lagoas de maturação são usualmente projetadas nas configurações:
- Três ou quatro lagoas em série;
- Uma lagoa única com chicanas.

A Figura 12 explana o esquema de três lagoas de maturação em série.

Figura 12 - Esquema de três lagoas de maturação em série



Fonte: Von Sperling, 2017.

Abaixo destaca-se um resumo através de um quadro sobre todas as lagoas de estabilização abordadas e suas respectivas características.

Quadro 3 - Resumo das lagoas de estabilização

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	
Lagoa facultativa	Os esgotos fluem continuamente em lagoas especialmente construídas para o tratamento de águas residuais. O líquido permanece na lagoa por vários dias. A DBO finamente particuladas são estabilizadas aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo convertida aerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.
Lagoa anaeróbica - lagoa facultativa	A DBO é em torno de 50% a 65% removida (convertida a líquidos e gases) na lagoa anaeróbica (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área de uma lagoa facultativa única.
Lagoa aerada facultativa	Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés de através da fotossíntese. Como a lagoa é também facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta, sendo decomposta anaerobiamente no fundo.

Lagoa aerada de mistura completa - lagoa de decantação	<p>A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção da DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes do lançamento no corpo do receptor. A lagoa de decantação a jusante proporciona condições para esta remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.</p>
Lagoas de maturação	<p>O objetivo principal das lagoas de maturação é a remoção de organismos patogênicos. Nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para estes microrganismos, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, temperatura mais baixa que a do trato intestinal humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos. As lagoas de maturação constituem um pós-tratamento de processos que objetivem a remoção da DBO, sendo usualmente projetadas como uma série de lagoas, ou como lagoas com divisões por chicanas. A eficiência na remoção de coliformes é elevadíssima.</p>

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2017.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 ASPECTOS GERAIS DO MUNICÍPIO EM ESTUDO

A cidade de Caucaia é localizada no estado do Ceará integra a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Na tabela 2 são apresentadas as características de acordo com dados do perfil municipal apresentado pelo IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará) no ano de 2017, juntamente com dados do último censo demográfico do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) do ano de 2010.

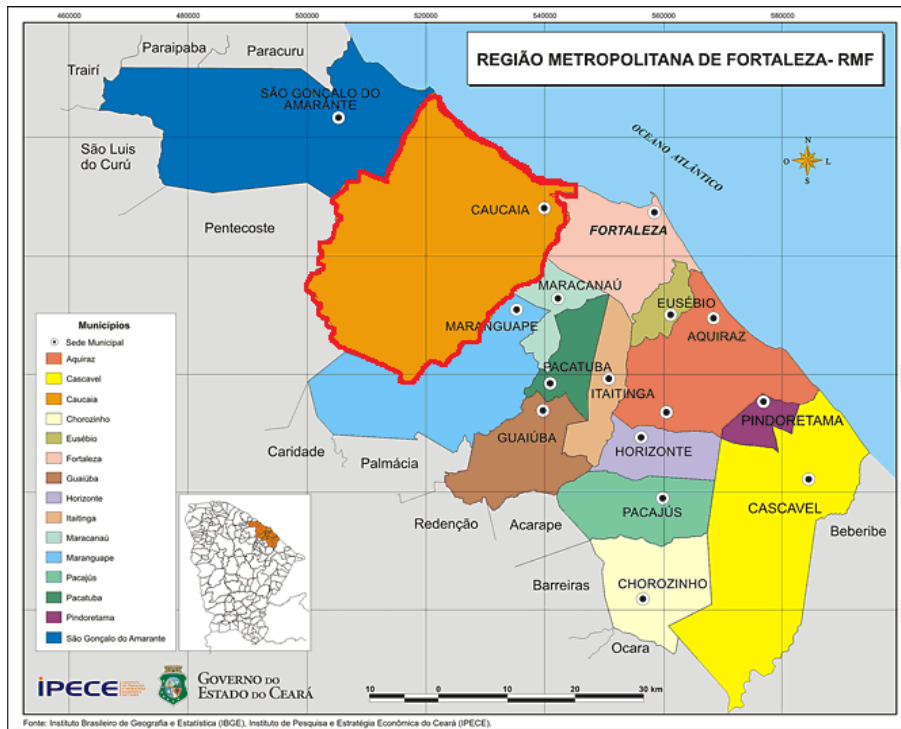
Tabela 2 - Dados gerais da cidade de Caucaia

Dados gerais da cidade de Caucaia	
Área absoluta (km ²)	1.228,5
Área relativa (%)	0,83
População Total (habitantes)	325.441
Densidade demográfica (hab./ km ²)	265,93
Latitude (S)	3° 44' 10"
Altitude (m)	29,9
Longitude (W)	38° 39' 11"
Clima	Tropical Quente Semiárido Brando, Tropical Quente Sub-úmido, Tropical Quente Úmido.
Temperatura média (°C)	26 a 28
Pluviosidade (mm)	1.243,2
Relevo	Planície Litorânea, Tabuleiros Pré-Litorâneos e Depressões.
Vegetação	Complexo Vegetacional da Zona Litorânea, Cerrado e Caatinga Arbustiva Densa.
Solos	Areias Quartzosas Marinhas, Solos Litólicos, Planossolo Solódico, Podzólico Vermelho-Amarelo, Solonchak, Solonetz Solodizado e Vertissolo.
Distância em linha reta da capital (km)	15

Fonte: IBGE, 2010 e IPECE, 2017.

Encontra-se localizado na porção Norte do estado do Ceará, cujos municípios limítrofes são ao Norte: Oceano Atlântico e São Gonçalo do Amarante; ao Leste: Maranguape, Maracanaú e Fortaleza; a Oeste: São Gonçalo do Amarante, Pentecostes e Maranguape e ao Sul: Maranguape, conforme destacado na Figura 13.

Figura 13 - Localização do município de Caucaia na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)

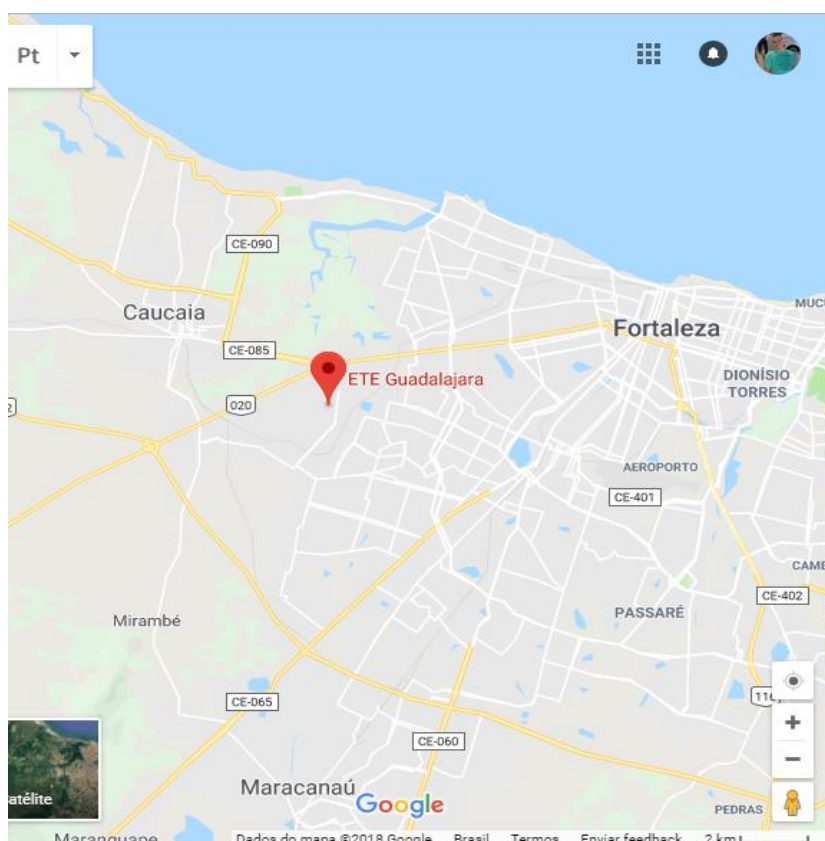


Fonte: IBGE e IPECE, 2013.

4.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ETER Guadalajara está localizada na cidade de Caucaia, mais precisamente na Rua Mário Mendes, 274- Conjunto Guadalajara a cerca de 4,0 Km da sede do município de Caucaia, e distante 15,0 km do centro da capital Fortaleza, conforme destacado na Figura 14:

Figura 14 - Localização da ETER Guadalajara por satélite



Fonte: Google Maps, 2018.

Segundo dados da companhia responsável pela operação e monitoramento (CAGECE), mais precisamente a UN-MTE (Unidade de Negócio Metropolitana Macrocoleta e Tratamento de Esgoto), a ETER apresenta as seguintes características:

- Área do Terreno (m²): 12.415
- Área construída (m²): 5.745
- Coordenadas Geográficas
- Zone: 24 M
- Longitude (UTM): 5424400.45 m E
- Latitude (UTM): 95844738.01 m S

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ETE GUADALAJARA

A ETE Guadalajara iniciou seu funcionamento no ano de 1996. Daquele período até hoje ela vem operando ininterruptamente. É considerada uma Estação de tratamento de Esgoto de médio porte. No que se refere ao tratamento de esgoto, a estação é composta de tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia e calha Parshall), seguida de cinco lagoas de estabilização que utilizam o tratamento biológico com base no sistema australiano, sendo uma

anaeróbia seguida de uma facultativa secundária, e seguida de mais três lagoas de maturação em série (Figura 15). Estas cinco lagoas constituem o tratamento secundário.

Na figura 15, é notório que o entorno da Estação há uma forte presença de casas, mas possuindo também, uma vizinhança de terrenos ocupados com vegetação nativa.

Figura 15 - Vista espacial das 5 lagoas de estabilização da ETE Guadalajara



Fonte: Google Earth, 2018.

As lagoas apresentam as seguintes dimensões mensuradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensões das 5 lagoas de estabilização da ETE Guadalajara

Lagoa	Profundidade (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)
Anaeróbia	3,0	114,00	719,00
Facultativa	1,8	205,00	1.925,00
Maturação 1	1,5	105,00	853,00
Maturação 2	1,5	133,00	878,00
Maturação 3	1,5	131,00	889,00

Fonte: Adaptado de Cagece, 2018 E Google Earth, 2018.

Atualmente o esgoto da ETE Guadalajara é oriundo da contribuição de aproximadamente 450 ligações de unidades residenciais. Todas estas ligações são oriundas da comunidade Conjunto Parque Guadalajara sendo, portanto, classificado como doméstico.

4.4 TRATAMENTO DO EFLUENTE DOMÉSTICO

O tratamento completo do esgoto da ETE Guadalajara está discriminado através do fluxograma abaixo:

Figura 16 - Fluxograma do tratamento de esgoto da ETE Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

O tratamento preliminar é composto do gradeamento. Esta etapa objetiva a remoção de sólidos grosseiros. São constituídos de barras de ferro ou aço paralelas, posicionadas transversalmente no canal de chegada dos esgotos na estação de tratamento, perpendiculares ou inclinadas conforme destacado na Figura 17.

As grades devem permitir o escoamento dos esgotos sem produzir grandes perdas de carga e servem para a proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos (bombas e tubulações); proteção das unidades de tratamento subsequentes, e para a proteção dos corpos receptores. Os resíduos que chegam a ETE em especial, plásticos em geral, papéis, absorventes e preservativos, são recolhidos por meio da limpeza das grades e acondicionados em baldes. Este processo de limpeza é realizado diariamente com destinação final para o aterro sanitário (figura 17).

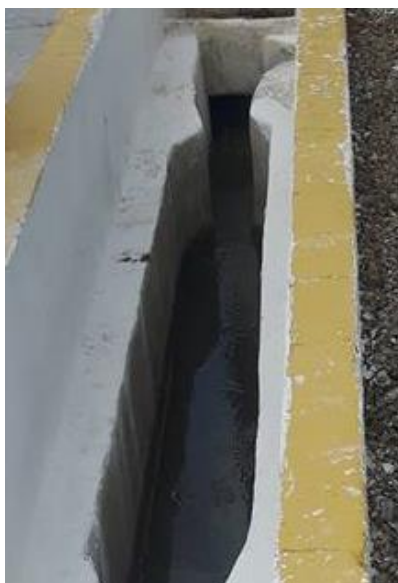
Figura 17 - Gradeamento da ETE Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

- Desarenador: também denominados de caixas de areia. Esses dispositivos tem o intuito de remover a areia (sólidos sedimentáveis). O mecanismo de remoção da areia é simplesmente o de sedimentação. Os grãos de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, sendo de sedimentação bem mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para as unidades a jusante. Na ETE Guadalajara, o desarenador apresenta o formato retangular, que são os formatos mais comuns (Figura 18). As finalidades básicas são para evitar abrasão nos equipamentos e tubulações, eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução em tubulações, tanques, orifícios, sifões, etc., facilitar o transporte do líquido, principalmente a transferência de lodo, em suas diversas fases. A areia na ETE em estudo, é lavada 2 vezes por semana com a água de reúso para desprender a matéria orgânica que adere a esses sólidos. Segundo informações fornecidas pela empresa Transágua, são retirados algo em torno de 1,0 ton.mês⁻¹ (uma tonelada por mês) de areia da ETE de Guadalajara.

Figura 18 - Desarenador da ETE Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Além das unidades de remoção de sólidos grosseiros e areia, inclui-se também uma unidade para a medição da vazão. Usualmente esta é constituída por uma calha de dimensões padronizadas – calha Parshall (Figura 19) - onde o valor medido do nível do líquido pode ser correlacionado com a vazão. Nesta ETE, a vazão da entrada é da ordem de $2,8 \text{ L.s}^{-1}$ (litros por segundo). podendo chegar até a vazão máxima de $5,0 \text{ L.s}^{-1}$ (cinco litros por segundo).

Figura 19 - Calha Parshall da ETE Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Posteriormente, inicia-se o tratamento biológico também denominado tratamento secundário através das cinco lagoas de estabilização do tipo de sistema Australiano, o qual é constituído de:

- 01 lagoa Anaeróbia: As lagoas anaeróbias são usualmente profundas, da ordem de 3 a 5 metros. A ETE estudada, apresenta 3 metros de profundidade. A profundidade é importante, no sentido de reduzir a possibilidade da penetração da luz solar, evitando desse modo a produção de oxigênio na superfície. Assim, a estabilização da matéria orgânica ocorra estritamente em condições anaeróbias. Pelo fato das lagoas serem mais profundas, a área requerida é correspondentemente menor e apresentam espelhos d'água menores. Nas lagoas anaeróbias, a sedimentação é o principal mecanismo de eliminação dos micro-organismos patogênicos. Os ovos de helmintos sedimentam sob a ação do próprio peso. Bactérias, vírus e protozoários são aderidos ou adsorvidos aos sólidos sedimentáveis. A morte dos micro-organismos acontece na decomposição anaeróbia do lodo e pela ação de predadores. No entanto, esse processo de remoção de micro-organismos patogênicos é pouco eficiente e depende do tempo de detenção hidráulico.

O processo de tratamento do esgoto envolve a liquefação e formação de ácidos, etapa realizada pelas bactérias acidogênicas, e geração de metano (metanogênese), através das arqueas metanogênicas. O processo de liquefação e formação de ácidos é caracterizado pela transformação da matéria orgânica em compostos mais simples e, posteriormente na metanogênese, em gás metano, havendo a remoção da DBO, sendo o carbono removido na forma de gás metano, que escapa para a atmosfera. Na ETE em estudo, há emissão de gases como: metano (CH_4) e gás sulfídrico (H_2S) que não são controlados, o tempo de detenção hidráulico somente nesta lagoa é da ordem de 6 dias. 50% a 60% da matéria orgânica é degradada nesta etapa. A figura 20 evidencia a presença desta lagoa no processo de tratamento do efluente doméstico.

Figura 20 - Lagoa anaeróbia da ETE Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Como o sistema é do tipo australiano posteriormente a lagoa anaeróbia vem uma lagoa facultativa, com isto melhora a eficiência global do sistema. Esse mecanismo é escolhido por ocupar 2/3 da área ocupada por um sistema de lagoa facultativa única. Os tipos de lagoas são:

- 01 lagoa facultativa: O termo facultativo refere-se à dualidade ambiental característica desse tipo de lagoa: aeróbia na superfície e anaeróbia no fundo. Durante a maior parte do dia, prevalecem as condições aeróbias na maior parte da coluna líquida, devido principalmente à produção de oxigênio fotossintético e a reaeração superficial. Ao anoitecer, cessada a incidência da luz solar sobre a lagoa, a produção de oxigênio, a partir da fotossíntese é interrompida. Com isso, passa a prevalecer a condição anaeróbia na maior parte da coluna líquida. Essa região em que ora aparece como aeróbia, ora como anaeróbia, caracteriza esse tipo de lagoa como facultativa. Esse tipo de lagoa estabiliza a matéria orgânica remanescente da lagoa anaeróbia tendo em vista, a questão da fotossíntese estas lagoas possuem espelhos de água maiores que as lagoas anaeróbias e são mais rasas. Na ETE em estudo há a presença de uma lagoa facultativa (figura 21). O tempo de detenção hidráulico nesta lagoa é da ordem de 14 dias e a profundidade é de 1,80 metros.

Figura 21 - Lagoa facultativa da ETE Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

- 03 lagoas de maturação: O principal objetivo das lagoas de maturação é o da remoção de patógenos, e não da remoção adicional de DBO feita pelas bactérias e algas que utilizam a matéria orgânica para sobreviver e, desta forma, fazem a autodepuração do esgoto. A lagoa de maturação é dimensionada de forma a fazer uma utilização em especial para a remoção de bactérias e vírus, os quais são representados pelos coliformes como indicadores. Alguns destes mecanismos se tornam mais efetivos com menores profundidades da lagoa, o que justifica o fato de que as lagoas de maturação sejam mais rasas, comparadas aos demais tipos de lagoas. Dentre os mecanismos associados à baixa profundidade da lagoa, pode-se citar: Alta penetração da radiação solar (radiação ultravioleta), elevado pH (devido à elevada atividade fotossintética) - $\text{pH} > 8,5$, elevada concentração de OD através da elevada temperatura e da alta incidência da radiação solar (favorecendo uma comunidade aeróbia, mais eficiente na eliminação dos coliformes, além de aumentar a taxa de remoção devido a outros mecanismos, como de foto-oxidação). Essas lagoas possibilitam um polimento final no efluente.

Na ETE em estudo, há a presença de três lagoas de maturação (figuras 22, 23 e 24), o tempo de detenção hidráulico nestas é da ordem de 15 dias e a profundidade é de 1,50 metros.

Figura 22 - Lagoa de maturação 1



Fonte: Autor, 2018.

Figura 23 - Lagoa de maturação 2



Fonte: Autor, 2018.

Figura 24 - Lagoa de maturação 3



Fonte: Autor, 2018.

Durante as visitas técnicas, constatou-se uma forte presença de algas na lagoa de maturação 01, o que indica a alta eficiência do processo, visto que as algas participam do processo de remoção de patógenos.

Dessa maneira, o efluente permanece na ETE por volta de 35 dias. Por fim, após o esgoto percorrer o circuito das cinco lagoas de estabilização, o efluente apresenta uma vazão de saída de $243 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ (duzentos e quarenta e três metros cúbicos por dia), dos quais $143 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ (cento e quarenta e três metros cúbicos por dia), são desaguadas por gravidade no corpo receptor - lagoa do Tabapuá, que atualmente encontra-se bastante eutrofizada devido ao lançamento de esgotos clandestinos da população ao entorno do corpo hídrico. A vazão de $100 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ (cem metros cúbicos por dia), restantes, têm o seu encaminhamento realizado por bombeamento para a estação de tratamento de reúso, onde é submetida a tratamentos químicos e mecânicos. Desse modo, a figura 25 evidencia a caixa de saída da ETE Guadalajara; a figura 26 mostra o corpo receptor (lagoa do Tabapuá) que por sua vez, encontra-se eutrofizado; e a figura 27 é uma visão espacial do início do tratamento e a sua destinação final.

Figura 25 - Caixa de saída da ETE Guadalajara



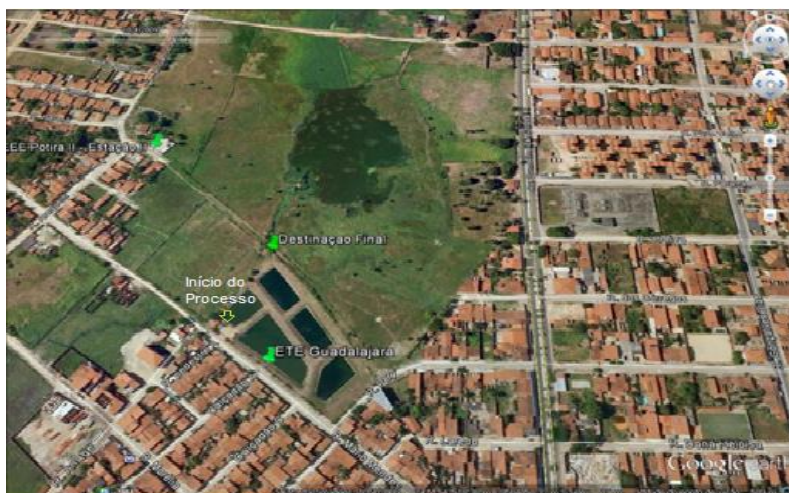
Fonte: Autor, 2018.

Figura 26 - Lagoa do Tabapuá



Fonte: Autor, 2018.

Figura 27 - Visão espacial do início do processo de tratamento de esgoto a sua destinação final



Fonte: Google Earth, 2018.

De modo geral, a ETE Guadalajara apresenta como subprodutos do processo produtivo: areia proveniente do processo de desarenação, lixo retido no gradeamento, e gases, sulfídrico e metano que não são coletados. O material proveniente da superfície das lagoas é disposto nos leitos de secagem (formato quadrado com 4m² de área) onde após desidratação são destinados para o aterro sanitário. Os leitos de secagem estão presentes na lagoa anaeróbia e na lagoa de maturação 3. Antigamente, o espaço ao lado do tratamento preliminar do esgoto (gradeamento e caixa de areia) era usado também como leito de secagem, porém eram expelidos odores para a comunidade no entorno da ETE, em virtude disso esse local foi inativado.

A ETE tem dois funcionários que são responsáveis pela operação, a limpeza e a conservação da estrutura existente, através de limpeza de grade, da capinação, da manutenção corretiva, pintura em geral, da limpeza manual das tubulações, monitoramento das condições do efluente, guarda das unidades constituintes, etc.

4.5. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE REÚSO (ETR)

A sala da ETR foi inaugurada em 2013, apresentando as seguintes dimensões: 3,10 metros de comprimento e 4,52 metros de largura. É composta de um filtro vórtice, três filtros de areia, quatro ozonizadores, dispositivo de radiação ultra-violeta, dois filtros de carvão ativado e dois Filtros de Propileno. Vale destacar que os elementos constituintes da ETR funcionam conjuntamente. A figura 28 revela uma visão geral da sala da ETR. É importante ressaltar que a ETR possui um quadro de comando (figura 29) principalmente no que tange ao sistema elevatório, composto de duas bombas hidráulicas e a retrolavagem, o que demonstra a mecanização do processo e a flexibilidade operacional. A vazão que a estação consegue produzir

é de $100 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ (100 metros cúbicos por dia), em um período de 8 a 10 horas. Devido a algumas manutenções, o funcionamento desta fica prejudicado, além disso, para que a mesma funcione normalmente é necessária uma parceria com a Prefeitura de Caucaia, município em que a estação está inserida.

Figura 28 - Visão geral da ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Figura 29 - Quadro de comando da ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

4.5.1 PROCESSO DE TRATAMENTO

A figura 30 mostra o fluxograma que destaca a sequência completa do sistema de reúso na estação de Guadalajara.

Figura 30 - Fluxograma do sistema de reúso da ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Após a emissão dos efluentes tratados oriundos da lagoa de maturação 03 e a divisão a qual estes efluentes são submetidos, é tomada a parte que cabe ao tratamento para reúso que passa pelos seguintes procedimentos:

A câmara de saída de efluentes tratados dispõe de um tubo de captação, cuja cota da geratriz inferior é ligeiramente superior à cota do nível de águas da calha de saída. Quando a captação destas águas até a ETR vai ser procedida, de acordo com a programação, uma comporta dentro da calha de saída que é posicionada após a captação, é fechada manualmente com a função de “*stop-log*”, conforme destacado na figura 31. Dessa forma o nível da superfície das águas sobe até alcançar o tubo de captação, e assim é promovida, ainda por gravidade, a entrada destas águas no sistema da ETR.

Figura 31 - Comporta para iniciar o processo de tratamento de reúso



Fonte: Autor, 2018.

A seguir, o efluente é transportado por um sistema de chicanas (Figura 32), que tem a finalidade de promover um maior tempo de contato entre o efluente e as pastilhas de tricloro que são adicionadas. Desse modo, ocorre à otimização da pré-oxidação do efluente.

Figura 32 - Chicanas utilizadas na ETER Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

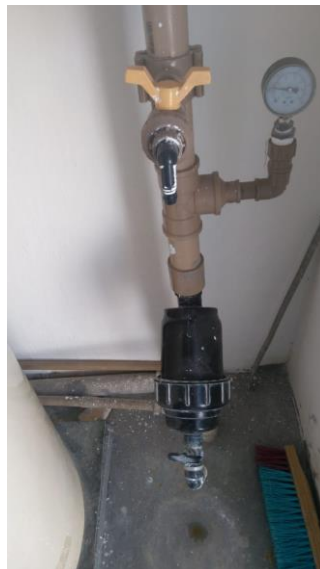
Em seguida, ocorre o bombeamento até a ETR propriamente dita. Na sequência, é feito a adição do PAC, ou Poliloreto de alumínio através de uma bomba dosadora (figura 33). O PAC é um coagulante químico que é utilizado na clarificação do volume hídrico a ser tratado. Posteriormente, ocorre o processo de formação de flocos através do aumento do gradiente de velocidade pelo filtro vórtice (figura 34). Este filtro, por sua vez, já inicia o processo de retenção de partículas (flocos) geradas pelo PAC.

Figura 33 - Bomba dosadora de policloreto de alumínio



Fonte: Autor, 2018.

Figura 34 - Filtro vórtice da ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Depois disso, o efluente passa pelo disco de Wellan (tecnologia alemã constituída de alumínio e silício que condiciona o efluente do ponto de vista físico-químico através da emissão de bioassinais). A figura 35 revela que este é usado na ETR em estudo.

Figura 35 - Disco de Wellan utilizado na ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Após esses procedimentos executa-se a filtragem dos efluentes através de três filtros de areia como evidencia a figura 36 com tela cuja malha é de 100μ (cem micros) e logo após é procedida à filtragem ascendente com a utilização de um meio filtrante composto de areia e quartzo.

Figura 36 - Filtros de areia utilizados na ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

A etapa seguinte consiste em procedimento de desinfecção através de dois processos em série, sendo o primeiro a ozonização (o ozônio pode eliminar odores e oxida a matéria orgânica,

além de controlar o crescimento das algas pelo mecanismo indireto oxidação dos nutrientes e mata bactérias e destrói vírus exercendo desse modo, seu principal poder, o de desinfecção). A figura 37 evidencia o sistema de ozonização da ETR Guadalajara.

Figura 37 - Sistema de ozonização RXT da ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Posteriormente, a exposição aos raios UV- Ultravioleta (não gera subprodutos na água), completa o processo de desinfecção. A figura abaixo aponta o aparelho responsável pela emissão dos raios UV no efluente.

Figura 38 - Aparelho responsável pela radiação ultravioleta da ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Logo após a desinfecção ocorre a remoção de cor e odor, juntamente com a atenuação da formação de subprodutos (trihalometanos) através da utilização de um sistema constituído de dois filtros de carvão ativado.

Figura 39 - Filtros de carvão usados na ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Com o objetivo de serem retirados os residuais finos persistentes e para a remoção de cor e turbidez remanescentes, realiza-se uma filtração por meio de dois filtros de polipropileno (figura 40) que são trocados anualmente. Dessa maneira, promove um polimento final e clarificação.

Figura 40 - Filtros de Propileno usados na ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Após esse polimento, é adicionado um residual de cloro através de uma bomba dosadora (figura 41), com o objetivo de prevenir futuras infecções, garantindo desse modo a segura sanitária do efluente tratado.

Figura 41 - Bomba dosadora de cloro empregada na ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Por conseguinte, é feita a medição da vazão do efluente tratado em metros cúbico por hora (m^3/h^{-1}) através do equipamento da figura 42.

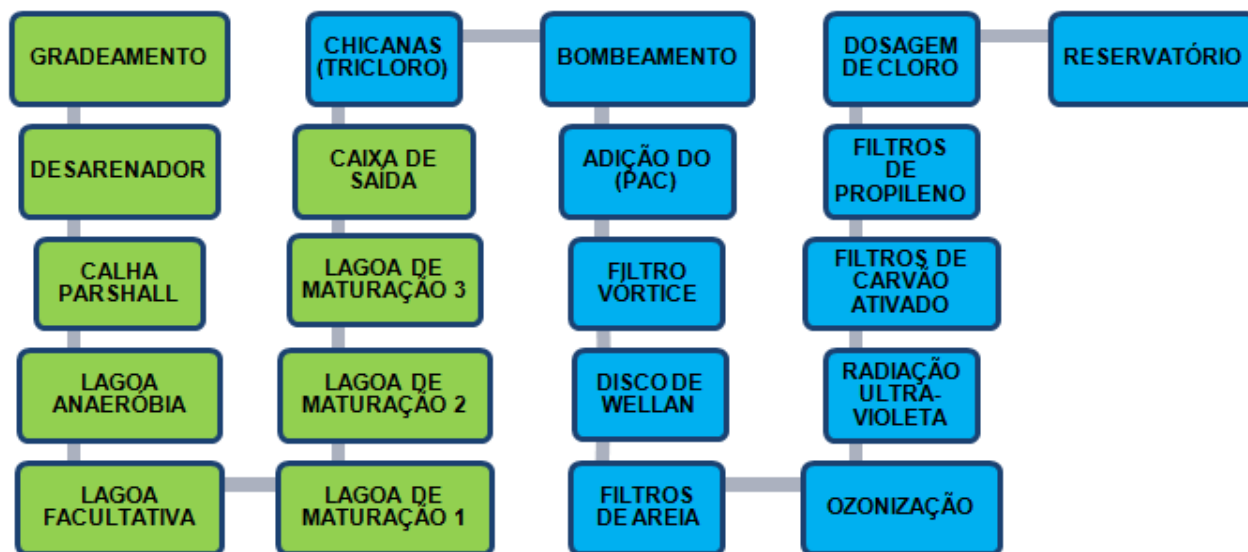
Figura 42 - Medição da vazão do efluente tratado



Fonte: Autor, 2018.

Portanto, englobando tanto o tratamento de esgoto e como o tratamento para o reúso da ETER Guadalajara, constituiu-se o fluxograma esquematizado abaixo na figura 43.

Figura 43 - Fluxograma completo dos processos de tratamento da ETER Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Por fim, através da figura 44 é mostrado o efluente antes e depois do tratamento completo de reúso. A figura evidencia em especial o aspecto estético, que é um dos critérios para aceitação pelo público, através principalmente da clarificação do efluente.

Figura 44 - Antes e depois do tratamento do efluente



Fonte: Autor, 2018.

Vale destacar que a estação de reúso em grande parte na extensão da tubulação, é notório a forte presença de acessórios, tais como: manômetros que determinam a pressão manométrica de cada etapa e juntamente com as válvulas que tem o objetivo de interromper o fluxo quando preciso para manutenções e desse modo evitar a contaminação, solidificação, cristalização ou

mesmo a deterioração do fluido. Estes dois acessórios de tubulação auxiliam na minimização das perdas de carga das tubulações, vistos na figura 45.

Figura 45 - Acessórios das tubulações



Fonte: Autor, 2018.

Após estes procedimentos, a água tratada, é armazenada em um tanque de aço na superfície do solo de forma cilíndrica com capacidade para 16 m³ (figura 46). Este volume então é disponibilizado para utilização em reúso. O recurso destinado ao reúso, tratado e armazenado, é transportado através de carros pipa até os locais de sua aplicação.

Figura 46 - Tanque de armazenamento da água de reúso da ETR Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Após o enchimento durante três vezes consecutivas do reservatório mencionado anteriormente, os filtros de areia e carvão (ao total são 5 filtros) são lavados, o chamado processo de retrolavagem. Nesse processo, as impurezas, detritos da água são removidos.

A retrolavagem não utiliza processos químicos, somente a água no fluxo inverso da filtração. É a operação inversa da filtração, demorando alguns minutos, a depender do tamanho do filtro e vazão, no caso da ETER em estudo. Cada filtro para ser lavado demora cerca de 3 minutos. Assim, toda borra e sujeira é eliminada e são destinadas aos lodos de secagem.

É importante destacar que todos os produtos químicos utilizados durante o processo de tratamento para o reúso, tais como Policloreto de Alumínio (PAC) e o Cloro são armazenados em tanques, bem vedados em uma casa de química (Figura 47).

Figura 47 - Armazenamento dos produtos químicos usados no processo de tratamento para reúso



Fonte: Autor, 2018.

RESULTADOS

5.1 CENÁRIOS ATUAIS DA ETER GUADALAJARA

A ETE Guadalajara foi inaugurada no ano de 1996 já com o atual sistema. A exceção fica apenas por conta da construção da unidade ETR- Estação de Tratamento e Reúso que foi implantada no início de 2013. Portanto, há 22 anos suas atividades estão em curso.

O estado geral da instalação pode ser considerado muito bom. A edificação que funciona como ETR consta de: casa de bombas, depósito de materiais (casa de química), um laboratório atualmente desativado e um banheiro. Os referidos cômodos apresentam estado de conservação normal sem fatos ou danos que possam ser citados. Os muros da ETE Guadalajara que delimitam o terreno das instalações, também apresentam um excelente estado de conservação, e não apresentam rachaduras ou falhas aparentes. Sua estrutura com estacas estruturais e cercas de arame farpado mostra uma ótima condição de conservação. A pintura dos muros, das estacas e da ETER no geral executada na cor branca, se mostra em boa situação. As figuras 50 e 51 comprovam as condições descritas.

Figura 48 - Estado da pintura da ETER Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

Figura 49 - Estado da pintura das estacas e do muro do entorno da ETER Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

5.2 SISTEMA OPERACIONAL

As lagoas, bem como suas instalações apresentam excelentes condições de funcionamento e conservação tanto na conformação interna como em seu entorno. Não há visualização de crescimento indesejado de vegetação nas áreas contíguas. Quanto às vias de circulação, são construídas de terra compactada e protegidas por grama. Ficam nas áreas de entrada da ETE e entre as lagoas. No entanto, nos dias das visitas, a vegetação no entorno das lagoas e nas vias de circulação estava bastante crescida como destacado nas figuras 52 e 53.

Figura 50 - Vegetação no entorno da lagoa facultativa



Fonte: Autor, 2018.

Figura 51 - Vegetação nas vias de circulação da ETER Guadalajara



Fonte: Autor, 2018.

CONCLUSÕES**6.1 CONDIÇÕES DO FUNCIONAMENTO DA ETE**

Pode-se verificar que todos os elementos que compõem os processos de controle e operação desta estação de tratamento se encontram em plena atividade, exceto o processo de reúso que retornou seu funcionamento em maio de 2018. Todos os elementos de tratamento primários em funcionamento, bem como as cinco lagoas em atividade, e as condições das estruturas de entorno e do prédio, encontram-se em perfeitas condições de uso e funcionamento.

6.2 APROVEITAMENTOS EM REÚSO

Pelo reúso, atualmente concebido e reconhecido, é correto afirmar que estes efluentes estão aptos à utilização em: irrigações de áreas verdes, limpeza de redes (lavagens de filtros), ramais de esgotamento sanitário, descargas sanitárias, lavagem de pisos e de carros, controle da poeira, construção civil (produção de argamassas e concreto).

6.3 IMPACTOS AMBIENTAIS NO CORPO HÍDRICO RECEPTOR

A lagoa do Tabapuá encontra-se eutrofizada, provavelmente pelo aporte irregular de esgotos (ricos em nutrientes como nitrogênio e fósforo) das residências e prédios da vizinhança, uma vez que os efluentes oriundos da ETE Guadalajara, de acordo com os resultados dos ensaios realizados nestes, possivelmente não contribuem para esse processo.

Na ETE Guadalajara não existem nos dias atuais, qualquer convênio, parceria ou contrato com empresas de produção ou instituições educacionais, que possam utilizar os recursos gerados pelas atividades de tratamento de efluentes ou usufruir de eventuais processos ou projetos de aprendizagem no âmbito da mesma. Com base nos dados analisados no presente trabalho, segue como sugestão convidar professores e empresas a fim de viabilização parcerias entre instituições de ensino, empresas e a CAGECE, visando à realização de futuras pesquisas com o intuito de obter métodos de reutilização de efluentes.

Essas cooperações poderiam ser realizadas tanto no ensino médio, como no ensino superior, em cursos da área de Saneamento e Gestão Ambiental, por exemplo, assim como, em nível empresarial, na construção civil, agrícola e/ou piscicultura.

Esta ETE inclusive poderia ser objeto de visitas de estudantes até mesmo do nível fundamental com o intuito de criar nos mesmos, uma conscientização das questões ambientais e o papel que essa instalação e outras similares cumprem no trato dos esgotos domésticos, bem como, da sua importância nos contextos social, ambiental e da saúde, podendo inclusive explorar o grande potencial destes efluentes, para o cultivo e produção de algumas verduras, frutas e/ou produção de peixes em tanques para utilização na merenda escolar das escolas da comunidade.

Além disso, sugere-se a captação de metano na lagoa anaeróbia para produção de energia para a própria ETER. Poderia analisar a viabilidade de se estabelecer uma parceria com a empresa Gás Natural Renovável Fortaleza (GNR Fortaleza), que já faz a captação do metano do Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC). Além da geração de energia, também seria possível evitar que mais de 610 toneladas de CO₂ fossem lançadas na atmosfera anualmente, equivalentes à retirada diária de mais de 800 mil litros de diesel do setor de transportes. Isso contribuiria para minimizar a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo positivamente para as futuras gerações. Com a geração de energia renovável, os combustíveis fósseis são substituídos, reduzindo, dessa forma, passivos ambientais e atribuindo selo verde à matriz de tratamento. E por fim, a água de reúso poderia ser utilizada na descarga sanitária do próprio banheiro da ETER, a fim de economizar esse líquido e servir como divulgação aos que visitam aquela ETER.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR). **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. 2003. Disponível em: Acesso em: 19 jul. 2018.
- ANDRADE NETO, C. O. de. **Sistemas Simples para tratamento de esgotos sanitários: Experiência Brasileira**, Rio de Janeiro: ABES, 301p. 1997.
- ANGELAKIS, A. N.; SPYRIDAKIS, S.- **The Status of Water Resources in Minoan Times: A Preliminary Study**- Angelakis, A. N. and A. Issar Editors. Diachronic Climatic Impacts on Water Resources in Mediterranean Region. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 1996.
- ARCEIVALA, S. J. - **Wastewater treatment and disposal**. Marcel Dekker, New York. 892p. 1981.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES - **Reúso da Água**. Série “Cadernos de Engenharia Sanitária e Ambiental”, São Paulo, 1997.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A. **A qualidade da água na agricultura**. Paraíba: UFPB, 218p. 1991.
- BANCO MUNDIAL. **La ordenación de los recursos hídricos**. 1994.
- BASTOS, R. K. X.; MARA, D. D. **Irrigación de hortalizas com águas residuales: Aspectos sanitários**. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 23., 1992, La Habana. Anais... La Habana: Association Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 22-28 p. 1992.
- BASTOS, R. K. X.; MARA, D. D. - Avaliação dos Critérios e Padrões de **Qualidade Microbiológica de Esgotos Sanitários tendo em vista sua utilização na agricultura**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL- 17º, Anais. V.2- Trabalhos Técnicos- TOMO I. Natal, RN, 1993.
- BASTOS, R. K. X. **Utilização agrícola de esgotos sanitários**. ABES. São Paulo. Disponível em <<https://www.finep.gov.br>>. Acessível em: 02 mar. 2017.
- BENEVIDES, R. M. **Aspectos sanitários e agrônômicos do uso de esgotos tratados na irrigação do capim Tanzânia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil / saneamento ambiental). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza 113p, 2007.
- BERNARDI, C. C. **Reúso de água para irrigação**. Monografia (Especialização Lato – Sensu, com área de concentração em Planejamento Estratégico) - ISEA-FGV/ Ecobusiness School, BRASÍLIA, 625p, 2003.

- BIXIO, D.; THOEYE, C.; WINTGENS, T.; RAVAZZINI, A.; MISKA, V.; MUSTON, M.; CHIKUREL, H; A. AHARONI, A.; D. JOKSIMOVIC, V.; MELIN, T. **Water reclamation and reuse: implementation and management issues.** *Desalination*, v. 218, 13-23 p. 2008.
- BOUWER, H. **Integrated water management: emerging issues and challenges.** *Agricultural Water Management*, v.45, p. 217-228, 2000.
- BRADDOCK, D AND DOWNS, P. - **Wastewater irrigation A strategy for increasing suga cane production.** In International Society of Sugar Cane Technologists. Vol. 24. Ed. D M Hogarth. Proceedings of the XXIV Congress, September. ISSCT, Brisbane, Australia, 171-173 p. 2001.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, seção 1, p. 470, v. 135, n. 6, 1997.
- CEBALLOS, B. S. O. – **Microbiologia dos Esgotos e Fundamentos Microbiológicos dos Sistemas de Tratamento.** Curso oferecido ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, no período de 08 a 11 de março de 1999.
- CETESB. **Operação e Manutenção de lagoas Anaeróbias e facultativas.** São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 91p. 1989.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Histórico da legislação hídrica no Brasil.** 2010. Acesso em: 19 jul. 2018.
- CÓDIGO DE ÁGUAS. **Decreto Nº 24.643, de 10 de julho de 1934.** Diário Oficial da União. Decreta o Código de Águas.
- CONAMA. **Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005.** Diário Oficial da União. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- CONAMA. **Resolução Nº 20, de 18 de junho de 1986.** Diário Oficial da União. Estabelece normas e padrões para a qualidade das águas e lançamento nos corpos de água.
- COSTA, M. C. **Avaliação dos aspectos sanitários, agronômicos e de qualidade em melancia irrigadas com esgoto tratado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 143p, 2006.
- COSTANZI, R.N. **Técnicas combinadas.** [Entrevista a Fábio de Castro]. Revista Fapesp. São Paulo. 21 de janeiro de 2008. Disponível em:

<http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?i d=8317>. Acesso em: 05 de julho de 2018.

CUNHA, V. D. **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental, 2008.

DACACH, N. G. **Saneamento Básico**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editor S.A, 293p. 1984.

DA SILVA, F.J.A; ARAÚJO, L.F.P.; MARA, D.D.; PEARSON, H.W. AND SILVA, S.A. – **Ponds in Fortaleza, Northeast Brazil: Scenario for Effluent Reuse**. In: 4th INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE WASTE STABILISATION PONDS: TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT. Marrakech, 20th – 23th April, 1999.

DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DO CEARÁ. **Resolução COEMA nº02, de 02 de fevereiro de 2017**. . Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/resolucao-coema-02-2017.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2018.

FIRJAN. **Manual de conservação e reúso da água na indústria**. Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: < <http://firjan.org.br> >. Acesso em: 19 jul. 2011.

FREIRE, A.O.; SOBRINHO, J. S. M. - **Pesquisa sobre o Modelo Fossa Séptica/ Filtro Anaeróbio para o saneamento rural em Minas Gerais - Experiência de Campo- Proposta Alternativa de Aplicação de Esgotos no solo como tecnologia apropriada para o saneamento rural**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – 17°, Anais, v.2 - Trabalhos Técnicos – TOMO I. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, 1993.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

HAMMER, Mark J. **Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos**. Tradução de Sérgio A. S. de Almeida. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 563p. 1974.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, Volume 7, 4 eds., 75-95 p. 2002.

HESPANHOL, I. **Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos**. Revista de Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, 131 – 158 p, 2008.

- IPECE. **Perfil municipal 2017 caucaia**. Disponível em:
<http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2017/Caucaia.pdf>. Acesso em:
07 jul. 2018
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª. Edição - Rio de Janeiro. ABES, 2005.
- KELLNER, E; PIRES, E. C. **Lagoas de Estabilização – Projeto e Operação**: Departamento de Hidráulica e Saneamento; Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo: ABES, 241p. 1998.
- LAVRADOR FILHO, J. – **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica de São Paulo – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987.
- MATSUSHITA, A. T. - **Estudo sobre Lagoa de estabilização para Esgoto Sanitário**. São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 58p. 1972.
- MENDONÇA, S.R. – **Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente: Novos conceitos**. João pessoa, PB, 09p. 1999.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. - **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4 ed. New York: McGraw Hill, 1819p, 2003.
- MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: estudo de caso da Kodak Brasileira**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, 2002.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Caderno Setorial de Recursos Hídricos**. Brasília: MMA, 2006. vol.4. Localização: Acervo da Biblioteca da ANA AG 5142.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017. Disponível em:
<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- MONTE, M.H.F.M – **Major Benefits and Minor Disadvantages of Crop Irrigation with Pond Effluent: A Case Study**. In: 3RD IAWQ INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE AND WORKSHOP: WASTE STABILISATION PONDS TECHNOLOGY AND APPLICATIONS. Preprint Volume. João Pessoa- Paraíba, Brazil, 1995.

- MOTA, F.S.B.; BEZERRA, F.C.; TOMÉ, L. M. – **Avaliação de Desempenho de Culturas Irrigadas com Esgoto Tratado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – 19°. Anais. Foz do Iguaçu- Paraná, Brasil, 1997.
- MUNICIPIO VERDE AZUL. **Manual de conservação de reúso de água em edificações**. Disponível em: < <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/2011/11/ManualConservacaoReusoAguaEdificacoes.pdf> >. Acesso em: 04 jul. 2018.
- NOGUEIRA, V. L. M. – **Caracterização de um sistema de Lagoas de Estabilização numa Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos em Escala Real, em Fortaleza, Ceará**. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza- Ceará, Brasil, 1998.
- PASCHOALATO, C. F. P. R.; MELLIS, G. V.; CIRINO, T. M. A. **O Enquadramento legal específico para o reúso de águas residuárias de ETE frente ao CONAMA 20**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 29., 2004, Paraná.
- PHILLIPPI Jr, A.; MALHEIROS, T. F. Águas residuárias: visão de saúde pública e ambiental. PHILLIPPI JR., A (org) **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, p. 181-219, 2005.
- POVINELLI, Jurandir. **Sistemas de Esgotos Sanitário**. 2.ed. Cap. 25. São Paulo: CETESB, 467p. 1977.
- RAPOPORT, B. **Água cinza: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominal**. Dissertação (Mestrado) - Fundação Osvaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, 2004.
- REGO, J. L.; OLIVEIRA, E. L. L.; ARAÚJO, A. P. B.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, A. B.; MOTA, S. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (suplemento), p. 155-159, 2005.
- RODRIGUES, Raquel dos Santos. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: proposta de regulamentação do reúso no Brasil**. Dissertação de Mestrado. EPUSP – PHD – São Paulo, 177 p. 2005.
- SANDRI. D.; MATSUIRA, E. E.; TESTEZLAR, R. Desenvolvimento de alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1 p. 17-29, 2007.

- SETTI, A. A. **Gestão de Recursos Hídricos: aspectos legais, econômicos e sociais.** In: SILVA, Demétrius David da; PRUSKI, Fernando Falco (Ed). *Gestão de Recursos Hídricos*. Brasília: DF: Editora UFV, 2000.
- SILVA, S.A. - **Lagoas de Estabilização Anaeróbias no Tratamento de águas residuárias Domésticas.** Tese apresentada ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba: Concurso de professor Titular. João Pessoa, Paraíba, Brasil, 1996.
- SILVA, S.A.; MARA, D. D. - **Tratamento Biológico de Água Residuárias- Lagoas de Estabilização,** Rio de Janeiro: ABES, 1979.
- SNEL, Dr. M. **Reuse of wastewater** – in advantages and disadvantages specifically from an institutional and sócio-cultural perspective. International Water and Sanitation Centre, Delft, The Netherlands, 7p, 2002.
- SOUSA, J. T.; HENRIQUE, I. N.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, n.3, p.260-265, 2005.
- VON SPERLING, MARCOS VON. **Lagoas de estabilização.** 3 ed. Belo Horizonte: UFMG, 11 a 105 p. 2017.
- TELLES, Dirceu D'Alkmin; Regina Helena Pacca Guimarães Costa. **Reúso da água : conceitos, teorias e práticas.** 1 ed. São Paulo: Blucher, 93-94 p. 2007.
- TOMAZ, P. **Conservação da água.** 1 ed. São Paulo: Editora Parma, 239 p. 2008.
- UEHARA, M. Y.; VIDAL, W.L – **Operação e Manutenção de Lagoas Anaeróbias e Facultativas,** São Paulo, CETESB, 1989.
- VIVACQUA, M.C.R. **Qualidade da água do escoamento superficial urbano: revisão visando o uso local.** Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Pós-Graduação em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- WESTERHOFF, G.P. “Un update of research needs for water reuse”. In: Water Reuse Symposium, 3 ed. San Diego, Califórnia, Proceedings, 1731-1742 p. 1984.
- YÁNEZ, F. – **Lagunas de Estabilizacion, Teoria, Diseño, Evaluacion y Mantenimiento,** Cuenca, Ecuador, Imprenta Monsalve, 421p. 199.

SOBRE O AUTOR



Sou Raylan Caminha de Vasconcelos, tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo IFCE (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia) do estado do Ceará, atualmente sou discente do curso de especialização em Engenharia Ambiental pela UCAM (Universidade Cândido Mendes) localizada no estado do Rio de Janeiro.

O meu trabalho de conclusão do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental tratou de temas como: reúso de águas residuárias e tratamento de efluentes, em especial, por lagoas de estabilização, proporcionando de certa forma, muitos conhecimentos sobre o assunto proposto.

Esses aprendizados foram inseridos na obra intitulada: “Exposição e discriminação acerca do tratamento de esgoto e reúso da ETER Guadalajara – Caucaia/CE”. O livro discute, com pertinência, como o reúso de águas residuárias colabora tanto para o meio ambiente como para as atuais e futuras gerações.

Desejo colaborar para a ampliação do seu conhecimento e de certa forma alertar a todos como a prática da reutilização de águas residuárias pode sanar um problema mundial: a economia dos nossos recursos hídricos.

EDITORIA
LAMPILLA

2020

